



Le temps dans les systèmes complexes

11èmes journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels

25 janvier au 1er février 2004

Organisées avec le soutien
de l'European Conference on Artificial Life (ECAL)
de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA)

Sous le patronage
du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS),
département Sciences et Technologies de l'Information et de la
Communication (STIC), section 7 du Comité National.

ENST 2004 S 001

Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications

Contributeurs, par ordre d'apparition

Amblard, F	13	Müller, J-P	209
Dumoulin, N.	13	Ratzé, C	209
Borodkine, R.	27	Muller, J-C	217
Bourcier, D	37	Nicole, A	229
Cozien, R	47	Occelli, S	241
Daniel, G	61	Phan, D	255
Deffuant, G.	71	Régnard, V	289
Dessalles, J-L.	95	Rousseaux, F	303
Ghadakpour, L.	95	Saint-Girons, F	319
Nguyen-Van, N. K	111	Schwer, S	329
Ginot, V	111	Bellisens, c.	341
Richard, R	111	Frémiot, M	341
Gwiazdzinski, L.	115	Poitrenaud, S	341
Klein, o	115	Reni, J	341
Jaureguibeny, F	119	Tijus, C	341
Karczmarczuk, 1.	133	Mandelbrojt, J.	353
Moreau, M	151	Bootz, P	353
Laffly, D	151	Paillard, J	353
Lardon, S	167	Favory, J	353
Piel, M	173	Formosa, M	353
Stinckwich, S	173	Frémiot, M	353
Livolant, E.	173	Pro'dhomme, L.	353
Lucas, N	187	Timsit-Berthier, M	353
Miaux, S	199	van Andel, P	365

Le temps dans les systèmes complexes naturels et artificiels

Les journées de Rochebrune 04

Les mathématiques, la musique, l'informatique, les sciences sociales, la physique, la géographie, qu'ont donc en commun tous ces domaines pour qu'ils se réunissent en un lieu si éclairé ?

Certes toutes ces disciplines ou ces arts s'exercent dans des domaines que la connaissance n'a pas encore visité complètement, que l'esprit de compréhension n'a pas fini d'investir. La tâche n'est pas simple. De nombreux processus élémentaires ont pourtant été identifiés dans nos recherches et certaines de leurs interactions sont à présent bien connues. Mais comment appréhender totalement des situations où la simplicité des processus et la diversité de leurs combinaisons génère du chaos programmé, des formes inattendues, des organisations non linéaires, des émergences, de la complexité ? Est-il possible d'apporter des éclairages nouveaux sur tous ces aspects ?

A Rochebrune, nous pensons que c'est possible, et c'est là une des raisons qui nous ramène sans cesse à ce lieu. Année après année, de nouveaux domaines d'application sont dévoilés, analysés, intégrés dans la communauté : nombreuses sont les disciplines qui se sont ajoutées aux domaines fondateurs ... Cette année, en plus de la science, nous accueillons les arts puisque la musique est ici représentée parmi nous. Symboliquement, nous recréons dès lors en ce lieu isolé le lien antique, le lien classique, entre tous ces domaines d'application qui différencient l'homme des autres créatures, et le construisent en même temps : les arts, les sciences ... et le sport !

Tous ces domaines ont des points communs : derrière leur apparente continuité, ils sont soumis à de brutales accélérations ou à des ruptures imprévisibles. Des mouvements de même type les affectent : leur inscription dans la durée, dans le temps, peuvent s'analyser conjointement. Tout système complexe s'inscrit en effet dans une dynamique, c'est à dire dans un temps particulier. Il y a une relation entre le temps, la dynamique et la complexité des choses, et cette année nous allons travailler sur le temps pour préciser cette - ou ces relations.

Les questions que nous nous posons sont multiples et impliquent bien sûr de nombreux spécialistes de diverses disciplines. Mais surtout, les questions que nous nous posons sont inter-disciplinaires. Notre projet n'est pas de juxtaposer des réponses cloisonnées à nos questions mais de confronter la conception du temps du sociologue par exemple à celle du physicien, de rapporter l'expression du temps du géographe à celle de l'informaticien, etc....

Qu'est ce que le temps, pour les diverses disciplines présentes cette année à Rochebrune ? Comment le définit-on ou l'aborde-t-on en physique, en sciences humaines, en philosophie ? Quels sont ces effets, sur la musique, la mémoire, ou les découvertes ? Comment pouvons nous apprendre à le penser dans les divers domaines disciplinaires présents ? Comment est-il possible de le gérer dans les organismes complexes que sont nos villes ou dans outils les programmes informatiques de simulation ? C'est notre ambition que de tenter d'apporter sinon des réponses, au moins des éclairages, à ces diverses questions.

Pau, le 18 décembre 2003

Dominique Badariotti

Rochebrune 04 – du 26 au 30 janvier 2004 - Programme prévisionnel

AUTEURS	TITRES
Lundi – session 1	Epistémologie et philosophie
Jean-Pierre Müller, Cédric Ratze	Modélisation du discours sur le temps et simulation
Anne Nicole	Temps et Processus
Jean Louis Dessalles	La construction cognitive du temps
Francis Rousseaux	L'Eternel retour voilé
Lundi – session 2	Musique
C. Tijus et al. (Poitrenaud, Bellisens, Heni, Frémiot)	La spatialisation du temps musical : les unités sémiotiques temporelles
Martine Timsit et al. (Bootz, Favory, Formosa, Mandelbrojt, Paillard, Pro'dhomme, Frémiot)	Les unités temporelles sémiotiques (UST) : un nouvel outil d'analyse musicale. Description et analyse biosémiotique.
Mardi – session 1	Sociétés et communication
Francis Jaureguiberry	L'homme branché, mobile et pressé
Guillaume Deffuant	S'évader du présent remémoré et construire un temps social : le rôle central de l'empathie ?
Nadine Lucas	Le temps dans les dépêches de presse
Robert Borodkine	Aux horizons du vivant. Du report d'optimalité au jeu de l'apprenabilité
Mardi – session 2	Paysages et découvertes
Dominique Laffly	Aux premiers temps des paysages postglaciaires du midre Lovenbreen
Pek van Andel	La sérénipidité au travail. Le rôle du temps et du moment
Mercredi – session 1	Mathématiques et physique
Roger Cozien	La flèche du temps et l'entropie statistique
Vincent Régnard	Dynamique chaotique. Avons-nous toute l'information ?
Jerzy Karczmarczuk	Programmes à voyager dans le temps
Sylviane Schwer	Relations temporelles qualitatives et langages formels
Mercredi – session 2	Rochebrune ' 05 ?
Jeudi – session 1	Géographie et urbanisme
Sylvie Miaux	L'itinéraire comme outil de lecture de l'expérience du mouvement à la fois dans le temps et l'espace du sujet
Sylvie Occelli	Time, urban routines and new information and communication technologies. Some insights by means of a MAS model
Luc Gwiazdzinski, Olivier Klein	La ville, un système spatio-temporel complexe en pleine mutation
Franck Saint Girons	Les friches urbaines : des lieux à temporalité double?
Jeudi – session 2	Distances et territoires
Jean Claude Muller	Les distances entre les hommes : une structure non géographique
Sylvie Lardon	Il faut casser le temps ou les discontinuités spatiales à l'égal des

	discontinuités de l'espace
Vendredi – session 1	Traitement de l'information, simulation
Frederic Amblard, Nicolas Dumoulin	Mieux prendre en compte le temps dans les simulations individu-centrées
Vincent Ginot	Le temps de la réflexion et le temps du calcul dans les simulateurs multi-agents
Gilles Daniel	Random time in agent based market models
Serge Stinckwich	Apprendre à anticiper dans un système multi-agents. Premiers résultats
Vendredi – session 2	Mémoire et représentations collectives
Danièle Bourcier	Le temps du droit et le droit du temps
Denis Phan	Temps des structures et conscience historique : réflexions sur l'identification et la représentation collective des phénomènes émergents en sciences sociales et la modélisation de l'émergence comme processus historique, génétique et cognitif

Journées de Rochebrune 2004

Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels

<http://www.univ-tln.fr/~glotin/rb04.html>

26 janvier au 30 janvier 2004

Rochebrune, Megève, France

Le temps dans les systèmes complexes naturels et artificiels

L'objectif des Journées de Rochebrune

Le temps passe, mais l'objectif des Journées de Rochebrune reste inchangé depuis 1992 : il s'agit d'offrir un espace d'échanges et de débats interdisciplinaires à tous les chercheurs/chercheuses qui travaillent sur les systèmes complexes naturels ou artificiels. A l'opposé de la plupart des colloques, il n'est pas nécessaire de venir avec des réponses à Rochebrune : les questions suffisent ! C'est en effet un lieu d'échange de la recherche *en train de se faire* : les contributions ne sont donc pas nécessairement finalisées et l'on peut aussi parler de choses en cours, pour lesquelles les doutes et les questions pèsent aussi lourd que les réponses déjà apportées.

Le lieu

On a coutume de dire que Rochebrune est essentiellement un lieu ... On oublie généralement de préciser que c'est aussi un temps particulier. Un temps où on se donne le *temps* de s'immerger dans l'interdisciplinarité, de baigner longuement dans les systèmes complexes de tous types, de s'abandonner, sans aucun souci formel ou institutionnel, aux débats, aux questions, aux interrogations de jeunes chercheurs de 7 à 77 ans. Le lieu, un chalet d'altitude isolé et néanmoins accueillant fait bien sûr partie de l'alchimie; mais le bouillon ne pourrait prendre sans un *temps* minimal de macération et de cuisson. « Les journées de Rochebrune » : le titre même suggère la durée, nécessaire à l'imprégnation de nos différences, essentielle au mélange de nos corpus scientifiques, indispensable à l'expression finale de ce qui nous unit. Le temps est donc un ingrédient fondamental à ce lieu pour que le miracle annuel se reproduise : Rochebrune ...

Le temps

Le temps, changement continu et irréversible pour les hommes et les choses :

« Qu'il faut peu de temps pour changer toute chose » Victor Hugo.

Le temps, simple écoulement pour la plupart des hommes, est un milieu particulier pour les scientifiques : le milieu de l'observation, le milieu de l'expérience, le milieu qui fonde l'événement, le milieu qui induit le déterminisme, le milieu qui établit ou non la causalité, ... Sans temps, pas d'évolution, pas de simultanéité, pas de succession, pas de facteurs qui en expliquent d'autres : le temps est donc essentiel à l'appréhension scientifique du monde. C'est pourquoi tant de disciplines s'y intéressent.

Toutes les disciplines sont en effet concernées par le temps, et pas seulement parce qu'elles se sont constituées *dans* le temps. Alors que certains chercheurs s'interrogent *sur* la nature du temps et ses impacts sur les éléments de l'univers (physique, philosophie, astronomie, biologie), d'autres disciplines travaillent directement *dans* le temps (histoire, archéologie) voire *avec* le temps (musique, danse, ...). Le temps est généralement appréhendé comme un écoulement, dont le débit est strictement mesuré par diverses références (jour terrestre, lunaison, ou période atomique - une seconde est la durée totale de 9 192 631 770 périodes de l'atome de césium) ; mais on peut aussi l'approcher par l'espace (physique, géographie, géologie), puisque espace et temps dérivent l'un de l'autre, en relations différentielles ; tout comme on peut mettre en avant la relativité du temps, qui passe à des vitesses différentes selon les observateurs, plus lent près des corps massifs et plus rapide ailleurs. Le temps est donc une notion complexe.

Les thèmes et idées

Tout système complexe s'inscrit dans une dynamique, c'est à dire dans un temps particulier. Il y a une relation entre le temps, la dynamique et la complexité des choses. Le temps physique est un concept dynamique, dépendant de la configuration de la matière et de la position des observateurs. Le temps est lui-même complexe car il est dérivé de structures complexes. Les thèmes d'interrogation concernant le temps et les systèmes complexes sont donc multiples.

La nature du temps et la science

- Tout d'abord, qu'est ce que le temps ? « Le temps c'est ce qui passe quand rien ne se passe » ! Comment le considérait-on hier et qu'en est-il aujourd'hui ?
- Temps relatif ou temps absolu : que signifie le temps pour la matière, pour les hommes, pour les systèmes complexes, pour la science? Comment le mesure-t-

on ? Comment le représente-t-on ? Comment le modélise-t-on et comment simule-t-on son écoulement ?

- Temps et événement. L'inscription d'un événement dans le temps est particulière : instantanéité, singularité, simultané / antérieur / postérieur, fréquence, rythme, cyclique dynamique. ... Quelles sont les effets de cette inscription dans le temps : causalité, réversibilité, synchronicité.... ? A l'inverse, comment situer les événements atemporels ou intemporels, l'éternité ?

La question du temps dans quelques disciplines scientifiques traitant de systèmes complexes

- L'informatique et la gestion. La construction et la représentation des événements et du temps dans les systèmes artificiels. La formalisation et la gestion du temps dans les ordinateurs, la logique temporelle, la planification et l'ordonnancement, l'algorithmique, le parallélisme. En particulier, comment, dans des systèmes complexes artificiels, sont modélisées et gérées les synchronies ou les arythmies entre différents éléments ?
- L'urbanisme, l'économie, la sociologie. La question du temps dans l'organisation des systèmes complexes urbains : rythmes de vie asynchrones des citadins et synchronisation des services. Les temps et les lieux d'une journée (infra)ordinaire en grande ville ...
- La biologie. La vie : naissance, croissance, vieillissement et mort ; les horloges biologiques. Quelle sont les stratégies d'adaptation des systèmes complexes vivants par rapport au temps et à son écoulement ?
- Les sciences de la terre : temps et morphogénèse. Temps et changement d'états et de forme de systèmes complexes naturels : quel est le lien entre dynamiques temporelles et dynamiques morphologiques en géologie, en géomorphologie, en géographie ... ?
- Les sciences juridiques : temps des institutions. Références, archives, mémoire / oubli, amnistie, comment se construisent et se perpétuent les systèmes institutionnels complexes dans le temps ?

Perception et usage du temps

- Psychologie. La perception du temps est relative à chacun d'entre nous et aux circonstances. Chacun a fait l'expérience de minutes qui paraissent interminables et de semaines qui passent trop vite : certaines émotions distordent notre perception du temps. Et pourtant, c'est le temps qui constitue la trame de fond sur laquelle se fixent les repères objectifs nécessaires à la communication des hommes.

- Linguistique. Nous exprimons chaque jour nos pensées grâce à la parole et, sans nous en apercevoir, nous transformons des idées atemporelles en un discours ordonné, cohérent s'inscrivant dans le temps, et même jouant du temps pour ménager des effets oratoires.
- Performance : vitesse, rapidité, débit, rendement. Sportifs, ingénieurs et industriels le savent bien : améliorer les performances et repousser les limites est inhérent à la vie. Pourquoi et par quels mécanismes est-il possible de faire une certaine quantité de choses dans un temps moindre tout en conservant la qualité ?

Le temps dans la littérature et les arts

- Chez les poètes : « l'ennemi vigilant et funeste, le temps » (Baudelaire). Source d'inspiration intarissable, le temps est ce qui nous éloigne chaque jour de la vie et qui nous rapproche inéluctablement de la mort. Il est aussi à l'origine de pensées profondes, attristées parfois par des regrets ou des remords : « Si jeunesse savait, si vieillesse pouvait ».
- La musique : de la double-croche à la ronde, l'art de la musique est aussi un art du temps, qui s'organise en rythme et qui se prépare en répétition ... Un temps d'une grande complexité, qui intervient à des niveaux très différents puisqu'il est aussi bien engagé dans la constitution des hauteurs de sons, de leurs durées, des cadences, des accords, de l'exécution, de l'harmonie générale ...

Les thèmes précédents

1992 Apprentissage, évolution, adaptation

1993 Intelligence collective

1994 Autonomie et interactions fonctionnelles

1995 Evolution et organisation : hasard et contraintes dans la genèse des formes collectives

1996 Du collectif au social

1997 Invariance, interaction, référence : l'identité en question

1998 Quelles relations entretenons-nous avec nos modèles ?

1999 Conflits des interprétations et interprétations des conflits

2000 Représentations graphiques dans les systèmes complexes naturels et artificiels

2001 *Expertise et médiation (édition ajournée)*

2002 -

2003 Le statut épistémologique de la simulation

Comité d'organisation

Dominique Badariotti
Danièle Bourcier
Paul Bourgine
Guillaume Deffuant
Jean-Louis Dessalles
Thierry Fuhs
Hervé Glotin
Francis Rousseaux
Serge Stinckwich

Comité de programme

Keiko Abé (CNR Tours, Tours)
Frédéric Amblard (Cémagref, Clermont-Ferrand)
Dominique Badariotti (Laboratoire SET, UPPA, Pau)
Jacques Blanc-Talon (CTA, Paris)
Danièle Bourcier (Cersa, CNRS, Paris)
Paul Bourgine (Ecole Polytechnique, Paris)
Guillaume Deffuant (Cémagref, Clermont-Ferrand)
Jean-Louis Dessalles (ENST, Paris)
Pierre Frankhauser (Laboratoire Théma, Université de Franche-Comté, Besançon)
Thierry Fuhs (Hightel, Paris)
Hervé Glotin (ERSS, Toulouse)
Jerzy Karczmarczuk (Université de Caen, Caen)
Sylvie Lardon (Inra, Clermont-Ferrand)
Edmont de Montalembert (CNR Dijon, Dijon)
Jean-Pierre Müller (Cirad, Montpellier)
Sylvia Occelli (Ires, Turin, Italie)
Christophe Parisse (Inserm, Paris)
Denis Phan (ENST-Bretagne, Rennes)
Francis Rousseaux (Ircam, Université de Reims, Paris)
Ryosuke Shiina (Université Doshisha, Kyoto)
Serge Stinckwich (Université de Caen, Caen)
Christiane Weber (Laboratoire Image et ville, Strasbourg)

Mieux prendre en compte le temps dans les simulations individus-centrées

Frédéric Amblard, Nicolas Dumoulin

Laboratoire d'Ingénierie pour les Systèmes Complexes (LISC)

Cemagref

24, avenue des Landais BP 50085

63172 Aubière Cedex

France

email : frederic.amblard@cemagref.fr

Introduction

Acheter un nouveau téléphone portable, investir dans les actions d'une compagnie, se munir du dernier gadget à la mode, tous ces comportements ont en commun des éléments qui ne sont généralement pas pris en compte dans les modèles classiques de diffusion de l'innovation ou de phénomènes de modes. Ainsi, si l'influence sociale qui entre en jeu au cours de l'adoption de nouvelles innovations ou de nouveaux produits est souvent introduite, soit en appliquant simplement une règle de majorité sur le voisinage social (Galam, 1997) soit en modélisant directement les interactions entre individus (Deffuant et al., 2002), classiquement ces modèles de simulation utilisent une mise à jour aléatoire des individus en suivant une loi uniforme sur l'ensemble des individus. Cette approximation néglige cependant des dynamiques spécifiques aux phénomènes considérés pour lesquels l'influence de la temporalité et sa prise en compte dans le modèle n'est pas neutre.

Cependant, il nous faut convenir que les hypothèses simplificatrices réalisées sur le temps dans les simulations individus-centrées sont souvent justifiées en première approximation. En effet, la réduction du modèle du temps à des activations aléatoires résulte souvent d'une difficulté à prendre en compte le facteur temps dans les simulations. Cette difficulté provient selon nous en partie de la difficulté d'obtenir des données temporelles, longitudinales, sur le système réel, en particulier en sociologie. Il est donc alors pertinent, selon nous, de se baser sur une hypothèse minimale qui consiste à conserver uniquement une relation d'ordre entre les activations des individus dans le modèle ou une relation d'ordre entre leurs changements d'état.

Cependant, si l'on positionne la discussion par rapport aux démarches de modélisation au sens de construction de modèles, et en particulier par rapport aux démarches de modélisation incrémentales, il nous semble que si l'amélioration de certains éléments du modèle (au sens d'augmentation du réalisme, de la complexité ou de diminution de l'abstraction), comme celui de l'agent, des interactions ou de l'environnement est souvent réalisée, ce n'est que rarement le cas du modèle du temps dans ces modèles. On assiste ainsi fréquemment à des constructions incrémentales de modèles qui parviennent à des modèles finaux de complexité

relativement élevée mais qui pourtant conserve une gestion du temps très élémentaire, voir simpliste.

La thèse que nous défendrons ici concernera donc la prise en compte de la complexité des modèles du temps dans les méthodes de construction incrémentales de modèles. Nous nous focalisons sur la fréquence des événements envisagée à différents niveaux, plutôt que sur la représentation de la temporalité par les entités du modèle elles-mêmes. Pour ce faire, nous présenterons tout d'abord une de ces méthodes, DAMMASS (Amblard et al., 2001), en proposant d'intégrer le modèle du temps dans la boucle de modélisation. Dans une seconde partie, nous exposerons les problèmes classiques de sa représentation et de sa gestion dans les simulations, puisque quelle que soit l'option de modélisation retenue, le temps sera formalisé sous l'une de ces formes. Et, nous présenterons trois pistes possibles pour représenter le temps de manière plus réaliste. Le premier exemple concernera le passage d'un modèle de jeu coopératif synchrone à une désynchronisation des événements dans le modèle. Les individus doivent alors adopter des stratégies prenant en compte une forme de stratégie temporelle. Le deuxième exemple se focalisera sur la temporalité des interactions dans des modèles de simulation sociale individus-centrés incluant un réseau social. Les relations deviennent ici des entités structurantes de la temporalité, en leur associant des fréquences d'interactions qui contraignent l'émergence de comportements collectifs. Notre dernier exemple concernera la gestion par l'individu au sein du modèle de sa temporalité, dans le cadre d'un modèle de diffusion de l'information dont la propagation est progressivement amortie au cours du temps. Nous discuterons enfin ces trois exemples dans le cadre de la méthodologie de construction de modèles incrémentale ainsi que l'extension de ces idées à d'autres domaines ou d'autres modèles.

Méthode de construction incrémentale de modèles individus-centrés

Décomposition des modèles sociaux

La modélisation de systèmes complexes peut impliquer la construction de modèles computationnels complexes. La gestion de cette complexité aussi bien dans la conception du modèle qu'au cours de son implémentation en utilisant des méthodes de modélisation efficaces (Overstreet, 1982 ; Zeigler et al., 2000) reste un défi encore à l'heure actuelle. Si ces dernières étaient mises au point dans le passé pour surpasser les faibles puissances computationnelles, les méthodologies sont utilisées maintenant pour affronter la complexité computationnelle et proposer des modes de construction qui permettent de l'organiser.

Une taxonomie pour la modélisation des systèmes a été introduite dans la terminologie multi-modèles dans le milieu des années 80 (Ören, 1984) et la technique appelée multi-modélisation dérive principalement des approches multi-formalismes (Zeigler, 1979). Un multi-modèle est considéré comme une

composition de différents sous-modèles homogènes ou hétérogènes à plusieurs niveaux d'abstraction. Cette approche permet la construction de modèles hiérarchiques de systèmes réels qui ne peuvent pas être simulés facilement en utilisant une approche monolithique (Fishwick, 1995). Malgré cette abondance il y a actuellement un besoin pour la conception de frameworks qui distinguent clairement les différentes parties du modèle. Les frameworks sont vus comme des macro-architectures logicielles, alors que les patrons de conception (Gamma et al., 1995) peuvent être envisagés comme des micro-architectures. Nous proposons ici l'hypothèse que le modèle de simulation individu-centré correspond à une collection de sous-modèles. Chacun d'entre eux peut refléter différentes hypothèses émises à propos des individus, des processus d'interactions, de l'environnement ou des organisations. Dans ce cadre, le réductionnisme peut nous aider comme outil méthodologique pour concevoir des classes d'entités dans un modèle. Les principales classes dans le cadre de la modélisation de systèmes sociaux que nous avons identifiées sont l'Agent, la Relation, l'Environnement et l'Organisation. Ils sont envisagés récursivement comme des sous-modèles et dans ce sens peuvent être composés de plusieurs sous-modèles (cf. Fig. 1).

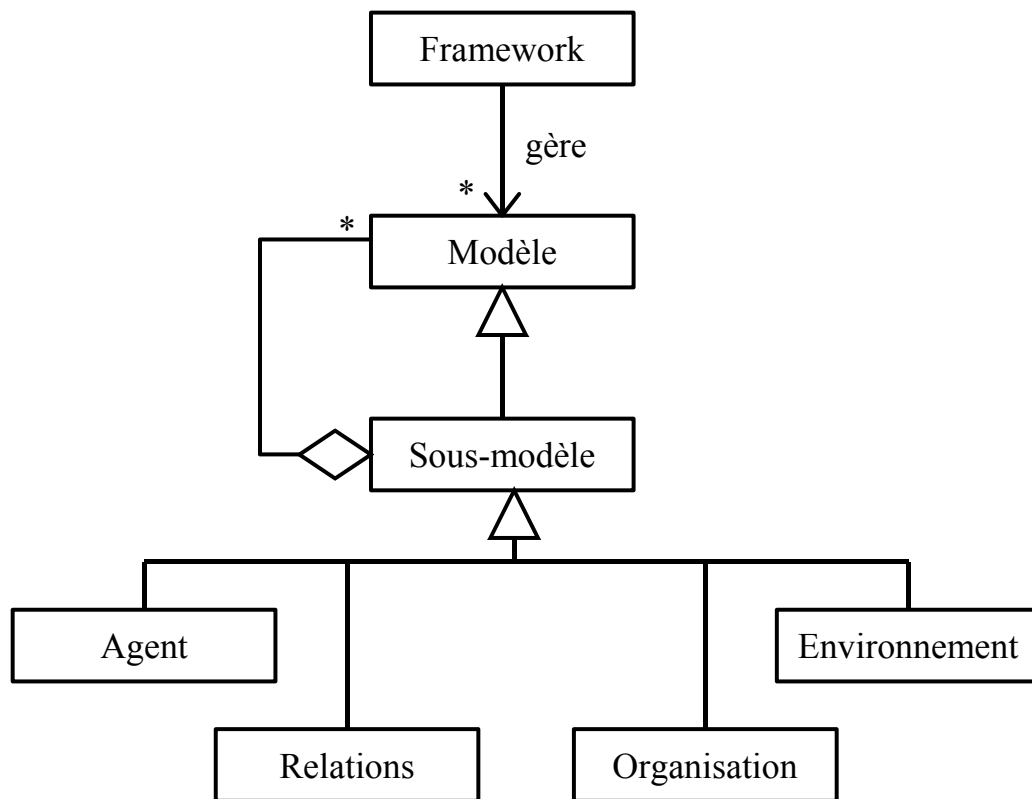


Fig. 1. Méta-modèle UML du framework

Modèles généraux, modèles spécifiques et collections de modèles

La principale source de complexité que nous avons isolée dans la littérature en modélisation des systèmes sociaux provient d'une part de l'émergence d'effets

collectifs non spécifiés explicitement lors de l'élaboration des comportements individuels et d'autre part de la diversité des causes qui peuvent conduire à cette émergence. Face à cette contrainte pour modéliser ces systèmes, les chercheurs ont deux formes d'approches. D'une part, certains vont construire des modèles très simples, motivés par l'observation de propriétés émergentes à partir de caractéristiques particulières du comportement des individus par exemple la coopération, la ségrégation ou l'influence (Schelling, 1960 ; Axelrod, 1997). D'autre part, certains construisent des modèles spécifiques, dans le but de comprendre un phénomène social spécifique dans un contexte d'étude donné et essayent de le faire correspondre à l'expertise ou aux données collectées. Le but du modélisateur, qui est de modéliser un phénomène social général ou de l'appliquer à un système social spécifique, permet de situer le modèle réalisé dans une des deux catégories. Récemment, un courant de plus en plus observé tend à la réalisation de modèles qui sont des collections de modèles (Epstein et Axtell, 1996 ; Axelrod, 1997). En partant de modèles très simples, on ajoute des propriétés de manière incrémentale pour capturer de plus en plus de propriétés du système social modélisé. Par conséquent, les modèles croissent de plus en plus en complexité computationnelle. Il y a dès lors besoin d'un framework qui ne prend pas comme point de départ la réalisation d'un modèle isolé mais qui aide le processus de modélisation en permettant la manipulation de l'ensemble des modèles composant le processus de modélisation.

Couplage de l'approche Vowels et de l'abstraction décroissante

La décomposition en plusieurs parties, pour qu'elle soit compréhensible et incluse efficacement dans le processus de modélisation, doit être réalisée en suivant un framework général qui organise les sous-modèles. Dans ce cadre, nous utiliserons l'approche VOWELS (Demazeau, 1995). Par comparaison avec d'autres frameworks qui se focalisent souvent sur la conception de l'agent et de plusieurs niveaux d'organisations (Ferber et Gutknecht, 1998), la méthodologie VOWELS est principalement caractérisée par l'usage primitif, récursif et égal des sous-modèles d'Agents, d'Environnement, d'Interactions et d'Organisations pour résoudre des problèmes ou simuler des systèmes.

Comme cette approche nous donne un cadre pour décomposer un modèle donné, nous devons définir un processus de modélisation associé qui permet les étapes classiques en simulation, à savoir la conception, l'implémentation, la vérification et la validation (Kleijnen, 1995 ; Balci, 1998). De plus, parce que nous croyons qu'une famille de modèles est plus riche en informations pour le modélisateur qu'un seul, le processus de modélisation doit expliciter le moyen de passer d'un modèle à l'autre en suivant la croissance en complexité et la décroissance en abstraction. Pour le processus de modélisation nous avons alors choisi la méthodologie d'abstraction décroissante (Lindenberg, 1992). Nous commençons ainsi par des modèles simples mais abstraits représentant des caractéristiques

générales puis nous y ajoutons des propriétés pour modéliser des phénomènes plus réalistes. Le point final du processus est un modèle aussi complexe que nécessaire, mais aussi simple que possible.

Cette approche permet de valider de manière plus sécurisée le modèle final, car elle fournit une description plus complète du système réel, à différents grains. Le premier modèle simple nous permet de comprendre les propriétés dynamiques basiques du modèle. Nous les faisons correspondre avec des propriétés générales provenant par exemple de la littérature sociologique, en définissant une similarité entre la structure du système réel et la structure du modèle. La granularité du modèle est alors augmentée progressivement jusqu'à ce que le modèle semble trop détaillé par rapport aux données observées sur le système modélisé.

DAMMASS

De manière à se conformer aux conditions énoncées ci-dessus, nous retenons une architecture de framework dérivée du fameux patron de conception MVC (Model View Controller) divisée en trois parties. Le Simulateur gère tous les points concernant l'exécution du modèle. La partie Modèle détaillée ci-dessous contient toutes les classes concernant le modèle lui-même. L'interface permet à l'utilisateur de paramétrer le Simulateur et le Modèle indépendamment, pour observer la simulation en cours d'exécution et ses résultats.

En appliquant l'abstraction décroissante énoncée précédemment, nous pouvons, à partir d'un modèle donné, faire décroître son abstraction pour accroître son réalisme suivant un (ou plusieurs) de ces quatre axes :

- *Le modèle de l'Agent* : les propriétés internes de l'individu, comme son système de représentation ou son système décisionnel, peuvent être plus détaillées, de nouveaux comportements peuvent être ajoutés au modèle de l'agent.

- *Le modèle de Relation* : les interactions qui ont lieu entre les entités peuvent être détaillées davantage. Cela peut concerner les échanges entre deux entités ou un protocole de communication plus détaillé. En fait, nous pourrions considérer qu'il y a autant d'axes Relation pour accroître le réalisme qu'il y a de relations possibles entre les différentes catégories d'entités.

- *Le modèle d'Organisation* : il implique une croissance des caractéristiques prises en compte par l'organisation, par exemple l'introduction de niveaux d'organisation dans une organisation existante ou de nouveaux comportements de groupes dans un modèle.

- *Le modèle de l'Environnement* : la croissance en réalisme doit correspondre à l'ajout de critères environnementaux et à leur dynamique.

L'impression d'indépendance entre ces axes peut être cependant trompeuse. Cette décomposition implique de toute évidence certaines dépendances entre les axes. Par exemple, nous identifions un couplage majeur entre le modèle d'agent et le modèle de relation en ce sens qu'augmenter la granularité du modèle d'interaction implique souvent d'augmenter la granularité du modèle d'agent. Malgré tout, ce

n'est pas toujours le cas et l'accroissement en complexité du modèle d'interactions peut parfois être un changement de la structure du modèle de cette influence. Nous pouvons par exemple partir d'une influence moyenne du voisinage social de l'individu et progresser vers un modèle d'interactions à seuil dans lequel les individus seront influencés par leurs voisins seulement si la différence entre leurs opinions est inférieure à un seuil donné qui est un attribut de l'interaction. Nous accroissons alors le réalisme du modèle d'interactions tout en laissant inchangés les attributs d'un modèle d'agent. Remarquons ici que nous avons pour l'instant éludé la question du temps dans les simulations, question que nous allons maintenant traiter.

Problématique du temps dans les simulations

La problématique du temps dans les modèles de simulation est loin d'être une préoccupation récente puisqu'elle pourrait être associée aux débuts de l'utilisation de la simulation comme outil de modélisation et plus seulement comme outil de résolution numérique. Ainsi, si l'on suit la définition de Coquillard et Hill (1997), « *la simulation est l'abstraction d'un système plongé dans le temps* ». Le temps faisant ainsi partie de cet objet, il s'agit bien de le prendre en compte et d'explicitier cette composante. Par la suite les utilisateurs de la simulation ont distingué clairement deux aspects de la temporalité dans les simulations : la représentation du temps qui correspond au modèle conceptuel et la gestion effective du temps dans le modèle qui correspond à son implémentation.

La représentation du temps

Concernant la représentation du temps dans les simulations individus-centrées, nous retrouvons les représentations classiques utilisées dans le domaine de la simulation en général. Ainsi, nous distinguons trois types de représentations :

- *Le temps continu*, la variable représentant le temps dans la simulation est alors un nombre réel et l'état du système peut être défini quelle que soit sa valeur.

- *Le temps discret*, la variable représentant le temps étant un entier, les états du système sont définis pour chacune de ses valeurs et la représentation de l'évolution du système correspond à une fonction constante par morceaux.

- *L'approche évènements discrets* (Zeigler et al., 2000) se focalise sur l'occurrence des évènements dans la simulation plutôt que sur le temps directement.

Cependant, le plus souvent, et particulièrement en simulation sociale, le temps n'est pas une dimension sur laquelle le modélisateur peut travailler avec précision. Il peut être difficile, par exemple, d'évaluer la date d'occurrence de la prochaine rencontre entre deux personnes ou même d'émettre des hypothèses quant à celle-ci. Pour résoudre ce problème de la temporalité du système modélisé, la solution communément adoptée est de prendre des hypothèses minimales et donc de se baser uniquement sur une relation d'ordre temporelle entre les états du système

plutôt que sur une véritable gestion du temps dans la simulation. Il en résulte ainsi fréquemment une utilisation de l'approche temps discret.

La gestion du temps

La représentation du temps dans les simulations sociales peut ainsi être ramenée dans tous les cas à une relation d'ordre temporelle entre les états du système. Deux éléments sont cependant déterminants pour caractériser la manière dont ce temps est géré dans ces modèles. Il s'agit d'une part de l'activation ou du scheduling : le moyen par lequel les individus ou les entités sont activés ; et d'autre part de la mise en relation des individus qui correspondrait davantage à la cardinalité de l'interaction, au nombre d'éléments qui entrent en jeu au cours de l'interaction.

L'activation est un point important dans les modèles de simulation individu-centrée. Le mécanisme ou la technique d'activation retenue influence beaucoup les sorties du modèle (Axtell, 2000 ; Lawson et Park, 2000). En considérant la manière dont le modélisateur représente le temps dans son modèle, nous distinguons classiquement deux principales catégories (Coquillard et Hill, 1997) pour le gérer.

Concernant l'*approche événements discrets* la date d'occurrence des événements dans la simulation est généralement calculée au cours de la simulation et les événements sont souvent ordonnés dynamiquement en fonction de cette date dans un échéancier. Les problèmes de concurrence entre événements sont résolus en général par l'utilisation d'une fonction de résolution de conflits au sein d'un noyau de synchronisation. Si nous considérons maintenant l'*approche temps discret* dite également « par horloge », nous pouvons distinguer différentes manières de gérer l'activation des entités du modèle :

- L'*activation synchrone ou activation avec double buffering* (Travers, 1996), correspond à une mise à jour en deux passes de l'état des individus. La première passe correspond au calcul de l'état suivant de chaque individu de la population, la mise à jour n'étant pas effectuée mais stockée dans des variables temporaires. La deuxième passe correspond à la mise à jour des nouveaux états pour chacun des individus.

- L'*activation asynchrone* correspond à une mise à jour en une passe où chaque individu est sélectionné aléatoirement, la mise à jour calculée et effectuée. Concernant l'activation asynchrone, plusieurs méthodes de sélection d'un individu peuvent être mises en place :

- L'*activation asynchrone simple*, utilisée par exemple dans Epstein et Axtell (1996), consiste à tirer aléatoirement un individu à chaque pas de temps (ou itération) et à le mettre à jour ensuite. Comme souligné par Michel et al. (2001) cette méthode permet d'éviter le problème de la gestion de la concurrence entre les événements.

- L'*activation n-asynchrone* est utilisée pour introduire la contrainte qu'à chaque pas de temps, tous les individus doivent avoir été activés une fois et une seule. Elle consiste, à chaque itération, à activer un par un tous les individus

aléatoirement dans une liste tout en construisant la liste des individus pour la prochaine itération. Chaque individu étant mis à jour juste après son activation.

Intégration d'un modèle du temps à DAMMASS

Si l'objet conceptuel qui représente le temps (souvent unique et commun à tous les individus du modèle) dans les simulations possède un aspect computationnel qui sera implémenté suivant une des stratégies exposées précédemment et qui correspondra à une des représentations du temps énoncées, peu de modèles intègrent un aspect temporel qui serait plus élaboré au sein des processus. Et pourtant, les processus temporels à l'œuvre dans le système modélisé entrent souvent en ce qui concerne la représentation du temps, en contradiction profonde avec le modèle. Il est donc pertinent d'inclure dès lors le modèle du temps comme une direction supplémentaire dans le framework de construction incrémentale de modèle pour approcher davantage le système réel. Si l'on se base donc sur un premier niveau de complexité concernant le modèle du temps et qui correspondrait à un modèle du temps représenté comme un temps discret et géré sous la forme d'un scheduling asynchrone à partir d'une distribution uniforme, il est pertinent de s'interroger sur les directions à prendre pour « complexifier » le temps dans les modèles. De manière à se diriger vers une réponse à cette question, nous allons aborder brièvement trois exemples particuliers dans lesquels nous avons investigué différents modèles du temps.

Exemple de la désynchronisation des jeux coopératifs

Dans le très classique dilemme du prisonnier itéré (Von Neuman et Morgenstern, 1947), une hypothèse des plus surprenante est réalisée pour son application à la modélisation de problèmes de coopération : le fait que les décisions des joueurs sont synchronisées (chaque joueur prend la décision de coopérer ou non en parallèle) et qu'elles sont de plus équilibrées (en fin de jeu chaque joueur aura eu le même nombre d'opportunités de coopérer ou pas). Les stratégies qui peuvent être mises en place par les joueurs au cours de ce jeu sont dès lors biaisées par ce synchronisme et cet équilibre des opportunités. Celles-ci correspondent la plupart du temps à des stratégies de type stimulus-réponse (éventuellement avec mémoire) à des décisions prises par les autres joueurs au cours des itérations précédentes.

Le cas de la coopération chez les vampires (Wilkinson, 1990) nous offre une piste intéressante pour nourrir le débat sur ces limitations. Chez *desmodus rotundus* (notre vampire) la principale source de nourriture est le sang que les vampires puisent auprès de troupeaux au cours de séances de chasse nocturnes. Ces chasses ne sont pas toujours fructueuses, et le taux d'échec est particulièrement élevé chez les plus jeunes. Pour compenser cette variabilité du succès à la chasse, un comportement observé consiste à régurgiter le sang collecté aux vampires qui en réclament. Dugatkin (1997) analyse ce phénomène volontariste comme un exemple particulièrement saillant de la coopération chez les animaux. A l'aide de cet

exemple, nous pouvons ainsi décomposer le problème de la coopération dans ce cadre comme la succession des éléments suivants : une mise en situation de demande (l'échec à la chasse), la demande de coopération (le choix du partenaire et la formalisation) et la réponse du partenaire sélectionné (l'acceptation ou le refus). Cette décomposition et plus particulièrement le fait d'envisager la coopération comme étant un élément généré de manière exogène sous la forme d'un besoin nous amène à considérer des stratégies de coopération de type différent. En particulier lorsque le besoin est généré sous la forme d'une contrainte externe qui peut potentiellement s'appliquer à l'ensemble de la population (le destin qui frappe) sous la forme d'une probabilité p d'être mis en situation de besoin et donc de demander de l'aide. L'élément majeur de cette approche tient dans le fait qu'un joueur peut être mis en situation de décider de coopérer ou non plusieurs fois de suite sans que son *alter ego* ait l'occasion de lui rendre la pareille. Comment ou jusqu'où dans ce cas décider de coopérer ? La classe de stratégies que nous avons examinée dans ce cas (Dumoulin, 2002) sont des stratégies d'investissement dans la coopération, qui correspondent à un nombre critique N_d de demandes que le joueur tolère et pour lesquelles il accepte de coopérer avant de pouvoir rendre la pareille. Les cas extrêmes $N_d = \infty$ et $N_d = 0$ correspondant aux stratégies aveugles qui existent également dans le cas synchronisé de toujours accepter et toujours refuser. Un autre élément important du modèle est le nombre d'individus N_i auprès desquels un individu en situation de demande peut effectuer sa demande de coopération à chaque itération.

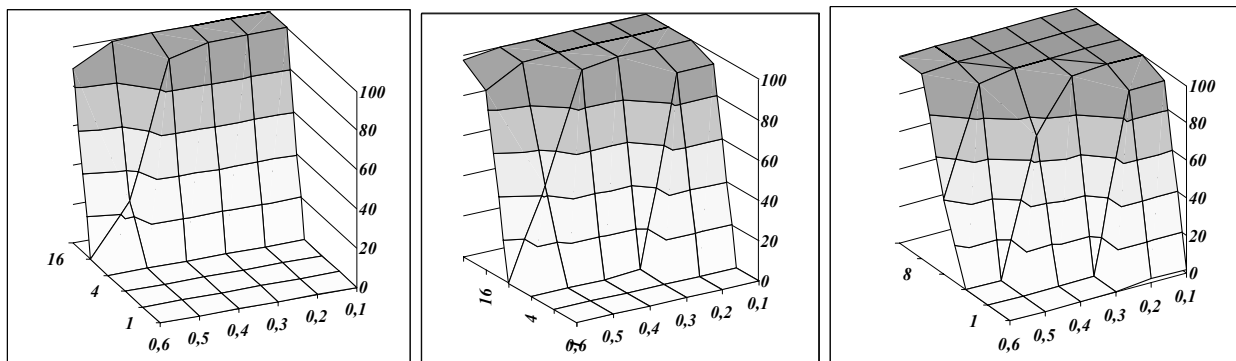


Fig. 2. Taille moyenne de la population finale (10000 itérations) sur 30 répliques en fonction de p variant de 0.1 à 0.6, N_i variant de 1 à 32 par puissance de 2, de gauche à droite pour $N_d=1$, $N_d=5$ et $N_d=10$.

Aussi, dans ce cas, nous observons que la modification de la gestion du temps, qui a entraîné des modifications dans les processus de décision des individus, permet d'identifier de nouveaux types de stratégies non pertinentes dans le cas de décisions synchrones. Ce cas de complexification du modèle du temps a été porteur à notre sens de nouvelles connaissances sur le système réel envisagé.

Exemple de l'affectation de fréquences aux interactions sur réseau

Dans le cadre de la modélisation de processus d'interactions entre individus dans un système social, une hypothèse plus réaliste (bien que correspondant à un grain de modélisation plus fin) consiste non pas à activer des individus ou des relations à partir d'une loi uniforme, mais plutôt pour prendre en compte des probabilités de rencontres hétérogènes qui peuvent jouer un rôle important dans le modèle, d'associer des fréquences de rencontres aux relations entre individus. Nous allons présenter ici le cas où ces fréquences d'interactions dépendent d'un espace social sous-jacent.

Notre problématique est dans ce cadre de reconstruire à partir d'un espace social dans lequel nous parvenons à localiser chacun des individus du modèle, le réseau social sous-jacent en appliquant un algorithme stochastique dépendant de la proximité entre individus dans cet espace pour la création des liens et l'introduction de fréquences d'interactions à ces derniers. Ce modèle a été proposé dans le cadre de la modélisation de l'adoption de mesures agri-environnementales par des agriculteurs (Deffuant, 2001). Les enquêtes de terrain réalisées au cours de ce projet ont permis de distinguer deux types principaux d'interactions : les interactions de voisinage, d'une fréquence de l'ordre de la semaine et les interactions professionnelles qui ont lieu au cours d'évènements professionnels à des fréquences plus faibles.

Ainsi pour prendre en compte cet élément important provenant des enquêtes, nous avons distingué dans le modèle de réseau social les relations suivantes :

- Les *liens de voisinage* qui connectent deux agriculteurs habitant à proximité, les interactions de voisinage ayant lieu au cours du travail quotidien ont une fréquence de l'ordre de une à quelques interactions par semaine.

- Les *liens professionnels* qui connectent avec des probabilités plus élevées des agriculteurs qui ont des systèmes de production similaires. Les interactions ont lieu typiquement au cours de rencontres professionnelles et leur fréquence est typiquement de l'ordre de une interaction par mois.

- Les *liens aléatoires* qui connectent des agriculteurs séparés par une distance plus grande. Ces liens peuvent être établis pour de nombreuses raisons (anciens voisins, anciens collègues, amis, famille...) et possèdent un caractère aléatoire. En considérant que ces liens correspondent à des distances plus élevées, la fréquence des contacts est plus faible que pour les précédents.

Nous avons adapté les algorithmes proposés par (Watts, 1999) pour générer ces réseaux sociaux. Les paramètres nécessaires à leur construction sont :

- La connectivité moyenne au voisinage : n_l
- La distance maximum pour les liens de voisinage : d_l
- La connectivité moyenne des liens professionnels : d_p
- La relation d'équivalence pour les liens professionnels : $\pi(i, j)$
- La connectivité moyenne des liens aléatoires : n_o
- Les fréquences associées à chaque type de liens : f_b, f_p et f_o .

Soit N le nombre d'agriculteurs, l'algorithme de génération du réseau social inclut les étapes suivantes : Pour le réseau de voisinage nous considérons tous les couples d'agriculteurs (i, j) tels que la distance entre les agriculteur F_i et F_j soit inférieure à d_l . Nous choisissons alors aléatoirement $n_l * N$ couples parmi ceux-ci auxquels nous associons donc une relation de fréquence f_l .

Pour le réseau professionnel, le réseau est construit à partir d'une relation d'équivalence $\pi(i, j)$, qui inclut des critères économiques. Pour chaque couple d'agriculteurs i et j , $\pi(i, j)$ est *vrai* s'ils ont un système de production identique. Dans chaque classe d'équivalence, nous choisissons alors aléatoirement $n_p * n_{ci}$ liens (n_{ci} étant le nombre d'agents dans la classe d'équivalence i), auxquels nous associons la fréquence f_p .

Pour le réseau aléatoire, nous choisissons simplement $N * n_o$ couples d'agriculteurs dans la population auxquels nous associons la fréquence f_o .

Il nous faut préciser que si un couple d'individus est sélectionné dans différentes catégories (réseaux multiplexes), nous associons la somme des fréquences correspondantes aux différents types de liens au nouveau lien créé.

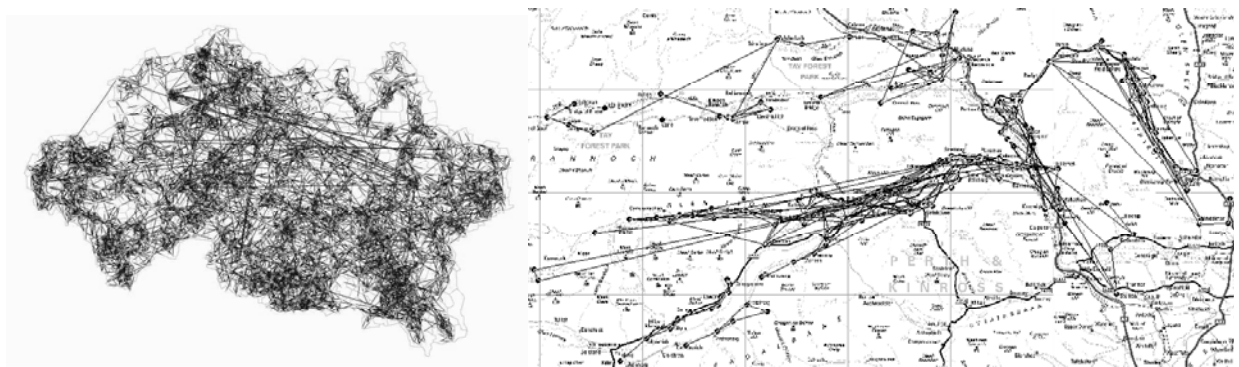


Fig. 3. Exemples de réseaux générés à gauche pour le département de l'Allier (France) et à droite pour la zone de Breadalbane (Ecosse).

Comme exposé précédemment, ce modèle prend explicitement en compte et à un niveau d'abstraction relativement élevé, l'hétérogénéité temporelle des interactions révélées par les enquêtes. Si nous revenons maintenant au modèle, une fois le réseau social généré, (il s'agit dans le cas présent d'un réseau statique), la méthode de gestion du temps retenu pour cette simulation est relativement différente des méthodes classiques puisque nous n'activons pas des agents ou des individus dans la simulation, mais nous sélectionnons aléatoirement des relations du réseau social construit en fonction des fréquences associées à chaque lien. Ainsi ce que l'on pourrait appeler une *activation asynchrone par fréquence d'interaction* est sans doute moins généralisable que les approches classiques présentées précédemment, mais peut être considérée comme intermédiaire entre l'approche à événements discrets et l'approche temps discret. Une relation (un lien du graphe) étant sélectionnée aléatoirement de manière biaisée en fonction des fréquences d'interactions précédemment définies, l'interaction correspondante est alors

réalisée. De manière générale ce type de modèle permet non seulement d'intégrer des différences temporelles (au sens de fréquences de rencontres) au sein du modèle mais également si l'on utilise des algorithmes classiques en théorie des graphes ou en analyse des réseaux sociaux, de prendre en compte au niveau global des notions de flux d'informations privilégiés ou de débits d'information plus ou moins grands suivant les liens considérés et donc une hétérogénéité à ce niveau.

Amortissement de la diffusion de l'information, l'effet « *Scoop* »

Dans les simulations de diffusion de l'innovation classiques, les états individuels sont mis à jour aléatoirement de manière asynchrone. Nous proposons une fonction mathématique simple pour représenter la dynamique de propagation des discussions au sujet d'une innovation particulière. Le modèle repose sur deux variables affectées à chaque individu :

- La proportion de son réseau social avec laquelle il veut discuter,
- La proportion de son réseau avec laquelle il a déjà discuté.

Quand un individu reçoit une information, nous considérons que la proportion de son réseau avec laquelle il veut discuter est $1 - \gamma$. A chaque itération, il discutera de l'innovation avec certains individus de son réseau et la proportion de son réseau avec laquelle il a déjà discuté est alors modifiée en proportion. Il cesse de parler de la mesure dès que les deux nombres sont égaux.

On associe alors aux individus avec lesquels il a discuté, une proportion de réseau avec laquelle ils veulent discuter de l'information de $1 - 2\gamma$. Les individus suivants auront une proportion de $1 - 3\gamma$, ainsi de suite jusqu'à $1 - k\gamma \leq 0$.

Pour comprendre la règle mathématique, on doit imaginer un individu quand il reçoit une information. Il veut alors discuter avec $1 - \gamma$ de son réseau. Chaque fois qu'il interagit avec un autre individu, il parle de l'innovation et donne à son interlocuteur l'envie de faire de même avec une proportion inférieure de γ de son réseau (cf. Fig. 4). Cela signifie que γ contrôle la profondeur de propagation des discussions quand un événement, une information parvient à un individu. Cette profondeur d de propagation est donnée par :

$$d = E\left(\frac{1}{\gamma}\right) \text{ où } E(x) \text{ est la partie entière de } x.$$

Ce modèle a pour but de représenter plus particulièrement la diffusion de discussions quand un individu particulier est exposé aux médias ou à des messages d'ordre institutionnels (Deffuant, 2001). Un point important est que la propagation de la discussion peut également être lancée par un individu de sa propre initiative par exemple lorsqu'il adopte l'innovation.

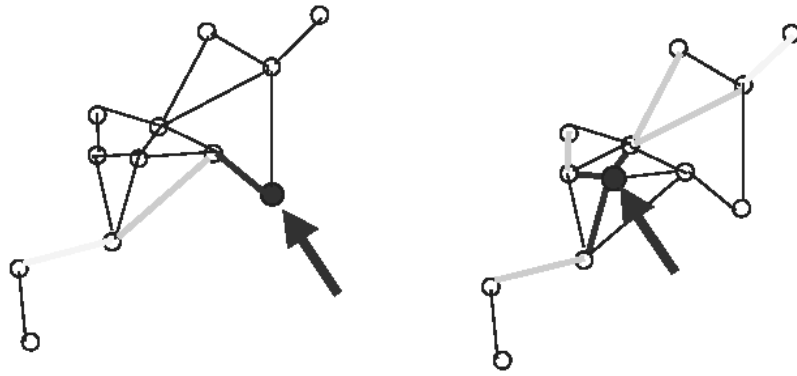


Fig. 4. Deux exemples de propagation des discussions pour $\gamma = 0.2$ dans le même réseau. Les nœuds du graphe représentent les individus et les liens correspondent à leurs relations. La flèche noire indique l'individu qui reçoit le premier l'information. Les dégradé de gris sur les liens de taille plus importante représentent la diffusion progressive de la discussion. Nous pouvons voir ici l'influence de la position de l'individu dans le réseau sur la diffusion. Dans le cas de gauche, le nombre total de discussion est 3, dans celui de droite il est de 8.

Conclusion

Notre point de discussion principal n'est pas une critique à proprement parler des hypothèses simplificatrices réalisées sur le temps dans les simulations individus-centrées. La réduction de celui-ci à des activations aléatoires à partir d'une distribution uniforme résulte souvent d'une difficulté à prendre en compte le facteur temps dans les simulations. Il est donc souvent pertinent en première instance de se baser sur une hypothèse minimale qui consiste à conserver uniquement une relation d'ordre entre les activations des individus dans le modèle. Notre contribution ici se résumerait plutôt à des propositions pour aller un peu plus loin. Nous avons proposé en effet ici trois exemples différents d'intégration du temps dans des modèles qui restent à un haut niveau d'abstraction. Ainsi, en prenant un peu de recul par rapport aux démarches de modélisation et en particulier aux démarches de modélisation incrémentales, il nous semble que si la croissance en complexité de certains éléments du modèle, comme celui de l'agent, des interactions ou de l'environnement sont souvent pris en compte, ce n'est que rarement le cas pour les modèles du temps et l'on assiste fréquemment à des constructions incrémentales de modèles qui parviennent à des modèles finaux de complexité relativement élevée en ce qui concerne les composants mais qui pourtant conservent une gestion du temps très élémentaire, voir trop simpliste. Il s'agirait donc de proposer d'introduire le temps dans les méthodologies de construction incrémentale de modèles comme DAMMASS (Amblard et al., 2001) par exemple.

Références

- Amblard, F., Ferrand, N. et Hill, D.R.C., 2001. "How a conceptual framework can help to design models following decreasing abstraction", in *Proceedings of 13th SCS-European Simulation Symposium*, Marseille, France, octobre 2001, pp.843-847.

- Axelrod, R., 1997. *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press.
- Axtell, R., 2000. "Effects of Interaction Topology and Activation Regime in Several Multi-agent Systems." in *Multi-agent based simulation*. S.Moss et P.Davidsson (eds.), Springer, p.33-48.
- Balci, O., 1998. "Verification, Validation, and Testing", dans *Handbook of Simulation*, J.Banks (ed.), John Wiley and Sons, pp.335-393.
- Coquillard, P. et Hill, D.R.C., 1997. *Modélisation et Simulation des Ecosystèmes*, Masson.
- Deffuant, G., 2001. "Improving Agri-environmental Policies: A Simulation Approach to the Cognitive Properties of Farmers and Institutions", Final report of project FAIR 3 CT 2092. <<http://www.lisc.clermont.cemagref.fr/Images/Project/freport.pdf>>.
- Deffuant, G., Amblard, F., Weisbuch, G. et Faure, T., 2002. « How can extremism prevail? A study based on the relative agreement interaction model », *JASSS*, vol. 5, n°4.
- Demazeau, Y., 1995. "From interactions to collective behaviour in agent-based systems", dans *Proceedings of the 1995 European Conference on Cognitive Sciences*, Saint-Malo, France.
- Dumoulin, N., 2002. "Modélisation d'une colonie de chauves-souris vampires en vue de réaliser une application ludo-éducative », mémoire de Maîtrise d'Informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Dugatkin, L.A., 1997. *Cooperation among animals: An evolutionary perspective*. Oxford University Press.
- Epstein, J. et Axtell, R., 1996. *Growing Artificial Societies, Social Science from the bottom up*, MIT Press.
- Ferber, J. et Gutknecht, O., 1998. "A Meta-Model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems", dans *Proceedings of the 1998 International Conference on Multi-Agent Systems*.
- Fishwick, P.A., 1995. *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*, Prentice Hall.
- Galam, S., 1997. "Rational Group decision making: A random field Ising Model at T=0", *Physica A*, vol. 238, pp.66-80.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. et Vlissides, J., 1995. *Design Pattern – Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley.
- Kleijnen, J.P.C., 1995. « Verification and validation of simulation models », *European Journal of Operational Research*, vol.82, pp.145-162.
- Lawson, B.G. et Park, S., 2000. «Asynchronous time evolution in an artificial society mode», *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 3, n°1.
- Lindenberg, S., 1992. „The method of decreasing abstraction”, dans *Rational Choice Theory: Advocacy and Critique*, J.S.C.T.J.Fararo (ed.), Sage Publications, pp.3-20.
- Michel, F., Ferber, J. et Gutknecht, O., 2001. «Generic Simulation Tools based on MAS Organization» in *Proceedings of Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 10th European Workshop on Multi-Agent Systems*, Annecy, Suisse, May 2001.
- Ören, T.I., 1984. "Model-Based Activities: A Paradigm Shift", dans *Simulation and Model-Based Methodologies: An Integrative View*, T.I.Ören, B.P.Zeigler et M.S.Elsaz (eds.), Springer Verlag, New York, pp.3-40.
- Overstreet, C.M., 1982. "Model Specification and Analysis for Discrete Event Simulation", Ph.D, Dissertation, CS dept, Virginia Tech, Blacksburg.
- Schelling, T., 1960. *The strategy of conflict*, Cambridge, Harvard University Press.
- Travers, M.D., 1996. "Programming with agents: new metaphors for thinking about computation", PhD dissertation, MIT.
- Von Newman J. et O. Morgenstern, 1947. *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press.
- Watts, D., 1999. *Small Worlds. The Dynamics of Networks between order and randomness*, Princeton University Press.
- Wilkinson G., 1990. *Food Sharing in Vampire Bats*, Univ. Press, Baltimore and London.
- Zeigler, B.P., 1979. "Multi-level Multiformalism Modelling: An Ecosystem Example", dans *Theoretical Systems Ecology*, E.Halfton (ed.), Academic Press.
- Zeigler, B.P., Praehofer, H. et Kim, T.G., 2000. *Theory of Modelling and Simulation: 2nd Ed.: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*, Academic Press.

Aux horizons du vivant

Du report d'optimalité au jeu de l'apprenabilité

Robert Borodkine

robert.borodkine@wanadoo.fr

Résumé : Pour le vivant, le temps compte. Temps subi ? Temps mis à profit ? Les deux en général ! A travers les grandes étapes de la vie d'un organisme comme à chacun des instants de son existence, le temps rythme le vivant. Ceci vaut aussi bien au sein du système complexe qu'est un organisme vivant, que pour la dynamique dans laquelle s'inscrivent ses interactions avec l'environnement. Le vivant adopte une extrême variété de solutions dans de nombreux domaines, mais il est pour lui couramment question d'optimisation – d'une optimisation qui se situe dans une perspective temporelle et dont une caractéristique est la possibilité de privilégier une optimalité reportée plutôt qu'immédiate. Dans cette optique, cet article s'intéresse à la façon dont le vivant accommode les notions d'optimisation et de temporalité, à la manière dont il organise la cohabitation d'entités aux logiques temporelles différentes de par leurs natures et leurs échelles à l'intérieur d'organismes – pouvant être vus comme des écosystèmes – plongés dans des environnements avec lesquels ils entretiennent des rapports diversement marqués par la temporalité. Nous sommes amené à examiner comment un organisme joue d'une manière ou d'une autre sur une information relative aux aspects temporels des phénomènes auxquels il est confronté, et en quoi la temporalité constitue une entrée privilégiée pour appréhender la façon dont le vivant est susceptible de mettre à profit tout type d'information. Nous en venons à envisager comment les informations utilisées dans la description et la construction de l'organisme s'appuient sur le temps, et comment ce dernier autorise l'élaboration de ces informations comme de celles qui sont utiles à l'organisme pour son fonctionnement et son interaction avec le monde extérieur – qu'elles aient ou non un caractère temporel. Il apparaît que le vivant est essentiellement tributaire de l'apprenabilité de propriétés du monde – aux différentes échelles temporelles. Cette perspective n'est pas sans conséquence quant à la manière dont il convient de poser un certain nombre de questions telles que celles ayant trait aux conditions favorables à la vie, aux impacts de modifications de l'environnement, à la biodiversité, à différents problèmes de santé publique, et plus généralement à ce que peuvent être les directions prises par diverses lignées ou biocénoses.

Mots-clés : Adaptation, affordance, apprentissage, développement, écosystème, environnement, évolution, horizon temporel, identité, intéressement individuel et collectif, optimisation, organisme, profondeur de Bennet, soi et non-soi, système complexe, temps, théorie algorithmique de l'information.

1. L'optimalité reportée

Définir en quoi consiste pour un organisme vivant le fait de se bien porter ne va pas de soi, mais il est certainement question de pérennité, de maintien dans un domaine acceptable d'un certain nombre de paramètres – au premier rang desquels des paramètres physiologiques – et plus précisément de maintien d'un système dans une dynamique qui soit sous contrôle. On peut considérer qu'un organisme tend à maintenir la valeur d'une fonction correspondant à sa bien-portance au plus haut et, bien que la formulation d'une telle fonction soit généralement hors de portée, il est possible de s'intéresser à des facteurs y contribuant (parmi lesquels figurent notamment l'énergie et les matériaux stockés), à leurs variations, et aux processus d'optimisation associés.

Un être vivant s'efforce de suivre une trajectoire (dans un sens non uniquement spatial, une trajectoire de vie) conforme à ses intérêts, mais cette trajectoire n'est pas partout (le long de l'axe du temps) localement optimale : plutôt que d'aller immédiatement le mieux possible, il vaut mieux pour lui aller suffisamment bien mais au-delà de l'instant. Ainsi la vie a-t-elle par exemple besoin d'énergie, la variation la plus favorable de son niveau à court terme est le plus souvent obtenue en ne faisant rien : la recherche de nourriture, sa mise à disposition et jusqu'à son assimilation peuvent représenter des opérations coûteuses qui impliquent une chute du niveau d'énergie disponible alors que le fait de rester au repos n'entraîne que sa lente décroissance. S'il peut sembler évident de préférer une optimisation durable à une optimisation satisfaisant à des critères de localité, il est nettement moins évident de déterminer ce en quoi elle doit consister (encore ne nous préoccupons-nous pas à ce stade de la manière de la mener à bien). Si l'on s'intéresse à une durée plus étendue que le très court terme, que vaut-il mieux : aller très bien quitte à devoir attendre ? aller constamment plutôt bien ? ou aller très bien par intermittence ?

On pourrait peut-être s'en tenir à la survie, le fait de se bien porter revenant alors à avoir une grande espérance de vie. Dans cette perspective, un être vivant doit donc disposer non seulement de l'information relative aux valeurs de paramètres physiologiques idéaux, mais aussi d'une information indiquant jusqu'où il peut - sans risquer la détérioration de son système ou de sa dynamique - s'en écarter, et selon quelles rythmiques et durées.

2. Un éventail d'horizons temporels

Le temps est compté, différemment selon les espèces. Ce qui vient fréquemment à l'esprit en la matière est la durée de vie et celle du développement. La diversité vaut aussi pour l'éventail des horizons temporels par rapport auxquels l'optimalité peut être reportée, que ce soit entre espèces pour une même nécessité physiologique ou entre ces nécessités pour une même espèce. On peut examiner ceci à travers quelques grandes fonctions vitales : respirer, boire, se nourrir, absorber des matériaux, excréter, se reposer, et à travers quelques conditions ambiantes : température, pression, humidité, accélération, environnement chimique, environnement radiatif, environnement biologique. Un être humain peut se passer de respirer pendant quelques minutes, de boire ou dormir pendant quelques jours, de manger pendant quelques semaines, d'ingérer des matériaux utilisés dans des opérations de renouvellement ou dont la présence est requise pour le bon déroulement de processus chimiques pendant des durées variables selon les cas. Toujours chez l'homme, le froid peut être enduré de quelques minutes à quelques heures selon son intensité, la surexposition au Soleil pose des problèmes en quelques heures alors que la sous-exposition n'a de conséquences qu'après un temps vraiment plus long. Nous n'entreprendrons pas de comparaison systématique avec l'ensemble du monde vivant, remarquons tout de même quelques différences parfois radicales. Nombre d'animaux sont connus pour pouvoir se passer de respirer, boire, ou manger pendant beaucoup plus longtemps que nous, mais pour d'autres il n'est pas question de jeûner ne serait-ce que quelques jours, pas plus que de se passer de lumière pour les végétaux opérant la photosynthèse.

S'il est clair que l'optimalité de l'état d'un être vivant est liée à des facteurs divers, la question de l'énergie mérite néanmoins une attention particulière. Ce que consent un être vivant est largement tourné vers la quête d'énergie, directement ou indirectement (c'est-à-dire aussi quand elle provient de la matière), et il lui faut la dépenser à bon escient. Les investissements en énergie et les gains ont donc lieu selon une temporalité pour partie périodique et pour partie stochastique, car leur rentabilité peut être soumise d'une part à l'alternance du jour et de la nuit, des phases de la lune, et des saisons, et d'autre part à l'opportunité d'une capture de proie. Des différences de rythmiques sont par ailleurs liées au fait qu'un être vivant soit un autotrophe, un consommateur d'organismes disponibles « en continu » (herbe ; proies à la fois faciles, petites, et en nombre), un prédateur ayant à répéter des tentatives de captures ponctuelles et parfois couronnées de succès, ou un éleveur. Il faut ajouter à cette variété d'horizons temporels (correspondant à la combinatoire de couples espèces-fonctions vitales), qui se réfère à un individu pris comme un tout, la variété qui tient à la richesse de l'écosystème qui constitue l'individu (dans le cas d'organismes suffisamment complexes) ; on se retrouve avec des perspectives temporelles qui diffèrent d'un élément constitutif à l'autre, qui diffèrent de celle du tout, et qui doivent pourtant être compatibles.

3. Perspectives communes

Pour une partie des organismes hébergés, le parallèle avec des temporalités liées à des fonctions vitales « visibles » au niveau de l'organisme dans son ensemble est immédiat. Pour d'autres qui sont pourtant en prise directe avec de telles fonctions, le rapport entre les temporalités des fonctions et celles des populations internes concernées peut être plus ténu ou moins évident. D'autres encore sont des éléments qui contribuent à la dynamique du système sans forcément se rattacher à une fonction vitale, et sont concernés par des temporalités dépendant de leur positionnement dans l'écosystème interne. D'autres, bien qu'en prise directe avec de telles fonctions, obéissent à des temporalités sans rapport simple avec celles-ci.

A l'intérieur d'un organisme vivant comme l'être humain, il y a des cellules qui ont en permanence besoin d'eau et d'énergie. Nourriture et boisson permettent de répondre à de tels besoins, mais les perspectives temporelles de l'individu pris dans son ensemble et celles des cellules concernées diffèrent en plusieurs points – et doivent être conciliables. Il y a à la fois des décalages et des transformations de continu en intermittent (ou l'inverse, suivant que l'on se place du point de vue de l'individu ou de la cellule). Lors d'une prise alimentaire, la mise à disposition d'énergie sous une forme utilisable par la cellule prend un temps tel que l'absorption des aliments doit être stoppée avant d'être profitable, le phénomène de satiété intervient ainsi au fur et à mesure de la prise alimentaire en se basant sur des éléments précoces comme des informations viscéroceptives (et même sur l'arrivée d'aliments dans la cavité buccale) ; de manière analogue, la faim doit intervenir en anticipant sur l'épuisement des réserves de la cellule. Le délai de fourniture d'énergie impose à lui seul l'existence d'un tampon, mais le stockage permet également de passer d'un besoin cellulaire continu à une activité sporadique de l'individu – avec des bénéfices évidents en termes de libération de plages temporelles (et d'extension consécutive de l'éventail comportemental envisageable). Si le stockage autorise une relative souplesse temporelle dans la prise de nourriture (d'autant plus qu'il se fait à travers des formes adaptées au court et au long terme, avec par exemple respectivement le glycogène et la graisse), c'est le tandem faim-satiété qui permet de la mettre à profit : il tolère des heures fixes, des opportunités de plus grande absorption, ainsi que des restrictions provisoires.

Vis à vis de la respiration, les temps de la cellule et de l'individu aérobie sont assez semblables : c'est la continuité de l'approvisionnement en comburant qui est la règle (même si l'on peut nuancer pour tenir compte des mammifères marins), de sorte que le besoin de respirer est rapidement ressenti par l'individu. Au contraire, le cas des matériaux servant à la construction, ou au bon déroulement de processus biochimiques, fait à nouveau intervenir des temporalités différentes entre l'individu et ses constituants. De tels matériaux peuvent être ingérés ponctuellement et servir longtemps. Ainsi, les vitamines sont utilisées en continu. Il en va de même par

exemple du calcium qui sert à une construction osseuse (phases de croissance, réparations) qui se fait de manière progressive.

Il y a enfin la distorsion entre le temps de la vie d'un individu et celui des vies des organismes dont il se compose. Hématies, leucocytes, etc. sont sans cesse renouvelés. Ils forment avec les micro-organismes qui participent à la digestion (et en profitent) et quelques autres un écosystème où l'on croît, mange, se multiplie, meurt, et dont la durabilité correspond à la survie de l'organisme tout entier.

4. L'optimalité à crédit

Les exemples présentés dans les parties qui précèdent n'offrent qu'une vue très partielle de la manière dont la temporalité intervient dans le vivant, il n'est pas question d'en tirer immédiatement des lois faisant correspondre aux espèces, fonctions vitales et niveaux d'organisation des schémas et valeurs temporels. Il est par contre utile de remarquer qu'une certaine capacité descriptive est requise pour rendre compte de tels schémas qui combinent le périodique, le non périodique, le ponctuel, le continu, le synchrone, l'asynchrone, la simultanéité, le décalage, le déterministe, le stochastique... Il faut également souligner le rapport qui existe entre certains « partis pris » temporels – comme les horizons de privation / bénéficiaires acceptables de ressources – d'un représentant d'une espèce et des propriétés de son environnement : le délai au bout duquel un individu à de très fortes chances de se procurer de la nourriture doit être inférieur à celui au bout duquel l'absence de nourriture le met en péril, la durée acceptable d'un manque de comburant peut être quasi nulle si l'on est un aérobie vivant dans une atmosphère qui contient en permanence de l'oxygène, etc. ; plus généralement : reporter l'optimalité c'est faire des placements à terme en s'appuyant sur une « connaissance » mettant en rapport sa manière d'interagir avec l'environnement et ce que ce dernier peut apporter au-delà de l'instant.

Les propriétés de l'environnement ayant une forte dimension temporelle ne manquent pas et permettent d'apprécier certains aspects des capacités adaptatives du vivant. Parallèlement à des rythmes relativement simples liés à la mécanique céleste, des motifs temporels plus sophistiqués peuvent être mis à profit par l'évolution, comme le montrent divers produits de co-évolutions. Ainsi, la douve du foie pilote son hôte intermédiaire en fonction d'un timing évitant à la fourmi de périr aux heures chaudes (ce qui compromettrait l'ingestion par l'hôte définitif), tel parasite transmettant la bilharziose part à la rencontre de l'homme préférentiellement aux heures auxquelles les populations locales sont actives et exposées (travaillant dans l'eau), tel parasite affectant les racines du maïs allonge d'un an son cycle reproductif en réponse à la rotation des cultures (pour ne citer que ces quelques exemples). Aussi est-il tentant d'accorder au vivant une capacité très générale à traquer les séries temporelles. La temporalité simple peut également être instructive : lorsque des conditions même « extrêmes » (température, chimie,...) sont fournies avec une grande constance, il arrive que la vie soit présente.

Tout ceci nous conduit à proposer que la vie n'est pas limitée à un ensemble restreint de formes que peuvent prendre la matière, l'énergie, les phénomènes spatiaux et / ou temporels ; ce que l'on tient pour des exigences du vivant doivent être revues à la baisse avec en point de mire des conditions de non totale aléatoire du milieu.

⇒ Autrement dit : les frontières du vivant sont celles de l'apprenabilité.

Ce n'est pas anodin car, si l'idée que le vivant met à profit des aspects structurés et des aspects probabilistes du monde n'est pas nouvelle (cf. [2], [20]), aller au bout de cette idée en envisageant que la vie peut être en mesure de s'appuyer sur tout type de non-aléatoire et en plaçant l'apprenabilité au cœur même de la dynamique du vivant permet d'entrevoir pour cette dernière un immense champ des possibles et de la revisiter d'une manière systématique (si l'on accorde au vivant la capacité à jouer sur une notion de non-aléatoire vue à travers son acception théorique la plus large, à travers les notions de compressibilité et de complexité de Chaïtin-Kolmogorov (cf. [3], [12], [15], [16], [18], [19]). Précisons que l'évolution correspond à un apprentissage des propriétés du monde, de fait, dans la mesure où elle fait s'étendre des populations d'individus compatibles avec elles.

Ces propriétés conditionnent :

- les interactions avec l'extérieur, il est question d'affordances (cf. [6], [7] ; possibilités d'utiliser des structures présentes dans l'environnement) ; l'extérieur étant une entité non définie par l'individu, sur lequel connaissance et influence sont partiels et avec lequel il faut gérer une temporalité largement événementielle ;
- le fonctionnement intérieur, il est question de ce que l'on appelle parfois le bricolage de l'évolution (cf. [11] ; structures utilisables en interne) ; l'intérieur étant une entité largement définie par les génome, bien « connue » et sous contrôle, sur laquelle l'influence de l'environnement est limitée, et pour laquelle la gestion de la temporalité plus planifiée (certains aspects événementiels sont amortis).

Au cours du processus de développement, le programme génétique instaure les conditions favorables à l'émergence d'une dynamique acceptable et (progressivement) à la formation d'un corps complet. La probabilité d'obtenir au cours de l'évolution des programmes si remarquables peut sembler faible (compte tenu de ce que ceci sous-entend en termes d'information définissant les interactions au sein de cet écosystème), aussi peut-on préférer considérer que la phase de développement comporte elle-même un processus basé sur une forme de sélection naturelle (cf. [14], [17]) permettant de conserver des entités ayant des bonnes propriétés (répartissant ainsi la difficulté entre deux échelles temporelles) plutôt que de les définir de toutes pièces... mais c'est tout de même une manière de les définir : il est toujours question de programmation (cf. [8], [10], [13]) mais elle est évolutionnaire (ceci peut aider à considérer l'influence de l'environnement pendant le développement non comme un abandon de souveraineté de la part du programme

génétique mais comme un signe de la capacité de ce dernier à générer plusieurs versions d'individus adaptées à des nuances environnementales).

Les propriétés du monde évoquées plus haut peuvent être des types de dynamiques. Compte tenu de ce que sont les organismes vivants, l'évolution naturelle implique une sélection de systèmes complexes aptes à une croissance et à une certaine stabilité – qui sont dans leurs cas des propriétés émergentes. Il faut donc qu'il y ait induction de jeux de conditions initiales propres à conduire à l'émergence de telles propriétés, et que les dynamiques en question soient telles qu'une précision imparfaite dans la définition de leurs conditions initiales ne les modifie pas radicalement. Il y a donc induction de jeux de paramètres générant des dynamiques à la fois robustes vis-à-vis d'eux et aptes à la croissance et à la stabilité. Dans le cas d'organismes suffisamment complexes, il n'est pas étonnant que les dynamiques puissent être celles d'écosystèmes, si l'on songe au fait que le type d'interactions à l'œuvre dans de pareils systèmes (à l'échelle macroscopique) est à même de conduire à des dynamiques relativement stables, pourvues de forces de rappel, et à des dynamiques dont la stabilité peut croître avec la complexité.

Dans ces conditions, on peut – quand on affaire à des organismes qui sont des écosystèmes – préférer envisager les choses à travers les types de relations qui y prévalent habituellement plutôt qu'à travers une conception en termes de signaux (avec les paradoxes altruistes associés) ; tout ne devient pas simple pour autant : le programme génétique doit mettre en place un environnement tel que les intérêts individuels de ses occupants non concertés et non écocitoyens n'amènent pas le système dans une situation critique. Par ailleurs, il se trouve qu'information et communication jouent un rôle dans les interactions entre éléments d'un écosystème (cf. [1]). Des processus de reconnaissance interviennent dans nombre de mécanismes de prédation et dans la manière d'utiliser différentes propriétés d'un environnement, à l'échelle microscopique le fait qu'il existe un gradient de nutriments peut représenter une information utilisable. L'apparence est également utilisée côté « émetteurs », y compris dans des rapports proie-prédateur, et elle est largement impliquée dans divers scénarii coévolutifs (liés à la prédation, au parasitisme, et au mutualisme). Enfin, des mécanismes s'apparentant à de la communication existent dans de nombreuses espèces animales et végétales (espèces se situant à des niveaux de complexité variés) ; ils sont notamment utiles pour accéder à des ressources (que ce soit avec une relative indépendance ou une véritable coordination). Les préoccupations trophiques, l'information et la communication ne sont donc pas à opposer.

Si la proposition selon laquelle la vie ne connaît pas d'autre limite que celle de l'apprenabilité – y compris dans la dynamique de son évolution génétique – est valable, il en découle un certain nombre de conséquences.

On ne décime pas des espèces en les privant d'énergie, de matière ou d'espace (il en demeure généralement), mais en allant à l'encontre de leurs certitudes physiologiques en faisant intervenir des types et / ou des rythmes de transformations de leur

environnement que leur apprentissage ne pouvait laisser prévoir ; ceci renvoie aussi à la question de la biodiversité que l'on peut résumer dans l'optique d'apprentissages à travers la métaphore d'un dilemme du bandit à deux bras : explorer ou exploiter ?

La diffusion technique et culturelle (qu'elle se fasse en des courts-circuits ou par percolation) conduit à l'apparition et à la disparition de propriétés de l'environnement sur de vastes territoires : de telles propriétés même à première vue insignifiantes (non humainement détectées, et difficiles à hiérarchiser) peuvent compter pour une partie du monde vivant. Qu'il s'agisse de pratiques sociales, spatiales et / ou temporelles, de comportements individuels (mais généraux), qu'il s'agisse de formes d'agencements du territoire ou d'infrastructures (à différentes échelles) : tout ceci revient à des possibilités (en plus et en moins) pour beaucoup d'organismes de se déplacer, se fixer, être approvisionné en matière et en énergie, métaboliser, se multiplier.

A défaut d'étudier dès à présent systématiquement le territoire comme regorgeant de non-aléatoirités, on peut remarquer des propriétés comme la généralisation de dispositifs de ventilation, climatisation, conduite d'eau chaude (et leur maillage du territoire). On peut aussi remarquer qu'il existe des zones où les humains sont à la fois très concentrés et où leur organisme est moins agressif face aux intrusions, ou encore que des points éloignés du territoire sont néanmoins connectés.

Alors que le phénomène de résistance aux antibiotiques est désormais notoire (face auquel quelques dispositions applicables sont connues qui relèvent pour ainsi dire du bon sens), que deviennent les options envisageables si l'on pose explicitement les choses en termes de processus d'apprentissage ? Que l'on alterne les traitements ou les cultures : jusqu'où les organismes importuns suivront-ils si l'on complique les patterns temporels ?

Plus généralement, qu'il s'agisse de la préservation de la diversité biologique, d'espèces, d'écosystèmes, ou de la lutte contre les parasites ou les organismes pathogènes : à quand un observatoire de l'apprenabilité ?

Conclusion

Lorsque l'on se penche sur le fait que le vivant est en mesure d'opérer des optimisations relatives à des horizons temporels plutôt qu'immédiates, des questions se posent ayant trait à l'information entrant en jeu dans un tel phénomène, à la diversité des rapports que nourrissent la vie et la temporalité, à des problèmes de coordination, et à la façon même de caractériser une propriété temporelle.

Nous sommes amené à postuler que les contraintes primordiales pour le vivant, ainsi que son unité, ne tiennent pas à la matière ou à l'énergie, mais à l'information : à l'apprenabilité de propriétés du monde. Cette manière de concevoir le vivant éclaire notamment – mais pas exclusivement – la question de son rapport à la temporalité.

Ces idées semblent trouver des points d'application dans différents domaines, mais pour leur conférer un statut véritablement opératoire, voire les situer au cœur de

processus d'expertise, il est nécessaire de surmonter un certain nombre d'obstacles. Certaines difficultés proviennent des durées nécessaires à l'observation de phénomènes évolutifs ; on peut dans une certaine mesure s'en affranchir en s'intéressant à divers micro-organismes (dont les cycles reproductifs peuvent être suffisamment courts) pour étudier par exemple la possibilité d'apparition de lignées qui s'accommoderaient de différentes rythmiques affectant leur environnement. D'autres difficultés sont liées à des exigences d'interdisciplinarité, d'autres encore relèvent d'aspects théoriques et pratiques de la recherche de non-aléatoirités.

Références

- [1] BOUVET J.-F. (2000), La stratégie du caméléon : De la simulation dans le monde vivant, Ed. Seuil.
- [2] BRUNSWIK E. (1956), Perception and Representative Design of Psychological Experiments Berkeley: University of California Press
- [3] CHAITIN G. J. (1975), A theory of program size formally identical to information theory, Journal Association Computing Machinery, n° 22, p. 329340.
- [4] DAMASIO A. R. (1995), L'erreur de Descartes. La raison des émotions, Traduit de l'anglais, 1994, par M. Blanc, Ed. Odile Jacob, Paris.
- [5] DANCHIN A. (1998), La barque de Delphes : ce que révèle le texte des génomes, Paris, Editions Odile Jacob.
- [6] GIBSON J. J. (1977). The theory of affordance. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), Perceiving, acting, and knowing. Hillsdale, NJ: Lawrence.
- [7] GIBSON J. J. (1979), The ecological approach to visual perception, Boston, Editions Houghton Mifflin.
- [8] GOLDBERG D.E. (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Mass.: Addison--Wesley.
- [9] GOULD S. J. (1997), L'éventail du vivant. Le mythe du progrès, 1996, trad. de C. Jeanmougin, Paris, Seuil.
- [10] HOLLAND J.H. (1975), Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- [11] JACOB F. (1997), La Souris, la Mouche et l'Homme, Ed. Odile Jacob, Paris.
- [12] KOLMOGOROV A. N. (1965), Three approaches to the quantitative definition of information, Problems of Information Transmission , n°6, p. 1-17.
- [13] KOZA J.R. (1992). Genetic Programming: On Programming Computers by Means of Natural Selection and Genetics. Cambridge, MA: The MIT Press.
- [14] KUPIEC J.-J., SONIGO P. (2000), Ni Dieu ni gène. Pour une autre théorie de l'hérédité, Paris, Editions du Seuil.

- [15] LI M., VITANYI P.M. (1993). An introduction to Kolmogorov Complexity and its Application. Berlin: Springer--Verlag.
- [16] SOLOMONOFF R. J. (1964). A formal theory of inductive inference. Information and Control 7:1--22,224--54.
- [17] SONIGO P., STENGERS I. (2003), L'évolution, Editions EDP sciences.
- [18] TURING A.M. (1992), Solvable and unsolvable problems, Science News 31, Penguin, 1954, pp. 7-23. [Reprinted in (two volumes of) A.M. Turing, Collected Works.
- [19] VITANYI P.M.B., Randomness. In: Matematica, Logica, Informatica, Volume 12 of the Storia del XX Secolo, Istituto della Enciclopedia Italiana (Eds.).
- [20] WERTHEIMER M. (1958), Untersuchungen zur lehre von der gestalt ii, translated as: “ principles of perceptual organization ”. In Readings in Perception, pages 115--135. Princeton, N.J.

Le temps du droit et le droit du temps

Danièle Bourcier

Directrice de recherche

CNRS-CERSA

Université de Paris2

bourcier@msh-paris.fr

Mots clefs : Mémoire - écriture - oralité - évolution - amnistie - prescription - temporalité sociale - technologie

« En fait de meuble, possession vaut titre »

La question du temps est au cœur des relations juridiques : le temps façonne le droit. Mais le droit peut aussi agir sur le temps.

Je propose de partir de la phrase citée en exergue. « *En fait de meuble, possession vaut titre* ». Cet énoncé est un adage, traduisant le sens d'une des coutumes les plus populaires de notre culture juridique, et lentement déposé dans la mémoire du droit occidental. Cette règle, « non écrite dans une loi », répond à un besoin immédiat de sécurité des relations sociales. Elle signifie qu'on peut jouir d'un bien sans en être propriétaire¹ et que le temps peut, *par lui-même*, modifier les relations juridiques entre les personnes et les choses.

D'autres adages auraient pu être cités. Mais ces normes coutumières sont plus en plus codifiées et ce processus de création du droit semble tari. Il existe donc bien différentes *durées* pour concevoir cet ensemble de règles contraignantes auxquelles se soumettent les membres d'une société et que l'on appelle *droit*. La loi, le décret, la justice avec leurs processus d'élaboration singuliers sont désormais les principales sources du droit. L'adage, règle immémoriale et non écrite ne suffit plus à régler le quotidien de *l'homo juridicus* du XXI^e siècle.

J'ai cité cet adage pour montrer combien les rapports que le droit et le temps entretiennent sont multiples et combien le choc des temporalités juridiques entre cultures peut être violent quand les écarts se déploient sur plusieurs milliers d'années. L'affaire Mabo (1993) qui s'est conclue en Australie en est un exemple. Les Aborigènes ont réussi après une longue bataille judiciaire à imposer leurs droits

¹ Avec la constance et l'apparence d'un état.

ancestraux face à la doctrine récente (deux siècles) du « res nullius » (le territoire n'appartenait à personne ...) de leurs colonisateurs européens.

Le droit est à la fois le *miroir du temps* et la *grille du temps*. *Miroir du temps* (I) car l'histoire d'une société se reflète dans la façon dont elle élabore ses règles de vie et laisse le temps au droit pour émerger, se construire ou disparaître mais aussi *grille du temps* (II) car le droit, en tant qu'*ingénierie normative* gère les multiples temporalités sociales², en intervenant directement pour coordonner ou contraindre nos comportements et nos actes ou en laissant au temps le temps.

I. Le droit, miroir du temps

La complexification des relations sociales a entraîné le besoin d'inscrire les normes et les contrats sur des supports durables et transportables. Peu à peu, la *raison orale* disparaît dans nos sociétés modernes au profit de la *raison écrite*. La *coutume*, dont un adage vient d'être cité, porte la trace de l'origine orale du droit : elle est toujours citée dans les introductions au droit comme une des sources du droit. Cependant dans nos sociétés où la raison graphique est dominante, son rôle paraît relever désormais des archaïsmes du droit. Les autres sources officielles, la *loi*, la *jurisprudence*, la *réglementation*³ se sont imposées au fur et à mesure de notre histoire politique parce qu'elles répondaient mieux à notre travail collectif de *mémoire, d'élaboration et de transmission*⁴.

L'examen de leur fonctionnement actuel montre qu'elles sont cependant traversées par la question de la temporalité. Essayons d'en décrire quelques aspects.

Prenons la loi. La loi a toujours occupé une place privilégiée dans les systèmes juridiques issus du droit romain. « Evangile de la nation » depuis la Révolution française, elle était considérée comme une *règle générale et universelle* à laquelle une certaine *permanence* était affectée, de par sa nature au sommet de l'édifice normatif. La loi n'indiquait jamais pour combien de temps elle était prise. Une certaine solennité était attachée à ses caractéristiques intemporelles.

Quelques exemples issus de phénomènes récents montrent comment le temps de la loi a changé.

- L'année 2004 va fêter le bicentenaire du Code civil. Le premier article du Code n'avait pratiquement pas été changé depuis 1804. Suivant un autre adage bien connu qui est devenu une présomption de connaissance à savoir « Nul n'est censé ignorer la loi », cet article prévoyait que la loi serait applicable *un jour franc* à Paris après sa publication à Paris et *un jour après* l'arrivée du Journal officiel au chef lieu du département, pour

² G. Gurvitch, « La multiplicité des temps sociaux » in *La vocation actuelle de la sociologie*, t.2 Paris, 1963.

³ Liste à laquelle la doctrine et les opinions des juristes ainsi que, de plus en plus, la science du droit (aidée par la modélisation et le développement des TIC) peuvent être ajoutées.

⁴ Signalons même que les coutumes ont tendance à être « abolies » par voie législative : par exemple le bizutage par une loi en 1998.

tenir compte des transports en diligence. Désormais, depuis juillet 2003, la règle a changé : la connaissance est présumée *instantanée sur tout le territoire*. Les technologies de l'information ont égalisé les rapports au lieu et au temps : tous les Français, grâce à internet, sont censés avoir accès à la loi au même instant sur tout le territoire français⁵.

- L'écriture de la loi faisait l'objet d'une rédaction minutieuse, précise, élaborée. On cite souvent le cas de Stendhal (écrivain mais aussi conseiller d'Etat) qui lisait le Code civil comme un roman. Le temps d'élaboration de la loi est devenu de plus en plus court alors que les questions de fond sont devenues complexes (techniques ou éthiques) et que les systèmes juridiques rédigés en langue différentes doivent s'harmoniser au niveau supra-national. La loi devient une réponse à un évènement, une sorte de texte-réflexe (voir le projet de loi sur le voile). Les textes dans ces conditions, sont souvent rédigés à la hâte et font l'objet de multiples modifications⁶. De nouvelles facilités seront d'ailleurs apportées par les technologies légistiques permettant la gestion du texte mais aussi des amendements pratiquement en *temps réel*. Sont désormais développés les appels à des consultations publiques pré-législatives via internet comme pour le projet de loi sur l'économie numérique pour pallier les difficultés qui peuvent surgir de leur application. De même la question de l'harmonisation des normes entre traditions juridiques est devenu un *projet de station de travail du rédacteur* européen en workflow.
- La valeur intemporelle de la loi a aussi changé. La tension entre le flux (mémoire à court terme) et le stock (mémoire à long terme) des normes qui avait été gérée par différents gouvernements depuis des générations devient problématique pour le management quotidien de l'information juridique. La législation s'est développée souvent de façon anarchique et désordonnée (« trop de droit qui tue le droit ») mais régulièrement un roi ou un empereur faisait de l'œuvre de codification des lois une entreprise symbolique visant à unifier ou à centraliser son pouvoir (il n'y a pas de pouvoir sans ancrage législatif au sens propre). Les codes qui en étaient issus (Hammourabi, Justinien, Napoléon) représentaient une structure mentale juridique pour plusieurs siècles. Cette même entreprise de codification a été entreprise en 1989 en France. Un chantier a été ouvert visant à inclure toutes les lois françaises dans une cinquantaine de

⁵ Danièle Bourcier, 'De la publicité à la connaissance des lois : un changement de perspective' in *Les six premiers articles du code civil*, Economica, 2003, p. 82

⁶ En 1991, 70 % des projets de lois et d'ordonnances ont dû être examinés en moins d'un mois et parmi ceux-là 42 en moins de 15 jours. La loi relative à l'Agence du médicament a été déposée le 2 septembre pour être examinée en section du Conseil d'Etat le 3 septembre (voir Autres exemples de ce type dans le rapport du Conseil d'Etat, 1991 sous la rubrique Instabilité des règles).

codes. Vaste projet, mais qui ressemble aussi à un tombeau des Danaïdes. La codification est une solution pour endiguer l'éclatement de la connaissance normative mais elle devient une gageure pour la gestion et l'écriture de la loi au quotidien. Là aussi les TIC sont devenues indispensables, symptômes de notre incapacité à gérer le temps institutionnel avec les procédures traditionnelles.

- La loi n'a plus vocation à surmonter les siècles. Elle est devenue temporaire. De nouveaux instruments législatifs – relevant de ce qu'on appelle désormais la *managérification de la loi*⁷ – sont apparus qui contribuent à désacraliser le statut de la loi immémoriale. D'abord les lois peuvent être adoptées pour un temps limité : ce sont les *sunset laws*. La loi sur l'impôt-sécheresse (1976) est de ce type. Après qu'elles ont rendu leur office, elles sont purement et simplement abrogées. On les a appelées des lois jetables⁸. Certaines lois peuvent aussi être maintenues mais avec des régimes ambigus : ainsi la *suspension* d'une loi peut vouloir dire qu'elle n'est ni abrogée ni en vigueur. C'est le sort qui a été réservé pour une partie de la Loi Aubry sur les trente-cinq heures. Personne ne sait exactement quel est le statut juridique d'une loi suspendue. Enfin, un nouveau type de dispositif consacrant la notion de lois *expérimentales* est apparu : il vise à retrouver le temps de réflexion nécessaire pour inscrire la loi dans le marbre. Ainsi l'adoption d'une loi se fait ... de façon provisoire et conditionnelle. Au lieu de faire des enquêtes préalables ou des simulations, le législateur lance une expérimentation juridique *réelle* dans la société. La loi est temporaire puis après une évaluation, peut être pérennisée par une autre loi, ou réexpérimentée *ad libitum*. Citons parmi les lois expérimentales les plus emblématiques la loi de 1975 sur l'IVG, la loi de 1988 sur le RMI, la loi de 1989 sur le permis à points.
- L'élaboration du droit faisait partie des « phénomènes de longue durée »⁹. On peut même supposer que certaines normes constitutionnelles sont « éternelles » puisque « la forme républicaine de gouvernement » et « l'intégrité du territoire » ne peuvent pas faire l'objet des procédures de révision prévues par la Constitution dans son article 89. Mais toute loi peut défaire ce qu'elle a adoptée en adoptant le « parallélisme des formes » : c'est la vocation de la loi de pouvoir à la fois être l'instrument de changement et l'objet de changement. Or les lois d'exception remettent en cause les libertés les plus fondamentales au

⁷ Jacques Chevallier, 'Les lois expérimentales, Le cas français' in *Lire le droit, Langue texte et cognition*, D. Bourcier & P. Mackay (eds), LGDJ, 1992.

⁸ Rapport du Conseil d'Etat, 1992.

⁹ Bien que Fernand Braudel n'ait pas inclus les structures juridiques dans son analyse du monde méditerranéen.

nom de l'urgence et la sécurité. Il convient de s'attarder sur la recrudescence de ce que l'on peut appeler les lois d'exception dans le fonctionnement des démocraties. Or là aussi le rôle de la loi n'est pas de gérer l'urgence permanente. L'état de droit est fondé sur la loi. En cas d'exception, le temps est géré par l'exécutif. L'exception suspend le cours normal des principes et des institutions et neutralise la loi (en 1961, le Général de Gaulle eut recours à l'article 16). Mais les circonstances et événements depuis quelques années ont conduit les états modernes à développer un état d'urgence ou d'exception permanent qui non seulement remet en cause certaines libertés fondamentales mais privilégie aussi la législation de circonstance. Comme le signale Agamben "*De l'état d'exception effectif où nous vivons, le retour à l'état de droit n'est pas possible, puisque ce qui est en question maintenant ce sont les concepts mêmes d'état' et de 'droit'*"¹⁰. Le droit suspendu auquel il fait allusion vise aussi bien le USA Patriot Act voté par le Sénat le 2 octobre 2001 qui permet de garder en détention l'étranger suspect de mettre en péril "la sécurité nationale des Etats Unis" que *le military order* édicté par le président des Etats-Unis le 13 novembre 2001 qui autorise *un* nouveau type d'emprisonnement, *l'infinite detention*, et instaure une nouvelle catégorie le *detainee*, qui n'est ni le prisonnier de guerre selon la Convention de Genève, ni l'inculpé des lois américaines.

En résumé, le droit devient inflationniste, continu, gazeux, complexe, postmoderne voire quantique¹¹. Le droit est le miroir du temps mais aussi le miroir de son temps. Les changements opérés dans la temporalité du phénomène normatif par les gouvernants successifs sont des indicateurs d'une accélération du « droit ». On peut se demander comment la société peut accéder à la loi, l'intégrer cognitivement et socialement et recevoir de nouvelles informations sur son évolution. Certains informaticiens du droit veulent promouvoir des systèmes qui intégreraient ces changements dans tous les supports informationnels qu'ils utilisent dans leur vie professionnelle (agents intelligents assurant une veille juridique et intégrant les mises à jour dans les outils au fur et à mesure). « Droit vivant »¹² ? Droit encapsulé dans les outils techniques ? Ce sont les institutions elles mêmes conçues sur un autre *temps d'élaboration* du droit (voir la Constitution) qui deviennent inadaptées à nos formes démocratiques de gouvernance.

¹⁰ Giorgio Agamben, *Etat d'exception*, Seuil, 2003.

¹¹ Dictionnaire encyclopédique de théorie et de sociologie du droit, LGDJ, 1993, verbum : loi.

¹² Dans son ouvrage *The future of Law, Facing the challenges of information technologies*, Oxford University Press, 1998, p. 290, Richard Susskind reprend la métaphore du droit vivant (élaborée par le philosophe du droit Ehrlich avec une autre signification au début du siècle) comme solution proactive d'adaptation du monde juridique à l'évolution par la technique.

La jurisprudence, coutume *sui generis*, est dans doute la partie la plus sensible aux évolutions du temps juridique. Pour Gény¹³, elle pouvait être « une force vraiment productive du droit ». La comparaison entre l'efficacité de la loi ou de la jurisprudence par rapport au temps a déjà fait l'objet de nombreux débats. Jean Carbonnier voyait dans la règle une « économie dans le temps »¹⁴, un progrès de l'humanité juridique, l'origine du droit. Pour Levy Bruhl au contraire pendant longtemps les sociétés ont été incapables de généraliser et d'abstraire l'avenir. « La règle naquit des habitudes de ce juge et d'une certaine constance dans sa manière de trancher » (Philippe Gestaz). Actuellement, la question se pose : dans un monde d'incertitude, le temps législatif n'est plus adapté. La jurisprudence est sans doute redevenue la coutume d'hier.

II. Le droit, grille du temps

Les rapports de force entre droit et temps s'apparentent à des enchevêtrements multiples. Le droit agit sur le temps et scande la vie des acteurs. Mais parfois le temps reprend ses droits : le droit s'efface devant la puissance du temps¹⁵. Voyons ces deux aspects.

A - "*Les notions maniées par le droit ne sont intelligibles qu'en fonction du temps*" dit le juriste¹⁶. De la naissance à la mort des personnes, le code civil fixe les obligations, les droits et les interdictions par rapport aux âges, aux durées, aux délais, aux suspensions, aux aléas, à l'avant, au pendant, à l'après des actes, à l'immédiat, à l'urgence des situations : la majorité électorale, le contrat, le bail, la promesse, les fiançailles, le mariage, les successions en sont des exemples. En droit du travail, jamais on n'a autant parlé de l'âge de la retraite, du temps de travail (épargne-temps, crédit-temps etc.). La peine s'exprime en nombre de mois ou d'années, et même de jours-amendes¹⁷.

Pour Michèle Bordeaux, qui a fait une étude lexicale systématique des notions de temps dans le code civil, le temps est le "*facteur fondamental de la force obligatoire de la loi*"¹⁸. Reprenant le travail de Jean Ray pour qui le Code civil donne une vision a-temporelle de l'homme et du monde, elle fait l'hypothèse inverse: le code est une abstraction mais inscrite dans le temps. Elle en donne pour preuve les quatre tendances observées à travers la nomenclature qu'elle a dégagée de sa lecture systématique et contrastive du Code civil :

¹³ François Gény, *Méthode d'interprétation et sources en droit privé positif*, LGDJ, 1954.

¹⁴ Jean Carbonnier, *Flexible Droit*, LGDJ, 6^{ème} édition, 1998.

¹⁵ De même qu'en science, le temps est un élément important du hasard heureux de la découverte comme le signale P. van Andel de même de l'écoulement du temps peuvent naître de nouveaux droits.

¹⁶ Jean Ray, *Essai sur la structure logique du code civil*, thèse Lettres Paris, Alcan, 1926.

¹⁷ La portion d'amende non payée peut être convertie en jours de prison.

¹⁸ Michèle Bordeaux, 'La grille du temps, Approche lexicale du temps des lois (Code civil 1804)' in *Langages* n°53, mars 1979.

- la mesure exacerbée du temps par les dates et les âges;
- le regard vers la mort (à partir du moment du mariage où s'organisent les rapports pécuniaires);
- le temps hypothétique (la crainte de l'imprévu, la marge de sécurité, le risque);
- le temps grammatical, chronologique, qui traverse ces trois catégories et les recouvre (présent, passé, futur).

Le code n'est pas hors du temps, conclut-elle, bien au contraire: "*Nous avons photographié les barreaux du temps, fermetures plus que points de repères, ceux qui déterminent votre vie légale, sociale autorisée, de son début à sa fin, en toutes circonstances prévues ou éventuelles... Ce n'est pas d'un homo juridicus abstraitement concerné qu'il s'agit mais de tout sujet subissant l'encadrement temporel et spatial, force de la loi*"¹⁹. Précisons cependant que le code civil est le plus apte des codes à encadrer le temps de la vie humaine puisqu'il a pour objet l'état des personnes et de leurs relations *civiles* au monde, de la naissance à la mort. Il en serait différemment pour le Code des collectivités territoriales ou le Code de commerce. Mais on ne peut nier que le droit est un instrument de conservation des rapports sociaux dans un ordre déterminé. Il n'est pas surprenant que le temps soit une mesure de cet ordre. Ce qui signifie aussi que la représentation du temps contient une représentation idéologique de l'histoire.

Cette grille nous permet de lire ce que le pouvoir et le savoir ont à transmettre sur l'ordre social. Le temps du droit est un facteur de soumission et de normalisation mais il impose aussi une discipline des corps. Michel Foucault parle de la loi et du pouvoir comme "*droit de prise sur les choses, le temps, les corps et finalement la vie*"²⁰.

B- Mais l'ordre juridique sait aussi s'effacer devant la puissance du temps qui passe. Le temps provoque l'effacement des preuves, l'incertitude des témoignages, le vieillissement des contractants. C'est aussi le souvenir même de la règle qui peut être affecté. On a vu que la coutume n'ayant pas de date de naissance, n'a pas de date de disparition mais elle peut cependant tombée en désuétude. Il en va autrement pour la loi écrite qui, même non appliquée, ne peut être écartée sauf par une autre loi. La caducité n'efface pas la loi²¹.

Le temps peut cependant reprendre ses droits. La sécurité juridique est en équilibre entre l'oubli et la mémoire, entre la rétroactivité limitée et les droits acquis. L'infraction peut disparaître après le délai de prescription, la sanction après

¹⁹ Michèle Bordeaux, op. cit. p. 115.

²⁰ Michel Foucault, *La volonté de savoir*, Editions Gallimard, p. 178.

²¹ Voir l'article de Elisabeth Catta, 'Codification et loi-fétiche', in *Interpréter le droit: le sens, l'interprète, la machine*, C. Thomasset et D. Bourcier (eds), Bruylant, 1997 p. 63-70 qui montre que la loi du 15 février 1872 relative au rôle des conseils généraux dans des circonstances exceptionnelles dite loi Tréveneuc n'a jamais été appliquée, ni codifiée, ni abrogée: votée rapidement par l'Assemblée nationale en 1872 qui redoutait un coup d'état, elle fait partie de ces lois fétiches condamnée à vivre sans effectivité.

l'amnistie. Ces différentes "institutions de clémence" éclairent de quelle façon le droit redonne la main au temps, instaure une sorte de "pardon" juridique et peut répondre à un souci d'apaisement.

Comment une société interroge-t-elle le rapport entre la justice et le passé?

Ces institutions que sont la grâce, l'amnistie, la prescription ou la réhabilitation sont des mécanismes juridiques de nature distincte mais qui ont la même finalité : laisser faire le travail de deuil et reconstruire l'ordre après le chaos, le trauma, l'émotion collective.

Nous avons entendu les débats parlementaires, à propos de la loi d'amnistie du 6 août 2002, contestant que l'amnistie fût une tradition républicaine. Nous avons aussi été confrontés à l'interpellation en 2001 d'un homme soupçonné d'avoir commis une série de crimes sexuels au cours des années 70 et 80 dans l'Yonne : était-il pertinent de prescrire les poursuites (de les "annuler") du seul fait qu'un délai fixé par la loi (10 ans) s'était écoulé? Examinons ces institutions plus en détail pour en comprendre les origines et les fonctions.

- *La prescription* (le mot est polysémique) instaure un délai qui transforme une situation juridique par le simple écoulement du temps. Ainsi, la prescription *extinctive* fait disparaître un droit et la prescription *acquisitive* au contraire crée de nouveaux droits sans qu'aucune action intervienne dans cette transformation. Citons quelques exemples: la prescription est de 6 mois pour les hôteliers et restaurateurs qui veulent récupérer des sommes d'argent à raison de la nourriture ou du logement, de 2 ans pour le corps médical, de 3 ans pour le fisc, de 10 ans pour la mise en cause des constructeurs à raison de malfaçons. Inversement, il existe des primes aux situations de fait qui perdurent, aux comportements qui se répètent sans être contestés. Cette règle implicite fait partie sans aucun doute des résurgences d'un autre vieil adage "qui ne dit mot consent". Ainsi signale Maurice Gaillard : "*C'est un phénomène extrêmement curieux et à plus d'un égard choquant... En ce sens le droit s'use si l'on ne s'en sert pas et disparaît à l'issue d'une abstention plus ou moins longue de son titulaire*"²². La possession d'état d'enfant légitime par exemple n'exige qu'une situation "continue" (Code civil art. 311-1).

Pourquoi cette idée de prescription qui suspend les poursuites en matière pénale? Certains pensent que l'écoulement du temps rend les preuves difficiles. D'autres avancent que ce délai sanctionne l'inaction de l'Etat qui a un impératif de diligence. Mais l'évolution scientifique (ADN) est en train de modifier cette question de la prescription. En outre certaines lois comme celle du 17 juin 1998 sur les infractions sexuelles permet de retarder le point de départ de la prescription à l'âge de la

²² Maurice Gaillard, *L'intelligence du droit*, Editions d'Organisation, 1992.

majorité de la victime. La tolérance au temps dans le champ de la justice peut évoluer suivant les circonstances ou les avancées scientifiques.

- L'*amnistie* est une institution plus ambiguë face au temps. Il ne s'agit pas d'empêcher des poursuites, d'entériner des situations qui ont perduré dans le temps mais originellement d'apaiser un trouble social après une période de dissensions (amnistie pour certains faits commis en Algérie ou en Nouvelle Calédonie par exemple). L'amnistie est une prérogative du Parlement (Article 34 de la Constitution). En France elle est attendue après chaque changement politique. Les effets de l'amnistie sont particulièrement significatifs des rapports du temps au droit : elle interrompt les poursuites mais surtout elle efface la condamnation. La condamnation est retirée du casier judiciaire (ce qui informatiquement pose parfois de problèmes) et la loi interdit d'en faire état. C'est *comme si* l'acte (factuel et juridique) n'avait jamais existé. Intervenant quand des cycles de violence ont déchiré la société, sa fonction a cependant évolué. Il existe actuellement un courant hostile à l'amnistie dans l'opinion publique²³, courant réactivé à chaque fois que se pose la question d'actes particulièrement odieux²⁴. La promotion du devoir de mémoire et le refus des victimes de voir "la justice laisser la place à l'histoire" sont des arguments de plus en plus avancés contre la nécessité de l'oubli et de la réconciliation nationale. La même problématique a été posée pour la prescription de l'action publique à l'occasion du fait divers précité dit des "disparues de l'Yonne".
- Enfin la *grâce* et la *réhabilitation* opèrent en aval de la condamnation. La *grâce* n'est pas liée à l'écoulement du temps. Apanage du seul président de la République, "fait du prince", ce droit fait pendant au "droit de punir" du souverain. Ce droit est aussi contesté surtout quand il s'agit de grâces collectives. Le caractère occulte des décisions prises nourrit aussi d'autres polémiques. La *réhabilitation* quant à elle, conduit au reclassement du condamné et efface la condamnation. Le droit arrime le temps. De nombreux dispositifs juridiques ont été conçus pour cadrer la norme et la justice dans le temps. C'est ce que Jean Chesnaux appelle les "appareillages de temporalité".

²³ Mireille Delmas-Marty, 'La responsabilité pénale en échec (prescription, amnistie, immunités)' in *Juridictions nationales et crimes internationaux*, dir. Antonio Cassese et Mireille Delmas-Marty, PUF, juin 2002.

²⁴ Signalons que les crimes contre l'humanité sont imprescriptibles.

Conclusion

Ces deux approches du temps, à savoir l'élaboration (comme en psychanalyse) de la règle commune (I), et les institutions juridiques sur le temps (II) sont complémentaires et ouvrent un **débat collectif** sur le rôle fondamental du droit dans l'organisation de la société. Les citoyens peuvent négocier un autre temps social et imposer leur désir de mémoire : il existe de nombreux exemples de ces tentatives actuellement si l'on analyse le débat sur la parentalité, sur la retraite etc. mais aussi sur l'amnistie, la prescription en matière pénale. Autre question : Le droit structure le temps social et fonde l'imaginaire collectif. Mais est-il le seul désormais à remplir cette fonction ? N'entre-t-il pas en concurrence avec d'autres normativités (techniques, éthiques, ...) fondées sur d'autres temps ? Le citoyen est-il convié à en parler et avec quel statut ?

Je vous proposerai alors de conclure sur les *philosophies du temps* en droit et notamment sur celle d'Husserl qui dans *Recht und Zeit* (1955) distingue les trois dimensions classiques du temps par rapport aux trois pouvoirs : l'exécutif s'inscrit dans le présent, le judiciaire dans le passé, le législatif dans le futur. Sommes-nous dans un temps fixe, celui du présent éternel de l'administration, devenue dominante actuellement, face à des instruments législatifs, transitoires, prospectifs, expérimentaux mais sans projet, et de nouvelles formes de justice alternatives, flexibles, voire numériques mais sans mémoire ?

L'ignorance de l'observateur

Entropie, théorie de l'information et temps statistique

Roger F. Cozien

Groupement de Gendarmerie Départementale de la Ville de Paris

12 rue de Béarn

75003 Paris

E-mail : roger_cozien@yahoo.fr

*Le temps efface tout, sauf le temps ;
Le temps arrange tout, sauf le passé.*

On ne peut changer le passé, on peut juste le dépasser.

Ne te plains pas du temps qui passe, cela te laisse encore moins de temps !

1 Introduction

Si l'on ne peut répondre facilement à la question de la nature du temps, il n'est pas non plus aisé de répondre quant à l'utilité du temps, ni à ses effets, sa couleur ou son goût. Pourtant nous n'arrêtons pas d'en discuter et d'y faire référence, tant entre scientifiques qu'entre hommes du monde. Le domaine des sciences physiques est un grand consommateur de temps. Il ne s'agit pas du temps passé à chercher, mais du concept « *temps* ». La physique use du temps dans un nombre important de ses formalismes, mais également dans sa réflexion de fond sur la nature des phénomènes qu'elle veut décrire. La physique comme les autres domaines de la pensée humaine, scientifique ou non, a buté sur cet obstacle colossal de la caractérisation du temps.

Dans un premier *temps*, la physique a contourné l'obstacle en rendant ce concept accessoire à d'autres plus faciles à décrire. Ainsi, en mécanique, peut-on entendre le physicien dire « que le temps est conçu pour faciliter le mouvement ». De fait le temps est devenu en mécanique classique une variable mathématiquement comme les autres. En fait, cette variable est celle qui est surtout utilisée pour la dérivation. Ainsi, le mouvement mécanique s'exprime-t-il par la consommation d'une quantité de temps.

La relativité restreinte d'Einstein a bouleversé, voire révolutionné, la vision des physiciens, et des scientifiques en général, sur la nature du *temps* et sur son imbrication avec les trois autres dimensions d'espace. Cette théorie a ouvert la porte à la quantification du temps et en particulier au concept de distribution du temps sur les autres dimensions. Einstein est allé loin dans son développement théorique puisqu'il énonce que tous les objets de l'univers se déplacent à la même vitesse, celle de la lumière. En fait, la vitesse dont il s'agit est composée

d'une vitesse spatiale (celle à laquelle nous sommes classiquement habitués) et d'une vitesse temporelle. Les développements sont riches ; nombreux et complexes.

Pourtant, aussi bien en mécanique classique qu'en mécanique relativiste nous acceptons tacitement que le temps s'écoule de la même façon dans l'univers et surtout, nous attribuons un sens à cet écoulement. Or, dans les formalismes «des» mécaniques rien ne donne le sens de cet écoulement et surtout, s'il est insensé d'imaginer que l'on puisse changer son sens, il faut donc chercher ailleurs les pistes permettant d'attribuer une «*flèche*» au temps.

Se sont la thermodynamique, et son développement le plus moderne : la théorie de l'information de Shannon, qui vont nous fournir des éléments de réflexion, voire de réponse. Je tiens à poser tous les précautions préalables nécessaires, tant l'entreprise est ardue et vaste. Pour l'heure, aucune théorie ne rend compte de la nature profonde du temps, et donc ne répond à la question de la flèche du temps.

2 Une petite histoire d'entropie

Il me semble que le concept même de «flèche du temps» est éminemment humain. En effet, nous ne savons pas dire ce qu'est le temps mais, en tant qu'êtres vivants nous en sentons les effets, et en tant qu'êtres doués de raison nous posons des questions sur la cause des effets observés. En particulier, lorsque vous observez un vase qui se casse, les lois de la mécanique n'interdisent pas d'envisager que par un mouvement inverse le vase se reconstitue. Or, nous n'observons jamais une telle réparation. Plus généralement, à toute *dégradation* nous n'observons jamais l'opération inverse spontanée : une réparation spontanée. De fait, nous associons fortement le concept de temps à celui de dégradation. La question se pose donc de savoir si observer un jour un vase qui se reconstituerait spontanément serait équivalent à remonter le temps ?

Ces questions ne se sont pas spontanément posées aux physiciens. De fait, la construction de leur réponse a paradoxalement été décorrélée de ces mêmes questions. Au 19^{ième} siècle les physiciens Clausius et Kelvin (entre autres) ont formalisé les échanges d'énergie opérant dans les machines à vapeur. Il apparut alors nécessaire de définir une nouvelle grandeur nommée *entropie*, notée S , et initialement définie comme : $\frac{Q}{T}$. Ainsi, au départ, il ne s'agissait pas de répondre à des questions sur la flèche du temps, mais bien plus de comprendre le fonctionnement des machines à vapeurs. Il n'a été question du temps que bien plus tard lorsqu'il a fallu réinterpréter la théorie.

2.1 Justification de l'approche statistique

Vauclair précise que dans le cadre des sciences physiques, ce qu'est un *système physique*, et ce qu'il faut entendre par un système physique *isolé* [12]. Un *système physique* est un ensemble de corps matériels que l'on souhaite étudier, et dont on veut **prévoir** l'évolution dans le temps et l'espace. L'abstraction nécessaire à l'étude des systèmes physiques pousse à limiter, par la pensée, ce système à l'intérieur d'une surface fermée. Donc, toute autre chose externe à cette surface est appelée le *milieu extérieur* du système. Ainsi, un système est dit isolé lorsqu'il ne peut rien changer avec l'extérieur, ni matière, ni énergie. L'auteur, précise

que si une telle définition est *pratique* dans les études formelles, son réalisme ordinaire est contestable. Historiquement, c'est la *mécanique* qui a été la première science physique. Dans le formalisme de la mécanique classique, tout élément d'un système est parfaitement connu grâce à la relation fondamentale de la dynamique :

$$m \times \vec{a} = \sum \vec{F} \quad (1)$$

où m est la masse, a l'accélération et F une force.

Ainsi, lorsque la position et la vitesse d'un système est connue à l'instant t_0 , la relation précédente nous permet-elle de les déduire à l'instant t :

$$(\vec{r}, \vec{v})_{t_0} \xrightarrow{\sum \vec{F}} (\vec{r}, \vec{v})_t \quad (2)$$

C'est ce que l'on appelle l'approche **déterministe**. Dans ces conditions, la connaissance de l'état du système permet, non seulement de prévoir l'avenir, mais aussi de reconstituer le passé. Les lois de la mécanique sont dites *symétriques par rapport au temps*, ou *réversibles*.

Jusqu'à la seconde moitié du dix-neuvième siècle, les physiciens n'étudiaient quasi-exclusivement que les phénomènes directement perceptibles par les sens humains, et que la mécanique classique pouvait expliciter. Même lorsque l'apparition d'appareils de plus en plus sophistiqués et sensibles a permis d'explorer des phénomènes comme l'électricité ou la lumière, il ne s'agissait que d'un transfert des sens humains vers ces machines qui étaient vues comme leur extension. De plus, jusqu'à cette époque, les physiciens qui commençaient à étudier les particules, dissociaient complètement leurs résultats de ceux de la physique des phénomènes sensibles ou assimilés.

L'idée maîtresse de la physique statistique est celle que L. Boltzmann développa en son temps, à savoir comprendre les propriétés **macroscopiques** des corps, à l'échelle courante, par la compréhension des propriétés de leurs constituants [6], tels les atomes, les molécules, les ions ... C'est donc, la réaffirmation et la confirmation de l'*hypothèse atomique* qui a permis le changement de point de vue. Au début, cette hypothèse n'était envisagée que comme un artifice méthodologique : *tout se passe comme si* de nombreux éléments, nommés atomes, ... Le vingtième siècle, grâce au perfectionnement des moyens d'investigation de la matière, a confirmé l'hypothèse qui est devenue la *théorie atomique*. La conséquence de cela, c'est que la physique des phénomènes macroscopiques semble condamnée à perdre son caractère fondamental. Car la théorie atomique définit l'état macroscopique comme une conséquence de la dynamique microscopique. Cependant, il faut être prudent, et modérer cette définition, puisque le thème le plus résistant de la physique moderne est la réunion de la théorie quantique et de la théorie de la relativité générale, cette dernière étant la théorie de la gravitation la plus aboutie dont nous disposons. De nombreux et brillants physiciens ont tenté, et tentent encore de *quantifier* la gravitation, mais sans succès probant. Et il semble que la théorie quantique devra également faire des concessions.

Fondamentalement et historiquement, c'est le nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$, qui le premier a dressé les contours de ce qui est microscopique de ce qui est macroscopique.

Ce nombre est extraordinairement grand, mais il offre l'avantage d'une nette séparation entre les ordres de grandeur des domaines, tant microscopiques, que macroscopiques. Après avoir déterminé les ordres de grandeur, un problème bien plus difficile apparaît, à savoir le passage du microscopique au macroscopique. C'est-à-dire, comment la dynamique des éléments constitutifs du système produit les qualités macroscopiques du même système. Or, la formalisation de ces lois macroscopiques, ne fait jamais intervenir les éléments constitutifs. Ainsi, Diu & al. dans [6] affirment que «le passage du microscopique au macroscopique se présente comme hautement non trivial».

Il existe plusieurs voies pour tenter de résoudre ce problème difficile et de grande actualité. Une des façons les plus abouties et les plus usitées tire partie du fait que l'on sait au moins que le passage du *micro* vers le *macro* met en jeu des nombres extrêmement grands. De plus, ces très grands nombres sont à mettre en opposition avec le nombre extrêmement restreint que la physique macroscopique utilise pour caractériser un système : volume, pression, température, indice de réfraction, ... Ainsi, le physicien caractériserait tout aussi bien 1mm^3 d'un gaz comme l'air par la position et l'état de chaque molécule de ce gaz dans une enceinte, soit environ 3×10^{16} positions, qu'en utilisant la pression, le volume, la température, ...

Ainsi, l'existence de ces grands nombres a-t-elle rapidement suggéré l'utilisation de méthodes probabilistes. Car de toute évidence, si 1mm^3 de gaz nécessite une telle quantité de nombres, les caractéristiques macroscopiques que nous mesurons ne peuvent-être que grossière. C'est à dire qu'il s'agit en fait de *moyennes* faites sur des grandeurs mesurant certaines propriétés d'un grand nombre d'objets. C'est à ces méthodes reliant le microscopique au macroscopique que s'intéresse la physique statistique. Diu & al. précisent qu'il ne faut pas être «déçu» qu'il faille se contenter de probabilités [6]. Il ne faut pas associer à cette approche une quelconque impression d'approximatif ou d'imcomplet. La loi des grands nombres permet d'obtenir aussi bien des descriptions exactes que des prédictions précises sur l'état et la dynamique macroscopique du système étudié. C'est certainement le point le plus fondamental de l'approche statistique : **probabilité n'implique en aucun cas imprécision**. Citons Léon Rosenfeld lorsqu'il dit «Probabilité ne veut pas dire hasard sans règle, mais juste l'inverse : ce qu'il y a de réglé dans le hasard. Une loi statistique est avant tout une loi, l'expression d'une régularité, un instrument de prévision».

2.2 Entropie, néguentropie et comportement probable

Pour être plus spécifique sur l'approche statistique, il faut comprendre le rôle central de la grandeur nommée *entropie*. L'histoire de l'entropie illustre un phénomène courant dans l'histoire de la physique : cette science, tout au long de son évolution, s'est souvent appuyée sur des formalismes, et autres développements théoriques, *a priori* très différents. Pourtant, au final, tout ces formalismes se sont trouvés intimement liés pour rendre compte des mêmes phénomènes observés [12]. Le concept d'entropie a été initialement introduit pour quantifier le deuxième principe de la thermodynamique. Et donc, afin de pouvoir mathématiquement manipuler le caractère irréversible de certaines transformations physiques. Cette grandeur a été ré-introduite dans la théorie de l'information de Shannon, à partir de constatations initiales différentes, et pour manipuler un concept différent de celui de l'irréversibilité. Cependant, la ressemblance mathématique entre l'entropie en thermodynamique statistique, dite aussi «microcanonique», et celle de la théorie de Shannon, est si frappante que les physiciens n'ont

pu s'empêcher d'envisager cette grandeur comme explicative dans de nombreux phénomènes différents, dans leurs effets comme dans leurs natures [10][12][3][?][4].

À l'origine, les deux physiciens Clausius et Kelvin, énoncèrent deux assertions issues de leurs observations, à savoir respectivement : «un processus spontané dont le seul résultat final est le transfert net de chaleur d'un corps de température donnée à un corps plus chaud est impossible» et «un processus spontané dont le seul résultat final est la transformation en travail d'une certaine quantité de chaleur prise d'une source de température uniforme est impossible». Autrement dit, il n'est pas possible de produire du travail sans flux de chaleur, et on ne peut pas concevoir un flux de chaleur sans différence de température. En 1850, Clausius démontra que le rapport $\frac{Q}{T}$ ne peut que croître ou rester constant. C'est ce rapport, désignant à l'époque une nouvelle grandeur, qu'il nomma *entropie*. Fondamentalement et littéralement, Clausius la définit comme une **mesure de la quantité d'énergie d'un système qui peut être convertie en travail**¹. Dès le départ, l'entropie apparaît aux physiciens comme une grandeur inédite et d'un nouveau type car, elle ne peut pas s'exprimer à partir des grandeurs physiques fondamentales : la longueur, la durée et la masse. Contrairement à la vulgarisation tardive qui a été faite de ce terme, nous voyons, que dans les premières heures de l'histoire de l'entropie il n'est pas question d'ordre et de désordre, mais de pures préoccupations thermodynamiques, en particulier celles des machines thermiques.

Boltzmann s'appuya sur l'idée que l'augmentation de l'entropie pouvait se concevoir comme une *dégradation* macroscopique de l'énergie. Il mit cette dégradation en relation avec l'état microscopique du système. Se faisant, sa démonstration n'avait comme validité que les systèmes, dont le meilleur exemple est un gaz parfait. Comme il était question de répartition d'un grand nombre de particules, il introduisit le terme de «désordre microscopique». À l'époque, cette vision fût très mal accueillie ! Surtout parce que l'on ne pouvait envisager que l'énergie puisse se *dégrader*. Or, pour Clausius et Boltzmann, une énergie n'est pas universellement dégradée, par contre elle n'est pas utilisable, «récupérable» pour la transformer en travail, (sous entendu travail utile, au contraire de la chaleur), en l'état du système. C'est pour expliquer ce concept que Boltzmann parla de «désordre microscopique». Étonnamment, la mémoire scientifique collective n'en a retenue que la composante **désordre**, en oblitérant le contexte historique et intellectuel.

Ainsi, fondamentalement et macroscopiquement parlant, l'entropie est-elle la mesure, à un moment donné, de la part de l'énergie d'un système que l'on peut transformer en travail. Ce n'est qu'en adoptant une approche microscopique que Boltzmann y relia le nombre Ω de complexions microscopiques qui produisent le même état macroscopique. Il définit alors S l'entropie statistique d'un système tel que :

$$S = k_B \ln \Omega \quad (3)$$

où $k_B = 1,38 \times 10^{-23} J.K^{-1}$ est la constante de Boltzmann. Dans l'approche microscopique le concept de dégradation de l'énergie devient plus clair. En effet, le rapport entre états possibles et états accessibles à un moment donné, illustre qu'un système ne peut instantanément passer de n'importe quel état à n'importe quel autre. Lorsque le nombre d'états accessibles tend vers le nombre d'états possibles, l'énergie se dégrade et ce faisant, le système tend vers son état d'équilibre. Ainsi, *a contrario*, lorsque le nombre d'états accessibles est petit devant

¹Plus l'entropie est élevée, moins l'énergie est «récupérable» sous forme de travail.

le nombre d'états possibles, l'énergie est dans une forme utilisable. Nous pourrions dire métaphoriquement, que le système est *encore plein de toutes ses possibilités*. Lorsque rien ne vient contrarier l'évolution naturelle, le système tend vers son état de plus forte entropie, et également le plus probable. Par contre, une intervention extérieure pourrait vouloir exploiter ces *possibilités*.

Depuis les travaux de Boltzmann la définition de l'entropie statistique a évolué, gr,ce en particulier aux apports de la théorie de Shannon qui est une théorie statistique de la communication. Dans cette théorie, l'information **apportée par un événement** l de probabilité P_l , est de la forme :

$$I_l = -k \ln P_l \quad (4)$$

où k est une constante. Si par contre l'événement l n'est pas encore survenu, et qu'il n'est donc que potentiel, alors l'information que sa survenue apportera *potentiellement* est de la forme :

$$I_l = -kP_l \ln P_l \quad (5)$$

Lorsque l'on parle d'entropie physique, et que l'on considère une *collection* d'états accessibles, cela implique que le positionnement du système sur un de ces états est comme la survenue d'un événement. Celui-ci nous apporte d'autant plus d'information qu'il était peu probable, et que donc l'entropie statistique est élevée. En effet, dans l'entropie de Boltzmann, toutes les possibilités de réalisation de toutes les complexions sont considérées comme équiprobables, ainsi, plus le nombre de complexions augmente, moins la réalisation d'une parmi toutes les autres apporte de l'information.

Brillouin reprend une remarque de P.G. Tait sur le fait que la sémantique associée à l'entropie statistique ne rend pas assez compte du principe de Kelvin sur la *dégradation de l'énergie*. Ainsi, Brillouin pose $N = -S$ et réaffirme l'importance du concept de «néguentropie». Cette grandeur représente, d'une part, l'aptitude sur système à fournir une énergie noble, tel le travail, et d'autre part, une entité dont la déperdition est appelée *dissipation*. Un système isolé possède donc une *néguentropie* s'il est capable de fournir un travail. En règle générale, ceci est possible lorsque le système est composé de parties, distinguables les unes des autres parce qu'il existe une grandeur dont les valeurs dans les différentes parties sont différentes. C'est le cas par exemple de la chaleur qui, lorsqu'elle a des valeurs différentes dans des parties différentes d'un système, permet la transformation de ces différences en travail mécanique. Une autre particularité importante de la néguentropie, est sa faculté à être dégradée par n'importe quel processus irréversible. Cette quantité de néguentropie est alors dite «dissipée».

Si l'on se place de nouveau dans le contexte de la théorie de Shannon, alors, nous pouvons considérer tous les événements l possibles dans le système étudié. Dans le cadre de cette théorie on peut définir une quantité S représentant toute l'information que pourrait potentiellement apporter le système à l'extérieur, si l'on était capable de distinguer la survenue de chaque événement. Alors, S serait de la forme :

$$S = -k \sum_l P_l \ln P_l \quad (6)$$

Or, il est impossible de distinguer *a priori* les événements entre eux. Ainsi, S représente bien plus le «manque d'information actuel sur le système» [12], et possède toutes les propriétés

de l'entropie statistique. Si l'on pose $k = k_B$ dans l'équation 6, et si tous les événements l sont équiprobables, alors nous retrouvons l'entropie statistique de Boltzmann. Cette dernière devenant alors un cas particulier de la forme plus générale de Shannon. Il faut donc considérer que l'entropie est une mesure de la quantité d'information que l'observation du système est capable de nous apporter. Ainsi, nous pouvons dire, que l'entropie mesure notre ignorance relativement à l'état du système. Cette approche place l'observateur au premier plan. Il s'agit bien sûr, d'un observateur *générique* qui symbolise la réalisation de la mesure. Or, la pratique de la physique statistique montre qu'il est possible dans certains cas de réaliser expérimentalement de telles mesures et d'en faire une lecture directe, et que dans d'autres cas, seules des expériences «par la pensée», et donc un exercice intellectuel et heuristique, permet d'évaluer S . Ainsi, l'utilisation et la généralisation du concept d'entropie, montre que la frontière entre une pratique expérimentale et une approche purement formelle d'un même domaine scientifique, n'est pas si clairement établie.

2.3 Ergodicité et irréversibilité

Nous avons justifié l'approche statistique par les ordres de grandeur mis en jeu. Le meilleur exemple en est le nombre d'Avogadro. En résumé, nous avons substitué une mesure précise sur chacun des très nombreux constituants du système, par une mesure moyenne dans le temps et sur un petit nombre de constituants du système. Agir ainsi est la conséquence d'une hypothèse forte, dite *hypothèse ergodique*. La physique statistique dans son ensemble repose sur l'approbation de cette hypothèse : «la moyenne dans le temps d'une variable caractéristique d'un système peut être assimilée à la moyenne instantanée prise sur tous les états possibles du système, pondérée par la probabilité que le système se trouve effectivement dans chacun de ces états [12]. En tout état de cause, la réalisation d'une moyenne instantanée, tel qu'énoncé dans le second membre de l'hypothèse, se révèle très nettement plus difficile à réaliser, qu'une mesure moyenne dans le temps et sur une seule variable caractéristique.

Les systèmes où une telle substitution est possible, sont naturellement nommés *systèmes ergodiques*. Montrer qu'un système est ergodique n'est pas une chose simple. Nous savons que d'autres propriétés, comme la propriété dite de *mélange*, implique l'ergodicité. Malheureusement, la démonstration n'est pas non plus aisée. La propriété d'ergodicité étant cependant formellement nécessaire à l'approche statistique, il est possible de constituer un *faisceau de présomptions* sur sa validité. Ce qui est intéressant, c'est que ces présomptions sont de nature qualitative. En effet, nous aurons tendance à présumer qu'un système est ergodique, lorsque ses éléments constitutifs sont en interaction : l'action d'un élément α à l'instant t produira un événement l , qui amènera un élément β à produire un événement m , à l'instant $t + \delta t$, qui sans l n'aurait pas été produit, ou au moins, pas à l'instant $t + \delta t$. Nous sommes là dans une perspective exclusivement microscopique, puisque les éléments du système vont jouer tout à tour les rôles d'émetteur et de récepteur d'événements, au sens de la théorie de Shannon. Un événement produit par α apportera une certaine quantité d'information à β , dans une proportion exclusivement relative à la connaissance qu'à β du système, et des événements que α pourrait produire. Le terme de «connaissance» est cependant trop connoté, et ne convient en fait qu'aux systèmes où les éléments peuvent «avoir de la connaissance». Dans le cas de particules, il faut leurs substituer l'«état» dans lequel se trouve β au moment où il observe, ou subit, l . Notons, que le modèle de «gaz parfait», où il n'y a pas interactions entre les éléments, n'est pas un système ergodique. Cependant, le phénomène d'interaction est si important et

profond, qu'il rend le système ergodique.

Indubitablement, c'est un processus de communication que nous avons décrit entre α et β . Ce qui nous indiquerait que la formalisme de la théorie de Shannon s'applique totalement. Une autre critère qualitatif présumant de l'ergodicité d'un système, réside dans l'existence d'un état hors de l'équilibre et d'un état d'équilibre. De plus, on doit observer une tendance naturelle du système à tendre vers l'état d'équilibre, qui est d'un point de vue statistique, l'état le plus probable, ou état de plus forte entropie *statistique*. C'est typiquement ce qui se passe systématiquement dans les phénomènes critiques auto-organisés.

D'autres auteurs illustrent l'ergodicité en utilisant un autre point de vue, mais qui reste tout aussi qualitatif : un système est ergodique s'il peut passer de n'importe lequel de ses états à n'importe quel autre, de façon continue. C'est-à-dire, que quel que soient deux états, parmi tous les états accessibles au système, il existe toujours un chemin, fait d'une suite d'autres états accessibles, reliant l'état de départ et l'état d'arrivée. Il s'agit en fait d'une formulation plus imagée de la propriété de mélange. Cette propriété énonce qu'avec le temps, le système tend à parcourir la totalité de son espace des phases. Cette propriété est également une autre façon de dire qu'un système doté de cette propriété tendra toujours vers l'état d'équilibre lorsqu'il en est éloigné. En général, on considère que le parcours de ce chemin se fait en suivant un processus markovien. C'est-à-dire que la raison pour laquelle le système passe de l'état l à l'état m , est entièrement contenue dans l . Dans un processus markovien, le système perd la mémoire de son histoire au fur et à mesure qu'il change d'état.

Plus qu'un processus markovien, nous pourrions parler d'un approximation de type markovien. Car, hormis les cas simples, rien ne permet de montrer qu'un système perd la mémoire de son histoire. Assimiler un processus d'évolution à une évolution markovienne est une facilité, tant intellectuelle que formelle. Il ne faut d'ailleurs pas confondre processus markovien et ergodicité. En effet, par définition, un processus markovien est irréversible. Or, un processus peut parfaitement être ergodique et parfaitement réversible. Pourtant, la question de la réversibilité est souvent posée avec celle de l'ergodicité. Parce qu'en générale, la propriété de mélange, qui est certainement la propriété qui nous renseigne le plus sur les qualités d'un système, est synonyme d'irréversibilité.

La question de l'irréversibilité du processus d'évolution d'un système est une question «hautement non-triviale», et sa réponse implique des restrictions importantes sur la connaissance que l'on peut espérer obtenir sur le système. Vauclair cite dans [12] (pp. 197-200), deux exemples où la propriété de mélange est vérifiée : le «sirop de fraise dans le verre de lait», et la «transformation du boulanger». L'auteur indique que les deux transformations sont physiquement irréversibles. Pourtant la deuxième ne l'est pas formellement. Car, contrairement à la première, dans la «transformation du boulanger», il n'y a pas de phénomène de *diffusion*. L'auteur indique clairement que l'irréversibilité de la «transformation du boulanger» vient de l'impossibilité *physique* de connaître l'état instantané du système avec une précision infinie. L'erreur, aussi petite soit-elle, que l'on commettra sur l'état instantané, provoquera une divergence sensible avec la trajectoire réelle, si l'on tente de remonter l'histoire du système.

Lorsqu'il y a diffusion, l'irréversibilité est plus profonde. Dans le cadre précis de l'informatique et du calcul sur un ordinateur, nous savons que C.H. Bennett a montré que tout

calcul est formellement réversible [8][1]. Cette démonstration illustre parfaitement la séparation entre l'approche mathématique et l'approche physique de l'irréversibilité. Si l'on montre que tout calcul est réversible, c'est sans tenir compte des moyens informatiques colossaux qu'il faudra déployer pour assurer cette totale réversibilité, et sans compter l'énergie considérable que cette opération mobilisera. Indiscutablement, l'irréversibilité physique a un coût qu'il faut payer immédiatement en énergie dissipée. Lorsque l'on ne peut pas s'offrir cette dépense, il faut accepter de ne pas avoir une connaissance parfaite de l'état instantané du système².

Au delà de ces restrictions, certes sévères, il faut se féliciter d'une grande cohérence sémantique entre les différents concepts manipulés par la physique statistique. De plus, tous ces concepts portent en eux une autre différence essentielle entre l'approche mathématique et l'approche physique : l'**observateur**. En physique, le courant des «positivistes», contrairement aux «réalistes» affirme qu'il n'y a pas de réalité physique qui ne soit pas celle de l'observateur. L'entropie est soit une mesure de l'information que peut obtenir un observateur via une mesure, sur l'état instantané du système, soit, quand cela a un sens, une mesure de la quantité d'énergie transformable en travail. L'irréversibilité physique, elle, est entièrement contenue dans le prix que l'observateur veut bien ou peut payer pour augmenter sa connaissance **historique** du système. À ce sujet, B. d'Espagnat dans [5], (pp.618-619), dit qu'en tant que «réaliste», il ne peut se satisfaire de la définition actuelle du concept d'objet macroscopique. Cependant, il dit aussi, que «les tentatives de définition les plus sérieuses font référence à l'irréversibilité, mais celle-ci n'est elle-même comprise qu'à partir de considérations de mécanique statistique qui renvoient aux limites des capacités d'observation des êtres humains...».

Enfin, l'hypothèse ergodique a une place particulière, puisqu'elle fait le lien entre le côté *instantané* de l'entropie, et le côté *historique* de l'irréversibilité. Mieux, elle permet de substituer l'un à l'autre, facilitant grandement le travail de l'observateur expérimentateur. En effet, expérimentalement, il est toujours préférable de manipuler une seule variable explicative et ses moyennes temporelles.

3 Qui a tiré la flèche du temps ?

Revenons donc à notre question première : pourquoi parle-t-on de *flèche* du temps ? Sous-entendu, pourquoi donne-t-on une orientation au temps ? Il existe nécessairement une question corollaire : si le temps a une orientation, pourquoi pouvons-nous aller que dans un seul sens ? Pour répondre à notre première question, et aux autres, nous avons introduit et explicité le concept fondamental de l'entropie, en particulier l'entropie statistique de Boltzmann. De plus, nous avons expliqué qu'une interprétation moderne de la théorie thermodynamique de Boltzmann réside dans la théorie de l'information de Shannon, où l'entropie informationnelle renforce le rôle central de l'entropie thermodynamique, mais également, celui de l'observateur.

Il est donc devenu essentiel de définir qui est cet observateur, et qu'elles sont ses propriétés. Les physiciens ont depuis les travaux de Brillouin [2] répondu à cette question difficile.

²Cette corrélation entre l'énergie dépensée et le niveau de connaissance que l'on peut avoir du système est également visible dans la course aux hautes énergies en physique des particules. Où, si le problème n'est pas de vaincre l'irréversibilité physique, il faut différentiellement dépenser de plus en plus d'énergie pour accéder à des niveaux de précision de plus en plus élevés sur la matière, et ainsi se rapprocher des limites fixées par les inégalités d'Heisenberg [7] (pp. 80-81).

Retenons ici que l'on peut qualifier d'observateur tout processus réalisant une « *mesure* » [4]. Il ne s'agit pas exclusivement d'êtres intelligents, ou même vivants. Ce concept de mesure est intimement lié à celui d'entropie et d'information. En effet, il désigne les flux croisés d'entropie et d'information (de néguentropie dans le vocable de Brillouin) qui se créent dès qu'un système n'est plus isolé, autrement dit, dès qu'un système échange de la matière ou de l'énergie avec un autre système, qui peut être son environnement.

S'il fallait résumer le pensée de Brillouin, nous pouvons dire que l'unique façon (dans notre physique) d'obtenir de l'information sur toute chose, est de réaliser une mesure. Autrement dit, il faut pour l'observateur accoupler à l'objet étudié un « *instrument de mesure* ». Dans tous les cas, l'instrument de mesure voit son entropie augmenter, pendant que l'observateur reçoit le flux d'information (néguentropie). Brillouin démontra que le gain d'entropie de l'instrument de mesure est supérieur au gain d'information de l'observateur. C'est ainsi que Brillouin rédigea son « principe de Carnot généralisé », et il le formalisa de la façon suivante :

$$\Delta(S - I) \gg \gg 0 \tag{7}$$

Il est essentiel de comprendre que lorsque l'on dit que l'entropie de l'instrument de mesure augmente, c'est d'une part relatif à l'observateur considéré, et que d'autre part que c'est l'ignorance de l'observateur sur l'état microscopique de l'instrument qui augmente. Ceci lie intimement entropie statistique et entropie informationnelle de Shannon : l'entropie est équivalente à de l'ignorance, celle de l'observateur et à la quantité d'énergie qu'il devra dégrader pour lever tout ou partie de cette ignorance. De par ce principe fondamental, Brillouin introduit un *sens* à un processus naturel, il indique que ce sens est unique. Un autre physicien, Szilard a repris ces éléments pour les appliquer aux « êtres intelligents » [11]. Il indique que la particularité des êtres intelligents, et généralement des êtres vivants (à quelques nuances près), est qu'ils sont leur propre instrument de mesure du fait même qu'ils sont capables de raisonner. Le fait que les êtres vivants et intelligents ne sont jamais isolés, mais perpétuellement couplés à un environnement ou d'autres êtres vivants, implique de fait des flux d'entropie. De plus, dans ce cas la captation d'information sur l'environnement et les inférences « intellectuelles » qui y sont associées sont similaires à une succession de mesures. Ainsi, si l'esprit qui habite chaque être intelligent voit sa néguentropie augmenter, tout ce qui se trouve entre cet « esprit » et l'objet de la mesure, voit son entropie augmenter. Ce processus est irréversible et inexorable. C'est là que se trouvent les « *effets du temps* » que nous ressentons tous.

Mais cette réponse limitée aux être intelligents n'est pas entièrement satisfaisante, car sinon cela signifierait que le temps n'a de sens et d'emprise que pour les seuls êtres intelligents, voire vivants. Ceci dit, la question de l'existence du temps si aucune intelligence n'existait dans l'univers n'est pas si absurde. De nombreux physiciens et philosophes se la sont posée. Érudons volontairement cette question de par trop métaphysique, et supposons que le temps fait son œuvre même si aucune intelligence n'est là pour le remarquer. N'oublions pas aussi que dans l'approche de Brillouin, l'observateur n'est pas exclusivement intelligent, et de fait les mesures qu'il peut entreprendre sont indépendantes de la nature même de l'observateur. Le point important à retenir est la nécessité de couplage entre systèmes et l'installation de flux thermodynamiques.

D'un point de vue plus général, les physiciens considèrent que l'entropie générale de notre univers ne fait qu'augmenter. Qu'est ce que cela veut dire dans le contexte des idées de Boltzmann, de Shannon et de Brillouin ? Dans un premier temps cela signifie simplement que l'énergie de l'Univers existe sous plusieurs formes que l'on peut classer de la moins à la plus dégradée. L'augmentation de l'entropie de l'Univers signifie tout simplement qu'il dégrade en permanence de l'énergie des formes les moins dégradées vers la ou les formes les plus dégradées. Une forme d'énergie dégradée a cette particularité qu'elle ne peut être source de travail lors d'un nouveau processus de dégradation. Car il faut bien comprendre que dégrader de l'énergie signifie principalement produire du travail. Dans ma thèse [4] j'ai démontré que, dans le cas particulier du calcul, et plus généralement dans le cas des systèmes logiques, réaliser un calcul est équivalent à la production de travail. Processus lui-même générateur d'une certaine quantité de néguentropie pour l'observateur du résultat, et nécessairement producteur d'une quantité d'entropie plus importante. Ce qui a comme conséquence de consacrer le calcul et les processus logiques comme des processus thermodynamiques. J'ai également démontré que, comme tout processus thermodynamique, un calcul doit nécessairement dégrader de l'énergie. Reprenant les conclusions de Brillouin, Szilard, Landauer [9], Matherat et Jaekel [8], j'ai démontré que la première forme d'énergie *logique* est le temps. Autrement dit, un calcul instantané est impossible.

La question se pose indubitablement quant à la généralisation de ces résultats à l'Univers matériel (par opposition aux processus logiques). La réponse n'est pas simple. Dans le cadre de cet article imaginons que tel est le cas. Certains physiciens ne sont d'ailleurs pas loin de cette conception, et que l'organisation de l'Univers est similaire à un calcul permanent. De la même façon, Hawking et Penrose ont largement introduit une thermodynamique cosmique, et particulier celle des trous noirs. Phénomènes qui sont actuellement plus des singularités de la relativité générale que des objets réellement observés [?]. La conséquence immédiate de ce postulat c'est que l'Univers doit nécessairement dégrader de l'énergie pour assurer sa production d'organisation. La généralisation des résultats sur les processus logiques amène directement à également considérer le temps comme une forme d'énergie élevée, voire la plus élevée, c'est à dire la moins dégradée.

De fait, ce que nous désignons comme la flèche du temps serait l'inexorable dégradation du temps par l'Univers pour produire du travail afin d'assurer sa cohésion structurelle et organisationnelle, mais également produire de l'entropie. Pourquoi alors parler de flèche, et donner un sens unique à cette dégradation ? La thermodynamique nous dit que la dégradation d'énergie est irréversible, et elle le formalise dans son deuxième principe, qui lui-même sert de base au «principe de Carnot généralisé» de Brillouin. Cependant, comment pouvons-nous nous représenter ces principes dans le cas où nous accordons au temps le statut d'énergie ? La loi de progression de l'entropie statistique est de la même forme que celle de l'entropie informationnelle, c'est à dire une loi logarithmique. À chaque instant, et pour chaque quantité de temps dégradée, aussi petit soit-elle, le système (ici l'Univers tout entier) à le choix entre une multitude d'états parmi l'ensemble de tous les états accessibles. On peut démontrer que dans le cas des processus logiques ce nombre d'états croît exponentiellement [4]. C'est pour cette raison fondamentale que la dégradation d'une énergie est un processus irréversible. En effet, renverser le processus, dans notre cas, remonter le temps reviendrait à lever l'indétermination à rebours sur l'ensemble des chemins possibles constitués par l'ensemble des enchaînements d'états accessibles au système (à un moment donné), et ceci pour toute l'histoire du système.

Une telle entreprise n'est pas impossible, mais elle va demander une quantité d'énergie, de temps en premier lieu, nettement plus grande que toute l'information qu'elle pourrait nous apporter. Ainsi, observer, même localement, une remontée du temps spontanée, n'est pas physiquement impossible, mais hautement improbable. Si improbable qu'il faudrait vraisemblablement attendre un temps plus long que l'âge de l'univers pour espérer l'observer.

Nous pouvons tenter d'expliquer cette façon de voir les choses en faisant un lien entre la théorie de l'information et notre hypothèse quant à considérer le temps comme une forme d'énergie peu dégradée. Dans la théorie de Shannon, l'entropie est la conséquence directe de l'ignorance de l'observateur (et par généralisation de tout processus réalisant une mesure). En effet, la seule façon de réduire son ignorance sur l'état du système étudié est de faire une mesure et se faisant, de produire de l'entropie. Ainsi, la dégradation de l'énergie du genre temps (celle qui donne le sens de la flèche) produit de l'entropie, soit de l'ignorance. Comme nous sommes dans une réflexion temporelle, cette ignorance signifie une «perte de mémoire» sur l'histoire du système, soit tous les états par lesquels il est passé. Lever notre ignorance de façon arbitrairement exhaustive demanderait, selon le principe de Carnot généralisé (appelé également principe de néguentropie de l'information) demanderait plus d'énergie que toute celle présente dans l'Univers lui-même, et aussi plus de temps que l'âge de l'Univers. L'assertion 7 de ma thèse [4] pose : *«pour connaître avec précision l'état d'une structure logique, il faudra en temps proportionnellement long comme l'exponentiel de son entropie»*. Cette assertion n'a pas comme restriction le sens dans lequel on parcourt le temps. Elle est donc vraie dans le sens normal de la flèche comme dans le sens inverse.

Si comme nous l'avons fait jusqu'à présent on généralise le contexte logique au contexte matériel, il faudrait pour lever l'indétermination sur l'histoire de l'univers, et donc remonter le temps, un temps long comme l'exponentiel de son entropie au moment où l'on commence la remontée. Ainsi, plus le *temps* passe, plus le nombre d'états accessibles (ce qu'Einstein nommait les complexions) augmente, et plus il faudra de l'énergie pour commencer notre voyage retour. Ainsi, s'il fallait répondre allégoriquement à la question ; qui a tiré la flèche du temps, nous dirions que chaque personne qui contemple l'Univers y participe un peu.

4 Conclusion

Cette conception du temps qui le dote d'un nouveau statut, plein de sens et de conséquences en physique, peut sembler choquant. Cependant, nous arrivons à ce résultat par l'interprétation, ou la réinterprétation, et la mise en corrélation de plusieurs visions de physiciens. Le point de départ est certainement la révolution sémantique introduite par Boltzmann : l'abandon de l'approche exclusivement déterministe, et qui de fait permettait la réversibilité du temps dans les lois de la mécanique.

La thermodynamique a un indéniable côté comptable et procédurier. Toute chose, toute action implique une dépense, et dans certains cas un gain. Autrement dit, rien n'est gratuit. Les physiciens modernes commencent à généraliser l'approche thermodynamique à l'Univers dans sa globalité, ou à des domaines loin des machines à vapeur, tel l'informatique et le calcul.

Dans cette vision, la théorie de Shannon a une place particulière, parce que pour la pre-

mière fois elle place au centre de sa conception un observateur. Brillouin alla encore plus loin puisqu'il renforce le rôle de cet observateur en consacrant le processus de mesure comme unificateur entre cet observateur et l'Univers qui l'entoure. De même il indique que c'est la mesure qui est à l'origine des flux thermodynamiques initiaux.

En conséquence de toutes ces considérations le temps apparaît comme la «matière première» indispensable à l'établissement de ces flux. Par analogie et en généralisant les travaux sur les processus logiques, le temps acquiert le statut d'énergie. Pas n'importe quelle énergie, puisqu'il s'agit d'une forme très peu dégradée. Il n'existe peut être même pas d'énergie moins dégradée. L'Univers consomme ce temps et se faisant perd la mémoire de son histoire, ce qui obligerait tout observateur à dépenser une somme d'énergie colossale pour en retrouver la trace. Le temps a donc un sens, non pas absolue, mais probable. L'observation d'une remontée spontanée de ce sens est hautement improbable, la provoquer demanderait une quantité d'énergie dépassant toute celle contenue dans l'Univers. Il existe peut-être d'autre façon de remonter le temps, elles devront alors proposer une alternative au second principe, et au principe de néguentropie de l'information, tel qu'énoncé par Brillouin. Á une échelle infime, nous sommes tous responsables, et source de l'irréversibilité du temps.

Références

- [1] C.H. Bennett. Logical reversibility of computation. *IBM J. Res. Develop.*, pages pp. 525–532, 1973.
- [2] L. Brillouin. *La science et la théorie de l'information*. Masson & Cie, Paris, 1958.
- [3] G. Cohen-Tannoudji. *Les constantes universelles*. Collection Questions de sciences. Hachette, 1995.
- [4] R. Cozien. *Premiers éléments de la théorie du calcul singulier*. PhD thesis, Université de Champagne Ardenne, Reims, octobre 2002.
- [5] B. d'Espagnat. *Physique et réalité*. Arts et sciences. Diderot edition, 1998.
- [6] B. Diu, C. Guthmann, D. Lederer, and B. Roulet. *Physique statistique*. Collection enseignement des sciences. Hermann, 1989.
- [7] S.W. Hawking. *Une brève histoire du temps - Du big bang aux trous noirs*. Flammarion, 1989.
- [8] M.T. Jaekel and P. Matherat. Dissipation logique des implémentations d'automates - dissipation du calcul. *Technique et science informatiques*, 15(n° 8/1996) :pp. 1079–1104, 1996.
- [9] R. Landauer. Irreversibility and heat generation in the computing process. *IBM journal*, pages pp. 183–191, juillet 1961.
- [10] Elliott H. Lieb and Jakob Yngvason. A fresh look at entropy and the second law of thermodynamics. *Physics Today*, pages 32–37, avril 2000.
- [11] L. Szilard. On the decrease of entropy in a thermodynamic system by the intervention of intelligent beings. *Behavioral Science*, (Vol. 9) :pp. 301 – 310, 1964.
- [12] S. Vaclair. *Éléments de physique statistique*. InterEditions, 1993.

Random time in Agent-Based Market Models

Gilles Daniel

Computer Science Department

University of Manchester, UK

`gilles@cs.man.ac.uk`

Abstract

Agent-based models of financial markets traditionally adopt a discrete-time approach to represent the interactions between agents, mainly because financial time series commonly used by Economists and practitioners are available on a daily basis only. Nevertheless, one cannot discard the intraday activity, more difficult to observe but probably of importance to explain the global dynamics of the markets: new information arrives, traders update their beliefs, and prices move constantly. To address this issue, Boitout and Delahaut recently built upon an existing popular model and introduced the notion of random duration between asynchronous events. Their elegant approach, mixing discrete and continuous time, gives them a definite advantage when modeling clustered volatility in periods of intense intraday activity *and* allows them to compare their artificial time series with real ones.

Keywords: Agent-Based Market Models, discrete-time, continuous-time, discrete-events, volatility clustering, long range dependence of volatility

1 Introduction

In the last few years, Econophysicists have been trying to understand the dynamics underlying the price fluctuations of financial assets (mainly stocks, currencies and interest rates) by considering markets as complex adaptive systems made of interactive agents with bounded rationality [AAP88, BG94, ADL97, Wei99, MS99]. The aim of these so-called Agent-Based Market Models (ABMMs) is to propose a microscopic structure for the traders — how they form expectations, take decisions, learn, communicate, etc. — that could replicate, through extensive simulation, the

macroscopic stylized facts emerging from their interactions and universally exhibited by real financial time series [Con01]. Such a model would then be considered as a plausible candidate to explain the inner dynamics of real financial markets.

A striking phenomenon prevalent in the ABMMs literature is the drastic simplification made about time. Whereas time is a crucial parameter appearing both at the microscopic and macroscopic level (in the modeling of agents but also in the statistical properties of the emerging time series), it is the rule rather than the exception to consider discrete-time models in which the time increment between two states of the system is arbitrarily set to one trading day [PAH⁺94, CZ97, Art99, JHHJ00, GB03]. The obvious reason is to be found in the importance and popularity of daily data in financial markets, most stylized facts being observed and documented at this frequency or at its multiples (weeks, months, etc.). Nevertheless, choosing this particular value for the evolution of the agents themselves might represent a limitation of the models, since in reality the traders' beliefs, together with their strategies, wealth, etc., might evolve between two consecutive observations, as a result of their intraday activity.

To address this issue, Boitout and Delahaut [BD03] have recently proposed to mix continuous-time and discrete-time: as an improvement to a popular existing ABMM (Lux model, [Lux98, LM99, LM00]), they allow the trading time between two events to evolve randomly, but record the observable market variables (price, volume, etc.) at discrete calendar intervals only — typically at the end of each day. Thus, they can model the intraday activity of the market *and* compare their artificial time series with empirical ones. We investigate in this paper the supposed advantages introduced by this mixed approach, proposed for the first time in the context of ABMMs.

2 Daily stylized facts of financial time series

Strangely enough, financial time series exhibit some statistical properties universally shared by individual shares, stock indexes, foreign exchange rates, etc. [Pag96]. Needless to say, once discovered, those common signatures were under huge scrutiny by Economists and Investment Bankers, the latter seeing a good opportunity to make money by predicting the unpredictable: indeed, a prevailing theory since the 60's, the Efficient Market Hypothesis [F⁺69], states that the price of financial assets immediately reflects all the information available, preventing anybody from constantly beating the market since the arrival of information is by definition unpredictable it-

self. As a matter of fact, price changes of usual assets are reported to exhibit very little autocorrelation over horizons longer than 20 minutes, and the hypothesis that the price would follow a random walk (presence of a unit root) can never be rejected. This was quite disappointing for practitioners, since it invalidated Technical Analysis (in absence of correlation between price changes, the use of historical data is useless to predict tomorrow's move) and simply asserted that the only way to raise ones expectations in the long term was to successfully forecast the arrival of new information. Nevertheless, other stylized facts are more promising; in particular, some long range dependence in the volatility, computed as the square or absolute value of the price returns, has been observed, together with a tendency for moments of high volatility to cluster in time. In other words, if the prediction of direct price returns appears to be a myth, investigating their absolute value might be worthwhile.

Those stylized facts are consistently studied on a daily, weekly, monthly or yearly basis, for the simple reason that data are usually available at these frequencies only. One just needs to open the central pages of the Financial Times to realise that information about intraday variables is almost nonexistent. Nevertheless, this should not prevent Econophysicists from modeling the behaviour and interactions of agents at higher frequencies, since in reality traders might update their beliefs or change strategy many times a day, new information arrives constantly and prices vary every minute or so. The model proposed by Lux was among the first to adopt this approach.

3 Discrete-time intraday activity

Our aim is not to explain extensively the Lux model, but to outline the differences between this model and its continuous-time version proposed by Boitout. As a consequence, we will expose only its main characteristics and direct the reader to [Lux98, LM99, LM00] for more details.

In this models, n traders are initially randomly divided into three categories: fundamentalists (n_f), who constantly expect a mean reversion of the price p toward its fundamental value p_f , optimistic chartists (n_+) — buyers influenced by the opinion of other traders and by the short term trend of the market, and pessimistic chartists (n_-) — chartists sellers. The key idea is that the main stylized facts would be generated by the intraday switch of traders between these three categories. In this context, an event is defined as one of the following:

1. a pessimistic trader becomes optimistic

2. an optimistic trader becomes pessimistic
3. a fundamentalist trader becomes optimistic
4. an optimistic trader becomes fundamentalist
5. a fundamentalist trader becomes pessimistic
6. a pessimistic trader becomes fundamentalist
7. the price moves up
8. the price moves down
9. the fundamental value moves up
10. the fundamental value moves down

Each of these ten events is associated with a time-varying hazard rate β_j , $1 \leq j \leq 10$, which depends on the current state of the market (i.e. the value of the market variables $n_+(t)$, $n_-(t)$, $p(t)$ and $p_f(t)$) and the recent price trend over a short time horizon. The time line is linearly divided into unit time steps t , representing trading days and used to record the market variables periodically. Finally, in order to account for the intraday activity of traders, each unit time step is divided again into 100 micro-intervals Δt , during which events occur asynchronously (one event only per micro-interval). The probability for an event j to occur during Δt equals $\beta_j \Delta t$, but only the quickest is executed.

The problem with this discrete-time approach of the intraday events is that in case of volatility burst, i.e. when the price varies brutally for a while, the maximum price change per day is artificially restricted by the number of micro-intervals. This limitation comes from the fixed number of events per day, and can be overcome only by momentarily augmenting this number, i.e. reducing the length of the micro-intervals. Hence, Lux reports that the time increment had to be manually reduced from $\Delta t = 0.01$ to $\Delta t = 0.002$ during periods of high volatility.

To avoid this rather *ad hoc* disruption in the simulation, and to account for extremely frequent events during volatility bursts, Boitout and Delahaut replaced the constant micro-interval Δt by the duration of the events themselves, enabling the number of events per day to fluctuate according to the activity, like in real-life. To put it in a nutshell, in order to introduce more flexibility in the way the intraday events are handled, they switched from a discrete-time to a discrete-events (or continuous-time) approach.

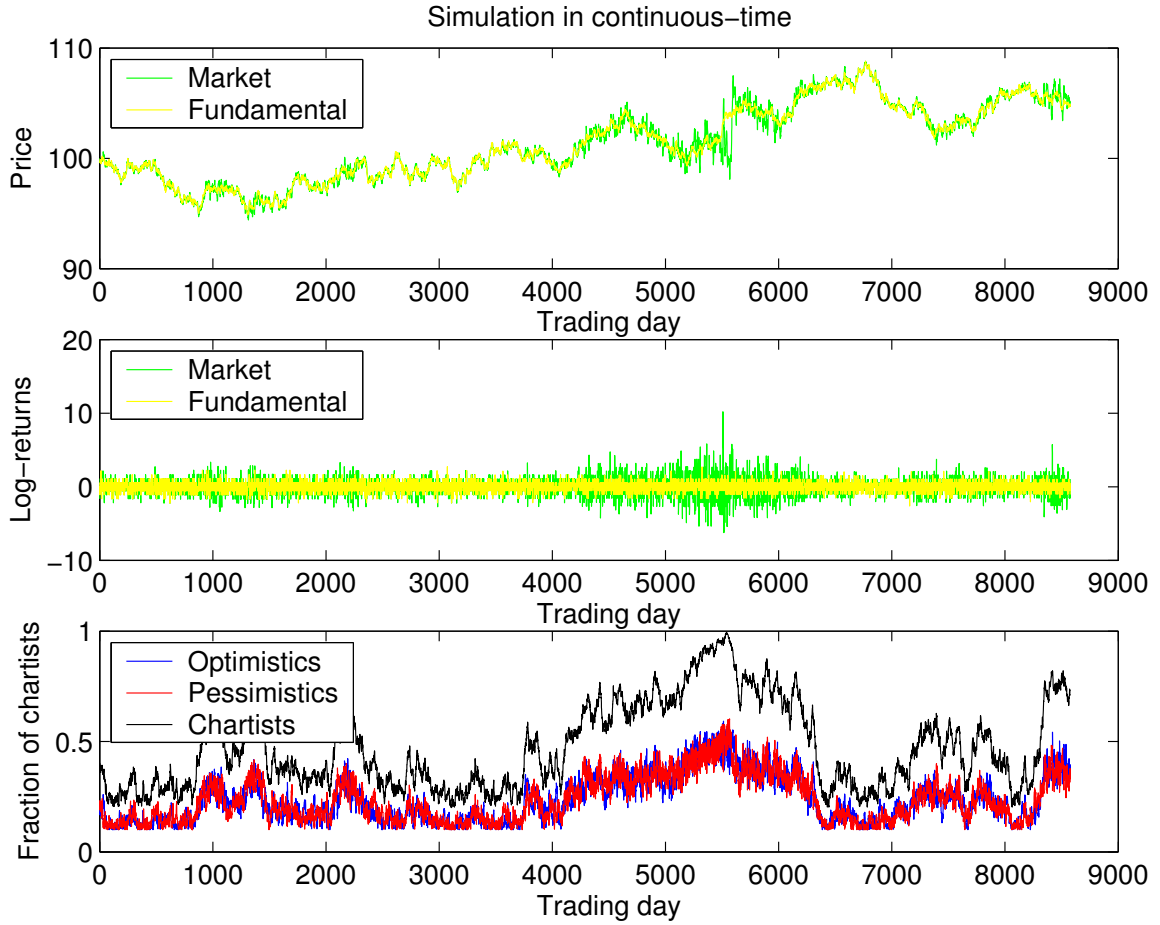


Figure 1: Simulated market with 100000 events, representing 8576 trading days. One can observe periods of calm, succeeded by bursts of volatility when chartists become prominent.

4 Continuous-time approach

We run a simulation of the Boitout model with the set of parameters used in [BD03], with 100000 events, and obtain a first time series $Y = [\frac{n_+(i)}{n} \frac{n_-(i)}{n} p(i) p_f(i)]$, $1 \leq i \leq 100000$ describing the market variables after each event, coupled with $E = [eventNumber(i) \ duration(i)]$, the number of the event executed and its duration, for every iteration. Using E , we can perform time aggregation and post-process Y to get the value of the market variables at the end of each day (a day has a constant length, in calendar time). The resulting time series, $calendarY = [\frac{n_+(t)}{n} \frac{n_-(t)}{n} p(t) p_f(t)]$, $1 \leq t \leq 8576$, can then be directly compared with daily data

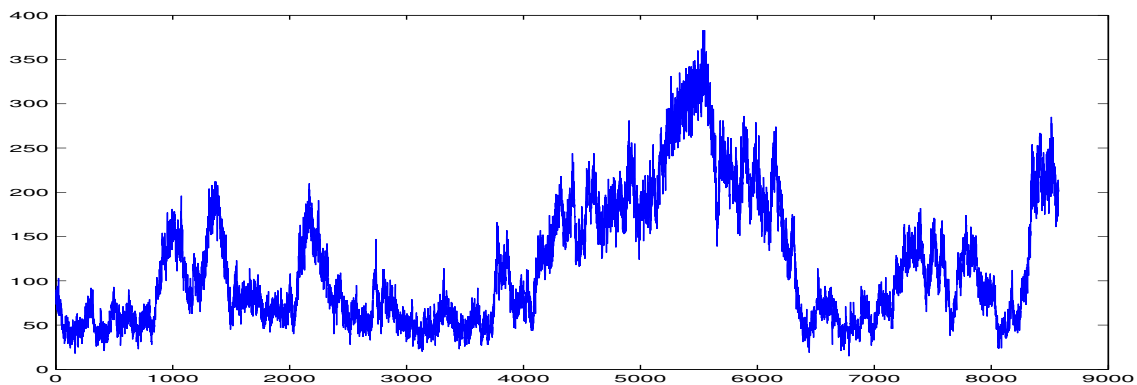


Figure 2: Number of events per day. In period of high volatility, the duration of events scales down and we observe a burst of number of events per day.

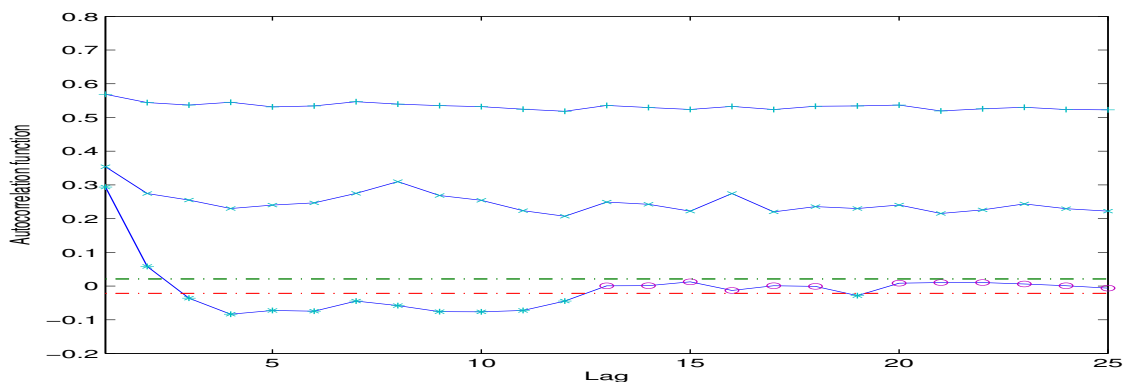


Figure 3: Autocorrelations of raw, squared and absolute log-returns (bottom to top).

extracted from empirical financial time series.

We present in Figure 1 an example of realisation. One can observe that in general, the market price fluctuates regularly around the fundamental value, due to the majority of fundamentalists. Moreover, even if the variations of the fundamental value are Gaussian by construction, the market log-returns clearly exhibit departures from normality. In particular, the market experiences from time to time some periods of instability ($1000 \leq t \leq 1500$, $2000 \leq t \leq 2200$, $4100 \leq t \leq 6500$, $8400 \leq t \leq 8550$) characterised by a high volatility and a dramatic increase in the proportion of chartists. Those periods of clustered volatility lead to extreme price variations, indicating that the continuous-time approach to handle intraday events successfully scales up and down. To verify this, we show in Figure 2 the evolution of the number of events per day, where volatility bursts are clearly identifiable. Finally,

we plot in Figure 3 the sample autocorrelation at different lags for raw, squared and absolute log-returns; although raw returns exhibit a strongly high predictability for a one day lag, the results are qualitatively the one expected: we observe a lack of dependence for raw returns, but a slow decay in squared and absolute log-returns, denoting a long range dependence in the volatility.

On plots, the simulated price and log-return time series look very similar to financial time series, and a very complete package of statistical tests performed by Boitout and Delahaut show that they can successfully reproduce the lack of linear or non-linear dependences of returns, the long range dependence of the volatility and its tendency to cluster in time, all of which are phenomena universally observed in financial markets.

5 Conclusion

Agent-based market models have to face an important contradiction when choosing an internal representation of time: on one hand, financial data are most commonly available on a daily basis, which explains why the Econophysics literature traditionally focuses on stylized facts empirically observed at this time horizon. On the other hand, traders themselves interact constantly with each other, new information arrives continuously and prices keep changing. The first ABMMs [PAH⁺94, CZ97, Art99] adopted a common discrete-time approach for both the market variables and the trader's activity (their state was modelled at the end of each time period only), resulting in a loss of information about the event history within the time period. Lux then introduced a smaller time scale for intraday activity; unfortunately, this framework needed to be artificially tweaked during periods of high activity due to the fixed number of events per day. Finally, Boitout and Delahaut recently extended this model to allow the duration between events to fluctuate according to the market activity, while still observing their market variables on a daily basis. Such a mixed approach, which reconciliates the continuous intraday activity of the market with the daily horizon of recorded variables, looks very promising, and it would be interesting to see if it can be adjusted to a pure ABMM such as the one proposed by Giardina and Bouchaud [GB03], which actually models the evolution of individual traders through time, and not only their repartition.

References

- [AAP88] P. W. Anderson, K. Arrow, and D. Pines. *The Economy as an Evolving Complex System*. Redwood City, Addison-Wesley Co., 1988.
- [ADL97] W. B. Arthur, S. Durlauff, and D. Lane. *The Economy as an evolving complex system II*. Addison-Wesley, Reading MA, 1997.
- [Art99] W. B. Arthur. Complexity and the economy. *Science*, 284:107–109, 1999.
- [BD03] N. Boitout and T. Delahaut. Long range dependence in a real trading time agent-based model. 2003. <http://www.univ-orleans.fr/DEG/LEO/activitescientifique/seminaires2002.html>.
- [BG94] E. Bonabeau and G. Theraulaz. *Intelligence collective*. Hermès, Paris, 1994.
- [Con01] R. Cont. Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*, 1(3):223–236, 2001.
- [CZ97] D. Challet and Y.-C. Zhang. Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game. *Physica A*, 246:407, 1997.
- [F⁺69] E. F. Fama et al. The adjustment of stock prices to new information. *International Economic Review*, 10:1–21, 1969.
- [GB03] I. Giardina and J. P. Bouchaud. Bubbles, crashes and intermittency in agent based market models. *Science & Finance*, 2003. To appear.
- [JHHJ00] P. Jefferies, M. L. Hart, P. M. Hui, and N.F. Johnson. From market games to real-world markets. 2000. cond-mat/0008387.
- [LM99] T. Lux and M. Marchesi. Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market. *Nature*, 397:498–500, 1999.
- [LM00] T. Lux and M. Marchesi. Volatility clustering in financial markets: a microsimulation of interacting agents. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 3:675–702, 2000.

- [Lux98] T. Lux. The socio-economic dynamics of speculative markets: interacting agents, chaos, and the fat tails of return distributions. *J. Economic Behavior and Organization*, 33:143–165, 1998.
- [MS99] R. Mantegna and H. E. Stanley. *Introduction to Econophysics*. Cambridge University Press, 1999.
- [Pag96] A. Pagan. The econometrics of financial markets. *Journal of Empirical Finance*, 3:15–102, 1996.
- [PAH⁺94] R. G. Palmer, W. B. Arthur, J. H. Holland, B. LeBaron, and P. Tayler. Artificial economic life: a simple model of a stock market. *Physica D*, 75:264–274, 1994.
- [Wei99] G. Weiss. *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, 1999.

S'évader du présent remémoré et construire un temps social: le rôle central de l'empathie ?

Guillaume DEFFUANT

Cemagref – LISC

24, avenue des Landais - BP 50085, 61172 Aubière
guillaume.deffuant@cemagref.fr

1 Introduction

A. Smith (Smith 1759) pensait avoir découvert l'équivalent de la gravitation Newtonienne dans le domaine des phénomènes sociaux. De même qu'un corps peut suivre une trajectoire elliptique, hyperbolique ou parabolique selon les conditions d'application de la gravité, les différentes régularités observées dans les phénomènes sociaux, la diversité des cultures et des formes politiques ou économiques, seraient les effets d'un seul et même opérateur. Selon A. Smith, cet équivalent de la gravitation serait la sympathie ou l'empathie.

Plus récemment, J.P. Dupuy revisite cette thèse à la lumière de travaux plus récents en théorie des jeux, en sciences cognitives, en économie. L'empathie devient chez lui un « opérateur », au sens mathématique du terme, qui peut s'appliquer à lui-même de manière récursive. Cette combinaison de l'opérateur fait naître des figures particulières comme le « common knowledge », mais il donne aussi une interprétation subtile à une grande diversité de sentiments sociaux tels que la bienveillance, l'envie, la honte ou la fierté. Au détour d'une phrase, J.P. Dupuy suggère même que l'empathie serait à l'origine de la conscience.

La contribution principale de ce texte est de reprendre la démarche initiée par Dupuy, en utilisant non pas un opérateur d'empathie, mais deux, que nous appelons empathie fusionnelle et distanciée. Nous étudions différentes figures empathiques obtenues en composant ces opérateurs à plusieurs niveaux, en nous attachant plus particulièrement à essayer de comprendre leur implication sur la perception du temps.

L'argument principal est que la conscience de soi dans le temps ne peut se produire qu'à condition de sortir de soi-même pour se considérer de l'extérieur. En effet, à défaut d'une telle capacité, la perception du temps est limitée à la fenêtre de l'anticipation présente. La conscience se limite à la perception en première personne, dans le temps du « présent remémoré », comme le suggère Edelman (Edelman 92). Le temps autobiographique, et le temps social partagé ne peuvent pas être perçus.

Nous montrons que certaines combinaisons d'empathie fusionnelle et distanciée permettent de concevoir cette perception de soi-même de l'extérieur. L'étude de ces

configurations révèle l'importance de distinguer entre empathie fusionnelle et distanciée. En effet, l'empathie fusionnelle ne permet pas vraiment de se sortir de soi-même car elle suppose une forme de confusion entre soi et l'autre. Mais l'empathie distanciée n'est pas suffisante non plus, car elle empêche un véritable retour à soi-même. En outre, elle donne l'illusion d'un contrôle du temps, qui peut amener à se mettre en scène selon son bon vouloir dans le passé ou dans le futur, trichant avec soi-même sur la réalité des faits et travestissant sa propre mémoire.

Nous illustrons le fonctionnement de cette configuration empathique sur le test de la croyance déçue, (qui a été expérimenté sur des enfants d'âges différents et des autistes). Notre approche suggère que la réussite à ce test serait l'indice d'une capacité à se construire un temps social extérieur, qui permet la constitution d'une conscience de soi déployée dans le temps. L'échec, en revanche serait l'indice d'une incapacité à construire une telle conscience de soi.

Dans cette perspective, conscience de soi et perception du temps sont des phénomènes principalement sociaux, et nous proposons quelques réflexions sur ces liens entre conscience de soi et structure sociale. En particulier, nous montrons que les configurations empathiques spécifiques du temps déployé sont naturellement instables en l'absence d'ordre hiérarchique stable et accepté. Les personnages mythologiques ou divins des sociétés holistes apparaissent comme le moyen privilégié stabiliser la définition de soi dans un temps social partagé. Nous supposons qu'ils correspondent à des configurations particulières « d'autres virtuels » naturellement construits par les relations empathiques. Nous reprenons ici, avec des modifications substantielles, certains points développés dans (Deffuant 1998). Ainsi, dans les sociétés traditionnelles, le temps social est-il étroitement associé aux personnages mythologiques et divins, qui en sont la source.

Enfin, nous proposons une discussion sur la manière dont les sociétés modernes ont résolu ce problème d'instabilité de la définition de soi et du temps en l'absence de transcendance. Nous insistons sur le rôle central de l'idéologie scientifique, qui a disqualifié totalement l'idée d'empathie fusionnelle. En conséquence la perception du temps se transforme radicalement, devenant phénomène physique, rythme, processus. Dans notre perspective, ce temps moderne, tout en étant partiellement social, se rapproche de celui la conscience primaire (le temps du présent remémoré), dans lequel la conscience de soi n'a plus de point d'appui et se dissout.

2 Composer l'empathie pour s'évader de la prison de l'instant

2.1 La cognition biologique, prisonnière de l'instant

Dans un texte visant à comparer les visions de l'autonomie de Varela et Casotriadis (Deffuant 97), je m'étais interrogé sur ce que nous pouvons dire du monde perçu par une amibe. L'un des points sur lesquels insiste Varela, est que ce monde ne peut pas comporter de distinction entre un intérieur et un extérieur. L'argument invoqué est que rien, dans le fonctionnement biologique de l'amibe ne lui

permet de distinguer si une perturbation de ses dynamiques vient de l'extérieur ou de l'intérieur. Par exemple, si une source de nourriture apparaît dans son voisinage, un gradient chimique peut provoquer le développement de pseudopodes qui vont circonvenir la nourriture afin de l'ingérer. Du point de vue du scientifique qui observe la scène au microscope, l'amibe réagit à une perturbation extérieure. Mais du point de vue de l'amibe, se produit seulement une modification de son métabolisme qui amène la croissance des pseudopodes. Comment pourrait-elle distinguer cet événement d'une croissance spontanée, déclenchée par un événement interne ? On le constate, Varela demande beaucoup à son lecteur : il s'agit de se mettre à la place d'une amibe par la pensée. S'il est probablement presque impossible de ressentir ce que ressent l'amibe, Varela soutient (dans notre interprétation) qu'il est possible de déduire indirectement (en observant le fonctionnement biologique) certaines propriétés de ce monde de l'amibe.

Et si nous nous demandions quel est le temps perçu par une amibe ? Ici encore le problème est très délicat, et sort des pratiques scientifiques habituelles. Mais en utilisant un raisonnement indirect, comme le fait Varela pour postuler l'impossibilité d'un monde extérieur, je pense que nous pouvons raisonnablement postuler qu'une amibe ne perçoit pas de temps. En effet, pour un premier embryon de temps perçu puisse apparaître, l'amibe devrait pouvoir au moins pouvoir ressentir le décalage entre la situation présente, et une situation future qu'elle anticipe. Selon Edelman un cortex soit nécessaire à de telles opérations cognitives.

2.2 La conscience primaire, prisonnière de la fenêtre du présent mémoré

Cette capacité d'anticipation, rendue possible par une nouvelle forme de mémoire, crée une nouvelle forme de temps perçu. Nous le rapprochons de la conscience primaire chez Edelman (Edelman 92) ou de la catégorie du « vivre » (par opposition à « l'exister ») chez T. Todorov. Nous supposons que ce premier niveau comprend soit un cycle de perception et d'action déterminé, auquel est associé une valeur hédonique ou émotionnelle, soit un tel cycle associé à l'anticipation d'un autre cycle dans les instants suivants (voir Figure 1). Les valeurs émotionnelles sont associées aux perceptions soit génétiquement, soit par apprentissage. Evidemment, l'échelle de temps du cycle dépend de l'action et de son déroulement. On aurait pu considérer plusieurs anticipations possibles plus ou moins simultanément. Nous ne le faisons pas simplement par souci de simplicité de la présentation.

Il importe de remarquer que les limites temporelles du résultat de l'action marquent les limites temporelles de la conscience d'un tel système. Son horizon est prisonnier de cette fenêtre temporelle. Son « vécu » est une succession de séquences qui s'ignorent mutuellement. Des séquences similaires peuvent être mémorées par similarité avec la séquence actuelle (ce qui permet l'apprentissage), mais l'évocation d'une séquence de manière volontaire n'est pas possible. Ce système est donc dépourvu de mémoire autobiographique, ainsi que de conscience de soi. La conscience de ce système est proche de ce qu'Edelman appelle le « présent mémoré ».

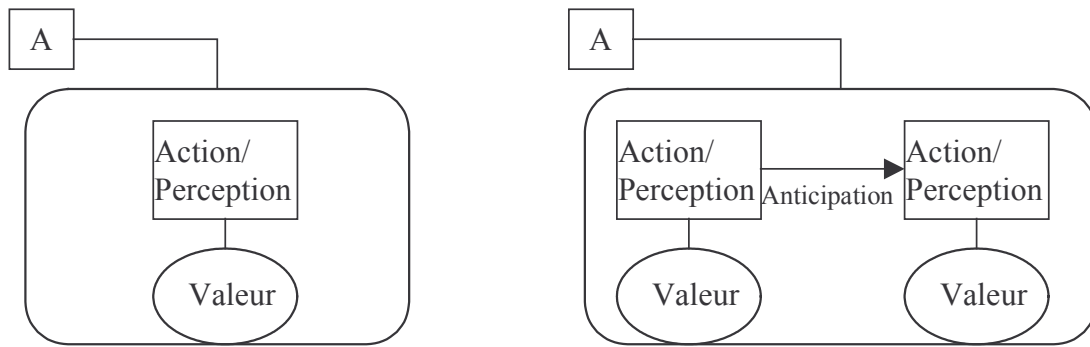


Figure 1 : Représentation d'un système sans empathie (conscience primaire d'Edelmann). Deux cas sont possibles. À gauche, l'entité A a une perception active à laquelle est associée une valeur de plaisir. L'entité est totalement dans l'instant du couple perception action. À droite, le système a en outre une anticipation sur les résultats possibles d'une action envisagée dans l'avenir proche. Le temps est alors celui de cette fenêtre d'anticipation.

2.3 Empathie fusionnelle et empathie distanciée

Ajoutons maintenant des capacités d'empathie à nos systèmes cognitifs. Comme l'indique notamment la contribution de Gérard Jorland à cet ouvrage, le terme « empathie » recouvre différentes interprétations. La sympathie d'Adam Smith semble assez différente de celle de Max Scheler ou de l'*einfühlung* de Théodor Lipps. Aujourd'hui encore, la théorie de la simulation s'oppose à la théorie de la théorie pour interpréter notre capacité à se mettre plus ou moins partiellement les uns à la place des autres.

Il nous semble pertinent de distinguer deux opérateurs d'empathie¹ :

- L'empathie fusionnelle est l'identification (partielle) de soi à l'autre, c'est à dire à l'adoption de ce qu'on imagine être son point de vue et ses émotions. Cela correspond à ce que M. Scheler nomme « fusion affective ». Mme de Sévigné écrivant à sa fille « j'ai mal à votre poitrine », constitue un joli exemple d'empathie fusionnelle. A. Smith remarque que la découverte d'un livre par une autre personne peut nous donner un plaisir renouvelé à entendre sa lecture, alors que le lire seul nous aurait ennuyé. Ceci correspond à nouveau pour nous à de l'empathie fusionnelle. L'existence des neurones « miroir », indique une probable base biologique et inconsciente à l'empathie fusionnelle. Nous représenterons l'empathie fusionnelle en ajoutant un rectangle en pointillé autour de la perception action ressentie chez l'autre (voir figure 2 sur la gauche). La valeur associée par B (du point de vue de A), est reprise à son compte par A, et donc partagée par les deux systèmes (selon A).
- L'empathie distanciée est l'imagination du point de vue de l'autre, mais sans adopter les émotions correspondantes. Ainsi, le parent qui cherche à rassurer son

¹ Ces deux catégories recouvrent sans doute partiellement celles qui sont visées dans le débat entre théorie de la simulation et théorie de la théorie. Cependant, il se peut que les choses ne soient pas aussi claires. L'empathie distanciée pourrait être issue d'une simulation, qui prend ensuite ses distances. Inversement l'empathie fusionnelle pourrait être issue d'une reconstitution théorique, qui est ensuite totalement reprise à son propre compte. Donc il ne s'agit pas pour nous de prendre parti dans le débat qui oppose théorie de la simulation et théorie de la théorie.

enfant effrayé par l'obscurité, s'imagine-t-il les sentiments de l'enfant, mais sans les reprendre à son compte. De même, les concurrents, ou les ennemis imaginent-ils constamment leurs intentions ou sentiments mutuels, sans se les approprier. L'historien du totalitarisme pourra avoir une connaissance fine de la psychologie de Hitler ou Staline, imaginer leurs espoirs, leur obsessions, leurs drames, sans s'identifier à leurs émotions. La pitié peut s'analyser comme une empathie distanciée : la conscience du malheur de l'autre engendre une valeur négative, mais aussi un refus de s'identifier à sa situation. On peut supposer que l'empathie distanciée vient d'une analyse conceptuelle de la situation de l'autre, associée à un blocage plus ou moins volontaire de l'empathie fusionnelle, à la suite d'un refus d'échanger les rôles. Nous représenterons l'empathie distanciée en ajoutant un rectangle en traits pleins autour de la perception action attribuée à l'autre (voir figure 2 sur la droite), en outre, contrairement à l'empathie fusionnelle, les valeurs associées ne sont plus partagées : A associe une valeur à sa perception globale de l'état de B qui comprend un cycle perception action et une valeur associée. Ces valeurs peuvent donc être différentes.

Nous supposons que l'homme dispose naturellement de ces deux opérateurs, et peut les combiner. En réalité, la distinction tranchée que nous proposons ici est sans doute artificielle, car il existe probablement une continuité entre empathies fusionnelle et distanciée. Cependant, nous pensons préférable de garder cette simplification pour les besoins de la clarté de la présentation.

Remarquons que le système peut avoir une empathie (fusionnelle ou distanciée) tout en restant dans la conscience primaire, c'est à dire sans conscience de soi. Donc ici l'autre (dépourvu de soi) peut exister sans que le soi existe. Cette hypothèse distingue fondamentalement notre approche de visions plus habituelles, selon lesquelles une forme d'accès au soi est nécessaire pour concevoir l'autre par analogie. En effet, dans notre perspective, ce sont des combinaisons particulières de l'empathie qui permettent de créer la conscience de soi. Nous allons tenter d'en donner une première intuition à l'aide de l'expérience de la « croyance déçue ».

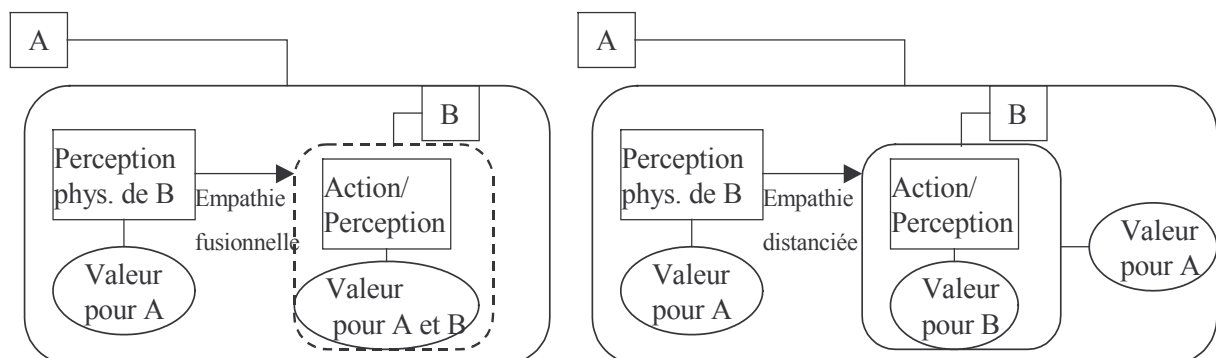


Figure 2 : Empathie fusionnelle et distanciée. A gauche l'empathie fusionnelle de A avec B le mène à partager ce qu'il imagine être les perceptions et valeurs de B. A droite l'empathie distanciée de A pour B distingue les perceptions et valeurs de B des siennes. En outre, A peut associer une valeur à ce qu'il imagine être le couple perception /valeur de B.

2.4 S'évader de la prison de l'instant: Illustration à partir du test de la "croyance déçue"

L'expérience de la « croyance déçue » montre une étape fondamentale du développement de l'enfant entre 3 et 4 ans. Tout d'abord, on présente une boîte de bonbons opaque à l'enfant. Il s'attend à trouver des bonbons à l'intérieur. En ouvrant la boîte, l'enfant constate qu'elle ne contient pas des bonbons, mais des crayons (voir Figure 3). Une fois la boîte refermée, il anticipe qu'il trouvera des crayons s'il ouvre à nouveau la boîte. Maintenant, une autre personne entre dans la pièce. Elle n'a pas vu la scène précédente. L'enfant de moins de 3 ans et demi affirme que cette personne pensera que la boîte contient des crayons et non des bonbons. L'enfant de plus de trois et demi répond en revanche que la nouvelle personne anticipera que ce sont des bonbons, puisqu'elle n'a pas encore testé. Les autistes réagissent en général comme les enfants de moins de 3 ans et demi.

Gopnik (Gopnik 93) a en outre demandé à l'enfant de répondre à propos de lui-même, c'est à dire de préciser sa propre anticipation avant d'ouvrir la boîte, une fois qu'il l'a ouverte. L'enfant fait la même réponse que dans le cas d'un tiers. D'autres tests confirment ce résultat.

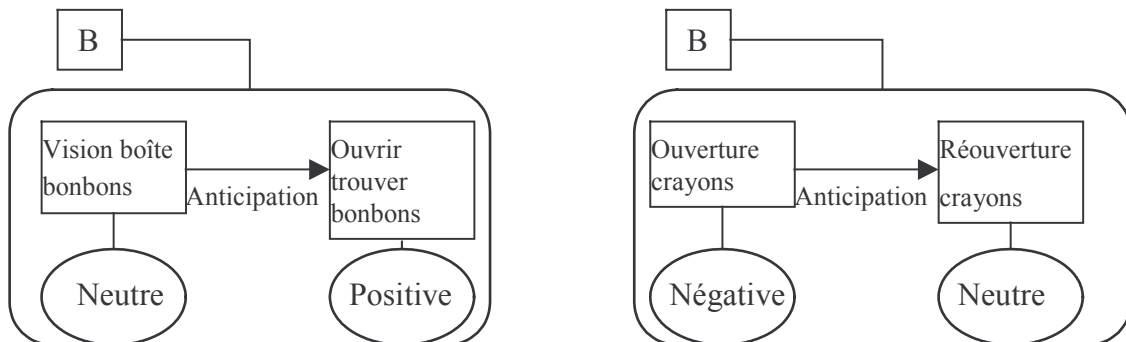


Figure 3: Représentation de la séquence de perceptions et anticipations dans l'expérience de la croyance déçue.

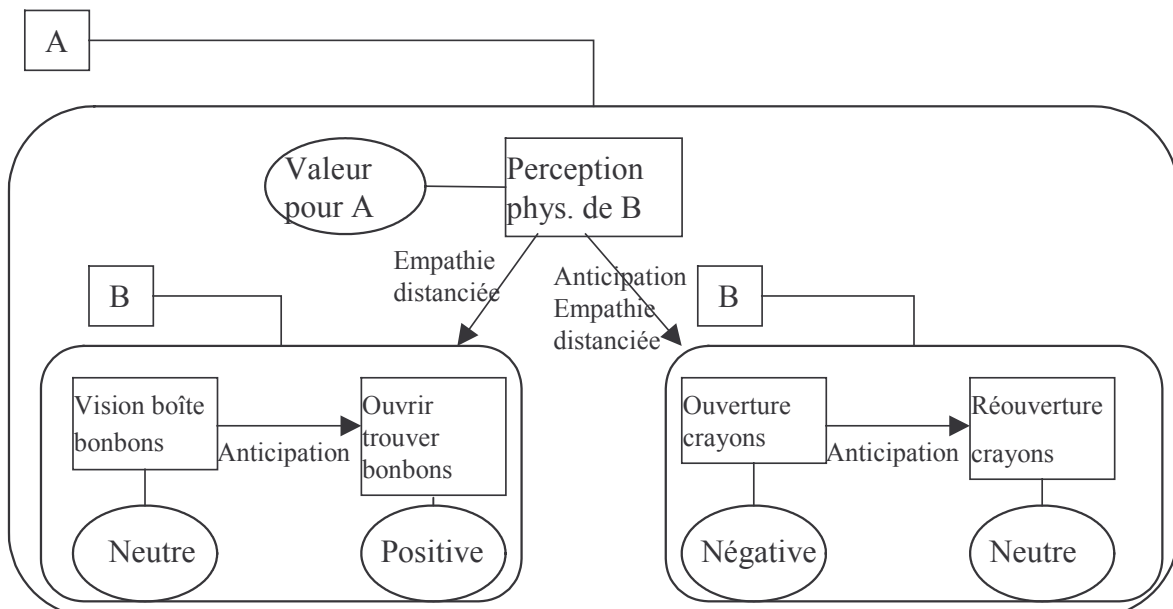


Figure 4: L'empathie distanciée est une perception particulière, qui peut être sujette à des anticipations. Ce n'est pas le cas de l'empathie fusionnelle. L'enfant de moins de 4 ans semble incapable de parvenir à ce type de séquences, que ce soit pour les autres ou pour lui-même.

Considérons un système possédant une conscience primaire et une capacité d'empathie fusionnelle et distanciée. Ce système parvient à la réponse correcte à propos de la croyance déçue d'un tiers (voir Figure 4) par une empathie distanciée et une anticipation d'empathie distanciée. Il ne peut pas y parvenir par une empathie fusionnelle, car une anticipation sur une empathie fusionnelle impliquerait une sortie de cette fusion. Dans notre cadre, l'enfant de moins de 3 ans et demi est incapable d'une séquence d'empathie distanciée.

Comme le montrent les expériences de Gopnik, cette incapacité s'étend à ses propres états. Il semble donc incapable d'établir une séquence temporelle de ses états internes, c'est à dire de sortir de la conscience primaire (ce qui explique pourquoi nous n'avons pratiquement jamais aucun souvenir autobiographique de cette période). Il semble nécessaire d'établir une séquence d'empathie distanciée pour parvenir à se construire une conscience de soi, ou de l'autre, dont l'intériorité se déploie dans le temps. Nous allons proposer dans la suite des figures de l'empathie permettant de concevoir sa propre intériorité déployée dans le temps, en raisonnant toujours sur notre système minimal doté de conscience primaire et d'empathies fusionnelles et distanciées.

Pour Gopnik, l'impression d'un « moi » viendrait de l'accoutumance à une empathie pour nous-mêmes, qui serait de même nature que celle que nous avons pour les autres. Cette vision est selon nous marquée par l'a priori individualiste, selon lequel l'individu peut se définir lui-même, par auto-empathie. Une telle opération est impossible pour notre système, qui a besoin d'un autre pour avoir une vue de lui-même. Précisons maintenant les configurations empathiques permettant constitution d'un soi déployé dans un temps.

3 Figures théoriques d'empathies emboîtées, conscience de soi et autres virtuels

3.1 Compositions d'empathie fusionnelle et distanciée

Considérons deux personnages A et B et supposons d'abord une empathie fusionnelle de A avec B et une empathie distanciée de B pour A, afin d'introduire la rupture de la limite temporelle de la conscience primaire. Comme nous l'avons identifié dans l'analyse de l'expérience de la croyance déçue, cette composition de l'empathie permet de se voir à plusieurs instants, avec des anticipations différentes. L'autre offre alors une sorte de point d'appui, permettant de se constituer en tant qu'histoire. Mais cette configuration ne confère qu'une vision distanciée de soi-même, équivalente à celle des autres que perçoit éventuellement B. Pour constituer une conscience de soi, A doit aménager une empathie fusionnelle avec cette perception de lui-même. Dans ce cas seulement, A établit une relation particulière avec l'empathie distanciée que B a pour lui. Il se conçoit alors à la fois de l'extérieur et de l'intérieur, ce qui complète la constitution du soi (voir figure 5). Nous appellerons cette configuration : conscience de soi « par le haut ». Le prototype de cette configuration est la relation entre enfant et parent du point de vue de l'enfant.

L'enfant a une empathie fusionnelle avec son parent qui a une empathie distanciée pour lui, ce qui donne à l'enfant une conscience de lui-même par le haut.

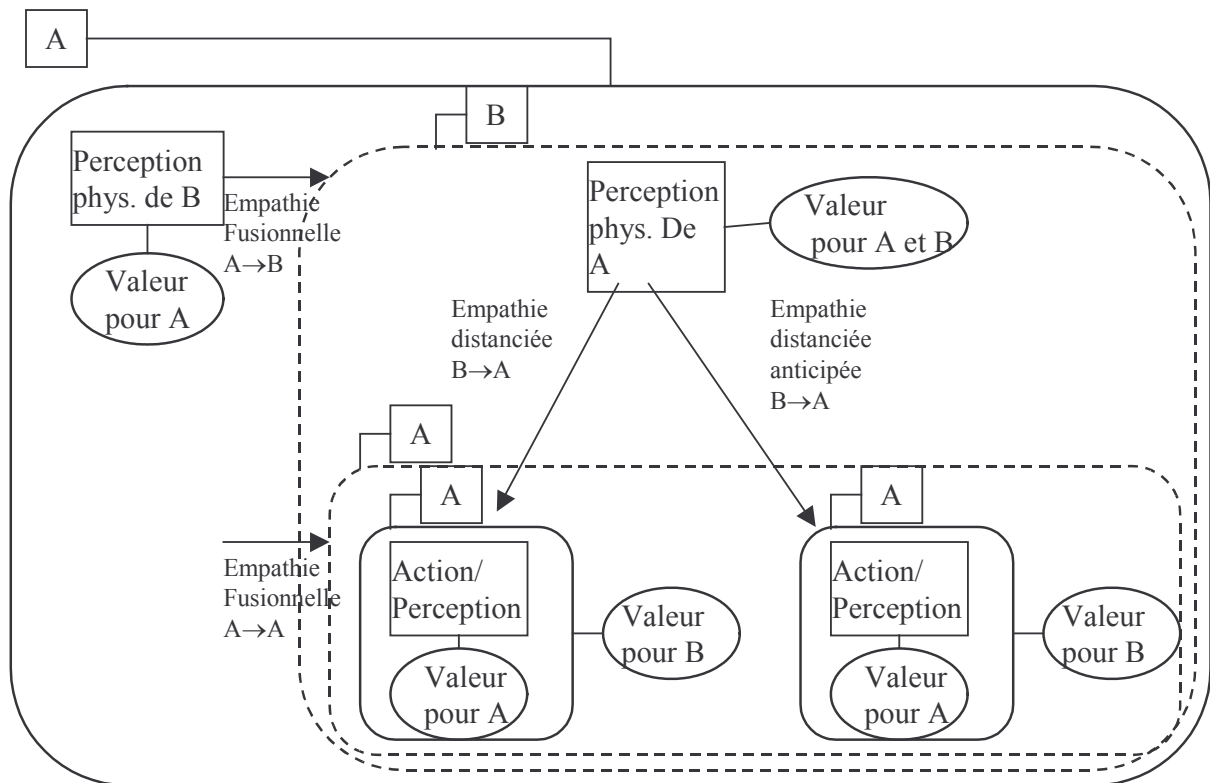


Figure 5 : Schéma de la conscience de soi « par le haut » comme composition d'empathie fusionnelle, puis distanciée, puis encore fusionnelle avec la vision de soi-même déployée dans le temps.

Considérons maintenant la configuration asymétrique inverse : une empathie distanciée de A pour B et une empathie fusionnelle de B avec A. Cette configuration permet aussi un déploiement de soi dans le temps, selon notre raisonnement. Cependant, cette image est d'abord mise à distance par A lui-même, ce qui rend probablement un peu plus difficile son réinvestissement fusionnel que dans le cas précédent. Nous appellerons cette configuration : conscience de soi « par le bas ». Le prototype de cette configuration est aussi la relation entre parent et enfant, mais du point de vue du parent. La perception distanciée d'une empathie fusionnelle confère une forme de conscience de soi, d'existence (qui semble prémunir du suicide par exemple).

La conscience de soi, ou l'existence sociale, résulte dans notre cadre de configurations complexes, composant trois niveaux d'empathie : composition d'empathie fusionnelle et distanciée (dans un ordre ou dans l'autre), et ensuite investissement fusionnel de l'intériorité déployée dans le temps ainsi constituée.

3.2 Composition d'empathies de même type.

La composition d'empathies distanciées a été formalisée par la théorie des jeux (en général plusieurs anticipations sont considérées, comme par exemple dans le cas du dilemme du prisonnier). Cette configuration empathique est celle qui est la plus

libre, car tous les niveaux sont issus d'une imagination distanciée. L'autre est donc manipulable à merci. Par ailleurs, un réinvestissement fusionnel de l'image de soi ainsi obtenue semble particulièrement difficile, car il contredit la double distance introduite. Cette configuration permet aussi un déploiement du temps, dans la même logique que précédemment, puisqu'elle permet la vision de l'intériorité à plusieurs instants. Cependant la source de ce temps est une activité interne, activable selon les désirs de A, ce qui donne une illusion de maîtrise du temps. Ce processus serait à rapprocher d'une tendance à rejouer les scènes passées, en arrangeant ses propres attitudes et celles des autres à son avantage. Cette configuration peut probablement expliquer la constitution d'un temps morcelé, et notamment des projections dans le passé².

La composition d'empathies fusionnelles, en partant de la conscience primaire, ne permet pas de créer un point d'appui extérieur, et donc une conscience de soi. Cette configuration permet essentiellement de construire un monde partagé, mais les images des protagonistes eux mêmes disparaissent. Nous examinons plus particulièrement ce cas dans l'hypothèse d'un autre virtuel partagé par une communauté, et à l'origine d'un monde commun.

3.3 *L'autre virtuel « commun » et constitution d'un monde intersubjectif*

Beaucoup d'auteurs (notamment Husserl) ont utilisé l'empathie pour définir une forme d'objectivité ou d'intersubjectivité. Le monde objectif correspondrait non seulement à nos propres perceptions et anticipations, mais aussi au fait que tout un chacun anticiperait ou percevrait la même chose³. La perception du sens d'un mot en est un bon exemple : elle s'accompagne de la conviction que l'ensemble des locuteurs a une perception similaire du sens de ce mot. De même, la perception de l'espace est objectivée par la conviction que les autres en ont une similaire.

Cette empathie généralisée pour les autres ne nécessite pas leur présence effective mais peut se faire par l'intermédiaire d'un autre virtuel, généralisé. Cet autre virtuel serait presque constamment présent, mais inconsciemment, et modifierait nos perceptions et raisonnements. Nous supposons également l'existence de cet autre virtuel, que nous nommerons « autre virtuel commun ».

Nous postulons une empathie fusionnelle avec l'autre virtuel commun. En effet, il personnalise les réactions et perceptions communes, pour lesquelles on peut supposer une adhésion naturelle de chacun. Ceci est aussi en accord avec le caractère inconscient de l'empathie pour cet autre virtuel, qui devient simplement une sorte de filtre. La figure 6 en propose une représentation.

² Cette discussion sur le temps pourrait utilement être rapprochée de la distinction proposée par J.P. Dupuy entre temps du projet et temps de l'histoire.

³ A ce niveau, il ne s'agit pas du « common knowledge » (CK), tel que le présente Dupuy, car l'empathie pour les autres n'est opérée qu'une fois, alors que ces opérations sont répétées à l'infini dans le CK. Nous soutenons donc que cette récursion à l'infini n'est pas nécessaire à la constitution d'un monde commun.

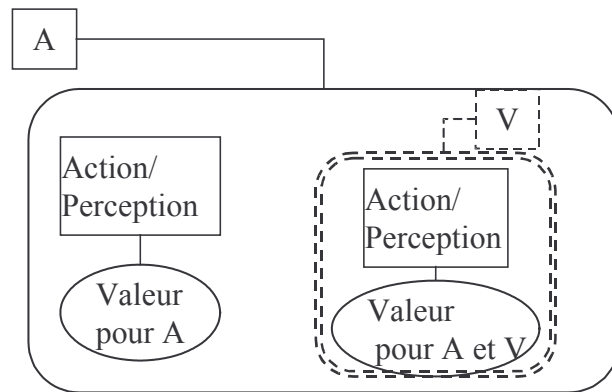


Figure 6 : Empathie fusionnelle avec l'autre virtuel commun, représenté par le personnage V. Ce personnage permet un accès à la perception commune ou intersubjective, et cette empathie fusionnelle est représentée avec une ligne pointillée double.

L'empathie fusionnelle avec l'autre virtuel commun donne une bonne explication de la sensation d'un monde objectif et symbolique partagé par une communauté (y compris une communauté scientifique). Remarquons qu'il s'agit là d'une configuration très différente de celle qui mène à la conscience de soi.

3.4 Un autre virtuel « miroir »

L'autre apparaît donc dans notre cadre comme la source profonde de soi. Plus précisément, le déploiement temporel des séquences de la conscience primaire requiert un point d'appui extérieur à cette conscience, par nature prisonnière de chacune des séquences. L'autre joue le rôle de ce point d'appui extérieur.

Cet autre peut être imaginaire, virtuel, et porté en permanence par chacun de nous, comme le propose A. Smith avec l'homme intérieur (« the man within »). Nous l'appellerons autre virtuel « miroir », pour le distinguer de l'autre virtuel commun. Cette distinction nous semble nécessaire car en général ces deux êtres virtuels ne coïncident pas. En effet, l'autre virtuel miroir se définit dans une relation avec un individu particulier, alors que l'autre virtuel commun se définit par la perception universelle du monde et de ses symboles. Chacun porte en lui un autre virtuel miroir qui lui est propre et le fait exister, alors que l'autre virtuel commun est par hypothèse commun à l'ensemble des membres d'une communauté.

Comme l'a bien identifié Smith, les relations entre l'autre virtuel miroir et les autres réels peuvent être complexes. En effet, l'autre virtuel miroir est nécessairement influencé par le regard des autres réels, dont il constitue une forme d'agrégation. Selon que l'empathie pour l'autre virtuel miroir est fusionnelle ou distanciée, la conscience de soi se modifie profondément. Des changements de situations ou des rencontres peuvent aisément provoquer des oscillations entre conscience de soi par le haut ou par le bas, voire perte de l'image de soi, provoquant satisfaction, douleur, ou encore angoisse. L'autre virtuel miroir apparaît donc comme facilement composite et instable, amalgame changeant de personnages réels et fictifs, idéalisés ou caricaturés.

Cette instabilité nous semble un des problèmes fondamentaux de l'existence sociale. Nous pensons en effet qu'elle est une source de violence et d'instabilité pour la société entière. Dans cette perspective, la constitution d'un ordre religieux apparaît comme une stabilisation des interactions empathiques.

4 Les dieux, sources du temps et de l'espace dans les sociétés traditionnelles

4.1 Instabilité de la « hiérarchie concurrentielle »

Pour de nombreux auteurs, notamment Hobbes, Hegel, Marx, ou encore Nietzsche, la violence est au cœur des rapports humains. Généralement elle est associée à la compétition sans merci pour la considération et le prestige. L'ordre social aurait pour rôle de contenir cette violence qui se déchaînerait en son absence.

Cette violence se radicalise dans notre cadre, puisqu'au delà du prestige et de la considération, c'est l'existence même (au sens de Todorov) qui est en jeu. En outre, les configurations empathiques de la conscience de soi semblent naturellement instables, à cause de l'asymétrie des formes d'empathie qui les composent.

Pour faire apparaître cette instabilité, une nouvelle hypothèse est nécessaire : l'empathie fusionnelle s'établit facilement lorsque la fusion est bénéfique, c'est à dire lorsque la situation de l'autre semble égale ou préférable. Au contraire, l'empathie distanciée suppose un refus d'entrer en l'autre, de se mettre véritablement à sa place, même si sa situation est un sujet de préoccupation ou de satisfaction. On peut donc supposer que le refus de la fusion serait dû au désagrément ou au déclassement qu'elle impliquerait.

Examinons les configurations empathiques de la conscience de soi, en introduisant cette nouvelle hypothèse:

- La conscience de soi « par le haut » suppose l'investissement fusionnel de l'empathie distanciée qu'a pour nous celui avec lequel nous avons une empathie fusionnelle. Cette configuration indique une forme de supériorité de celui qui nous donne cette image, d'après notre nouvelle hypothèse. L'investissement fusionnel de l'image de soi ainsi obtenue suppose l'acceptation de cette supériorité, qui doit donc être stable et non questionnée (comme par exemple la hiérarchie entre parents et enfants, pour des enfants jeunes). Lorsque cette supériorité n'est pas acceptée, l'empathie distanciée est perçue alors comme un refus d'empathie fusionnelle, ce qui peut être un signal suffisamment négatif pour gommer un éventuel côté positif de la bienveillance (on parlera de paternalisme par exemple). Mais une grande détresse peut résulter de cette impossibilité de réinvestir empathiquement l'image de soi, si cette source d'image est importante, car c'est alors la source d'existence qui se tarit. Une solution possible est de se concentrer sur le projet d'une inversion des rôles, permettant d'établir une conscience de soi par le bas. Ce projet d'inversion des rôles est nécessairement porteur de violence.

- La conscience de soi « par le bas » : l'autre que nous considérons de manière distanciée a une empathie fusionnelle pour nous, et nous réinvestissons fusionnellement l'image ainsi construite. Selon notre nouvelle hypothèse, dans ce cas, c'est l'avantage reconnu par l'autre chez moi qui me permet d'exister, car il crée le déséquilibre empathique. Cette configuration exacerbe donc la compétition pour les positions enviables. Ce sont elles qui confèrent l'existence sociale, en attirant les regards et l'empathie fusionnelle. On retrouve ici la réflexion de A. Smith sur l'attrait indéfini des richesses, bien au delà des besoins physiques. En plus de l'instabilité due aux aléas de la compétition, cette situation recèle des effets pervers intrinsèques. En effet, le désir de renverser les rôles peut souvent être source de violence, et ce risque peut être perçu par celui qui possède l'avantage. Cet avantage devient alors source de distanciation, ce qui brouille encore les choses.

Cette analyse révèle l'instabilité et la violence de toute société sans hiérarchie empathique stable. Mais comme le souligne Todorov, résumer l'ensemble des rapports humains à cette violence est excessif. En effet, les relations entre parents et enfants par exemple apparaissent comme stables dans notre cadre, tant que la hiérarchie n'est pas remise en cause. En outre, la présence « d'autres virtuels » en compétition avec les autres réels, comme l'avait bien remarqué A. Smith, nous semble tout à fait primordiale pour analyser cette stabilité ou instabilité des rapports humains. Considérons maintenant ces « autres virtuels » et leur lien possible à un ordre hiérarchique et mythologique.

4.2 *Les dieux et personnages mythologiques comme autres virtuels miroirs partagés*

La présence d'un autre virtuel miroir ne peut résoudre le problème de la concurrence empathique que si son regard est prépondérant sur celui des autres. Une telle situation est sans doute peu fréquente, lorsque l'autre virtuel miroir est produit par l'imagination de l'individu. Généralement dans une société dépourvue de hiérarchie stable, l'autre virtuel miroir est soumis à une pression forte des autres réels, dont il constitue une sorte de composite changeant. Cette nature instable de l'autre virtuel miroir a pour conséquence de prolonger, voire même d'amplifier virtuellement les souffrances ressenties lors d'interactions réelles.

En revanche, l'accession au statut de mythologique ou divin confère cette prépondérance aux autres virtuels miroir. En effet, ils deviennent alors publics, intersubjectifs, et acquièrent un statut supérieur à celui de tout membre réel de la communauté. Ils proposent une vision publique du groupe et du rôle de chacun de ses membres, permettant à chacun d'aménager une empathie fusionnelle de cette image de lui-même dans le groupe. En conséquence leur principale fonction semble donc de protéger les membres de la communauté des risques de fluctuations empathiques du regard des autres. Ce serait donc le passage de l'autre virtuel miroir dans le champ du monde partagé qui caractériserait le divin dans notre perspective (voir figure 7).

Ce passage ne parvient pas toujours à anéantir la présence d'autres virtuels miroirs plus personnels qui peuvent même trouver des représentations explicites sous forme

de totems individuels ou d'anges gardiens. Ils peuvent aussi demeurer plus discrets comme l'observateur impartial et distancié d'A. Smith. Cependant, les autres virtuels miroir communs à la communauté ont nécessairement une primauté grâce à leur caractère intersubjectif.

Nous ne pouvons, faute de place, développer l'ensemble des implications de cette interprétation. Nous nous bornerons à mentionner quelques points particuliers :

- De manière générale, notre interprétation permet de comprendre pourquoi, dans une société traditionnelle, l'individu se conçoit avant tout comme membre de sa communauté. En effet, les personnages divins ont une vue globale de la société, puisqu'ils la regardent de l'extérieur. Il est impensable qu'ils concentrent leurs regards sur un individu unique, car alors le reste du groupe basculerait dans le non-être. Donc l'image que chacun a de lui-même est indissociable de celle du groupe, et n'existe que comme une partie intégrante de ce tout. On reconnaît ici le holisme des sociétés traditionnelles souligné par de nombreux auteurs (Dumont, Durkeim notamment).
- Les rites et cérémonies de passages (naissance, âge adulte, mariage, décès), s'expliquent comme la mise à jour de la structure du groupe par les divinités. Cette mise à jour doit être publique afin de rester dans le domaine de perception de l'autre virtuel commun, et la cérémonie matérialise le changement de la structure du groupe sous le regard, voire sous l'action des personnages mythologiques. Le changement du groupe induit un changement de la perception que chacun a de lui-même dans le groupe, qui doit se répercuter dans la vision commune.

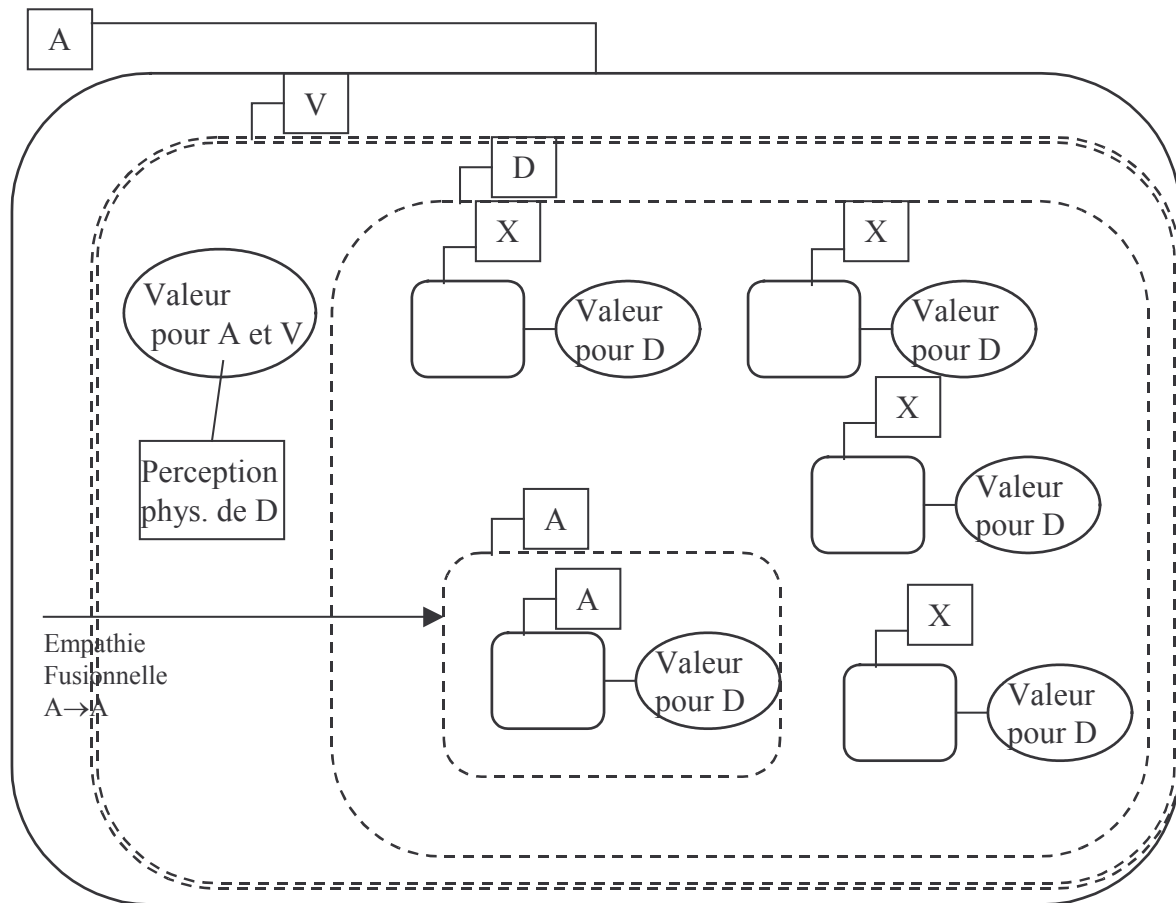


Figure 7 : L'empathie fusionnelle pour les personnages mythologiques (étiquette D) des sociétés holistes est partagée par chacun des membres du groupe ce qui leur confère la force de l'intersubjectivité (par l'intermédiaire de « l'autre virtuel commun » V). Cette empathie fusionnelle permet de structurer une conscience de soi dans l'acceptation d'une empathie distanciée, qu'il est possible de réinvestir de manière fusionnelle. Elle permet aussi de se voir en premier lieu comme membre d'un groupe.

- Les personnages divins constituent un point d'appui stable pour créer le temps et l'espace social, dans lesquels la conscience de soi se déploie. Le temps mythique constitue donc la toile de fond naturelle du temps des individus. Les épisodes majeurs de ce temps mythique, comme la création de la société à partir du chaos, sont donc revécus indéfiniment. Ce point est évidemment à mettre en regard des thèses de M. Eliade.
- Les sociétés totémiques offrent une illustration particulière de notre perspective. Ces sociétés se répartissent en clans dont les membres s'identifient à un animal ou un objet qui est le symbole du clan. Cette répartition a été fondée par des ancêtres mythiques qui étaient à la fois hommes et animaux, ou descendaient directement de ces animaux. Selon nous, cette projection sur des animaux ou des objets concrets permet de diminuer encore le risque de déstabilisation de la hiérarchie empathique. En effet, l'image de soi que chacun s'assigne est directement disponible dans le monde commun. En s'identifiant à eux, les hommes s'affranchissent donc de la difficulté de se définir en tant qu'homme, tout en se

dotant d'une conscience de soi par le haut. Une telle organisation s'assure en quelque sorte une double protection contre le désordre des concurrences empathiques.

L'universalité de la religion dans les groupes humains semble indiquer qu'il s'agit d'un attracteur naturel des interactions empathiques. On peut supposer qu'en général, l'absence de religion ou de hiérarchie empathique commune engendre une instabilité telle que la société en question disparaît. Dans ce cadre, les sociétés modernes apparaissent donc comme une énigme, puisqu'elles semblent se maintenir alors qu'elles devraient se désintégrer. Nous examinerons cette question plus loin. Auparavant, nous nous interrogeons sur la portée du schéma proposé.

4.3 *Quelques limites et nuances*

Tout d'abord, notons que l'empathie fusionnelle simple avec une divinité, sans constitution d'une image de soi, est très répandue, et son rôle très important. Dans ce cas, l'individu revit les moments mythiques vécus par les personnages mythologiques, dans une transposition mythologique de son environnement. Ces comportements sont particulièrement fréquents dans les cérémonies, qui miment le comportement des personnages mythologiques. Mais les actions de la vie courante peuvent également faire référence à des actions inaugurées dans des temps mythiques, par les divinités. On comprend bien le réconfort que l'empathie fusionnelle peut apporter, en transformant des tâches pénibles et répétitives en gestes héroïques d'êtres supérieurs. Cette empathie fusionnelle simple permet aussi de réduire la violence, car elle réduit l'empathie fusionnelle directe entre les individus.

Autre déviance forte avec notre schéma général : les spiritualités invitant à une empathie pour l'ensemble du Cosmos, sans qu'il soit forcément personnalisé en une divinité. Sans doute le Bouddhisme et le Stoïcisme peuvent-ils être rangés dans cette catégorie. Il s'agit d'une empathie fusionnelle avec un ensemble d'une infinie complexité et diversité, qui dépasse totalement l'individu. Ces figures pourraient donc être interprétées comme des généralisations des divinités classiques qui s'étendent à l'ensemble de l'existant et deviennent diffuses. En effet, cette fusion peut permettre de nous concevoir nous-mêmes comme une parcelle infime du Cosmos, de même que la divinité classique permet de se concevoir en premier lieu comme membre de la communauté. Mais il est possible que l'analogie s'arrête à ce niveau, car l'individu est représenté par une parcelle si infime qu'un réinvestissement fusionnel serait impossible. La conscience de soi dans de telles spiritualités garderait donc une forme de distanciation, au profit d'un investissement fusionnel simple pour le tout. Il s'agirait donc d'une configuration plutôt similaire à l'empathie fusionnelle simple avec une divinité. Il est clair qu'un travail beaucoup plus approfondi serait nécessaire pour établir la validité de cette interprétation.

Les religions révélées et le christianisme plus particulièrement présentent aussi des déviations significatives avec les schéma général. Elles fournissent certaines explications de la singularité des sociétés occidentales modernes, que nous avons très partiellement abordées ailleurs (Deffuant 98). Nous focalisons ici notre réflexion sur

l'incompatibilité entre empathie fusionnelle et logique scientifique, et ses conséquences probables sur le bouleversement de la perception du temps dans les sociétés modernes et « post-modernes ».

5 Le temps du processus des sociétés modernes et « post-modernes »

5.1 *L'autre virtuel commun devient source du temps, aux dépens de l'autre virtuel miroir*

Le développement des sciences et techniques est la cause d'une rupture sans précédent de la perception que l'homme a du monde et de lui-même. Cette réussite formidable du développement scientifique et technique a notamment modifié la perception et le statut de l'empathie, comme plusieurs auteurs l'ont déjà fait remarquer (notamment Scheler 1923). En effet, les sciences se sont développées en éradiquant progressivement toute analyse empathique fusionnelle ou distanciée de la compréhension du monde. Dans la physique d'Aristote, les objets lourds tombent car la terre est leur lieu naturel, préféré. Cette analyse suppose une forme d'intériorité aux choses, qui perçoivent différentes valeurs. Ainsi, disait-on aussi que la Nature « a horreur » du vide. Même Copernic utilise l'argument de la perfection du Soleil pour justifier sa position centrale. Les sciences et techniques ont triomphé en bannissant systématiquement de leurs discours ce type d'explication, à partir notamment de la vision mécaniste Cartésienne.

Force est de constater que l'empathie n'est présente dans aucune des conceptions scientifiques les plus structurantes de l'homme moderne. Elle a évidemment été éliminée de toute les sciences fondamentales (physique, chimie, biologie...). Mais elle est également majoritairement contournée dans les sciences de l'homme, qui subissent l'hégémonie des sciences de la nature. L'idéologie récente considère l'homme comme une machine à « traiter de l'information », ce qui exclut l'empathie ou la tient dans le rôle marginal d'un module parmi d'autres. Pour toutes les anthropologies et sociologies qui sont fondamentalement influencées par cette vision, et c'est la majorité, l'empathie est donc hors du champ.

Selon nous cette tendance à éradiquer l'empathie fusionnelle a une cause très profonde : sa contradiction apparente avec la logique mathématique. Par logique mathématique, nous référons à ce que Castoriadis appelle la « logique ensembliste identitaire », qui structure tout discours scientifique. L'une des caractéristiques fondamentales de cette logique est que deux choses sont soit égales, soit distinctes⁴. L'empathie fusionnelle se trouve donc en porte à faux dans un tel formalisme, car son principe inclut justement à la fois une séparation et une fusion.

L'anecdote suivante nous semble en fournir une illustration particulièrement frappante (tirée de (Barrow 1992)). Lors d'une conférence, B. Russel utilisait la thèse

⁴ Ce principe des indiscernables est, rappelons-le, à la base de la monadologie de Leibniz, qui nous intéressera un peu plus loin.

bien connue selon laquelle si un système logique contient une proposition fausse, alors on peut l'utiliser pour prouver n'importe quelle proposition. Un auditeur l'interrompt et le met au défi de démontrer que celui qui l'interpelle et le pape ne font qu'un à partir de l'affirmation $2+2=5$. B. Russel répond du tac au tac : « si $2+2 = 5$ alors $4 = 5$, si j'ôte 3 alors $1 = 2$, donc le pape et vous êtes deux personnes mais pouvez aussi bien n'en faire qu'une ». La possibilité de fusion (être à la fois un et deux) est donc directement associée à une aberration mettant en péril l'ensemble de l'édifice logique.

Notre figure de la conscience de soi qui met en oeuvre une telle fusion à deux niveaux différents, ne peut donc être qu'une hérésie totale dans une vision ensembliste identitaire⁵. L'autre virtuel miroir, qu'il soit public ou privé, ne peut donc avoir droit de cité explicite dans les conceptions scientifiques modernes, pas plus que l'autre virtuel « commun », car cela impliquerait de reconnaître l'empathie fusionnelle comme centrale. Selon nous ces évictions ne sont qu'idéologiques, et ne changent évidemment rien à la réalité d'un monde intersubjectif porté par une figure virtuelle partagée, ni à la nécessité d'une forme de fusion et de distanciation pour que la conscience de soi et un temps autobiographique voient le jour.

L'éviction de l'autre virtuel commun mène probablement à de nombreuses apories sur le statut d'institutions communes comme le langage, les mathématiques. Il n'y a là rien de dramatique car l'empathie fusionnelle et commune pour cet autre virtuel finit par le rendre « transparent », et donc son omission n'engendre pas de perturbations majeures. En fait, avec la modernité, l'autre virtuel commun devient rationnel, non empathique, et acquiert une extension sans précédent. En effet, cet autre virtuel commun devient principale source de temps et d'espaces partagés, ce qui est fondamentalement nouveau, car ce rôle est normalement dévolu aux divinités (donc aux autres virtuels miroir commun).

L'autre virtuel commun, rationnel et non empathique, dont l'existence n'est pas clairement reconnue, voit son influence s'étendre encore puisqu'il tend à devenir la source de l'identité de la société elle-même. Pour mieux le comprendre, il nous faut examiner les visions globales que les sociétés modernes portent sur elles-mêmes.

5.2 Opacité empathique des visions collectives modernes, temps morcelé des processus

La monadologie Leibnizienne est souvent considérée comme la matrice des conceptions modernes, individualistes de la société. Elle met en scène des individus qui ont une illusion de liberté alors qu'ils sont les jouets d'un processus qui les dépasse totalement. Les monades de Leibniz ne sont pas maîtresses de leur destin (la liberté d'un tournebroche selon le mot célèbre), elles ne font que se projeter le film d'une harmonie prédéfinie. Comme le fait remarquer L. Dumont, cette conception garde cependant une structure holiste. En effet, chaque monade a une vision du tout

⁵ Notons que l'empathie distanciée, qui conserve plus clairement la séparation des monades, a trouvé un cadre scientifique dans la théorie des jeux, bien que ce développement soit relativement récent

plus ou moins développée, et doit donc pouvoir accéder à une vision d'elle-même dans le tout, malgré sa séparation des autres. Cette figure s'interprète dans notre cadre comme une empathie fusionnelle avec le Tout harmonieux, dans lequel une vision de soi est possible. Nous retrouvons donc les caractéristiques d'une configuration religieuse holiste, associées à la séparation des individus. Le statut de la monadologie est donc un peu intermédiaire. Ses individus opaques les uns aux autres et irrémédiablement séparés, sont manifestement le reflet du refus moderne de l'empathie. Mais l'harmonie préétablie comble partiellement ce manque en donnant à chacun une vision globale du monde, dans laquelle il peut se retrouver.

Les visions globales modernes comme la théorie de l'évolution ou la théorie du marché reprennent le principe d'individus fondamentalement séparés les uns des autres, jouets d'un processus global qui leur échappe. Mais l'harmonie n'est pas préétablie, elle devient « émergente ». Elle est le résultat de processus aveugles, sans intériorité, et qui ne peuvent donc offrir aucune vision de l'intériorité des individus en retour. La « ruse de la raison » Hégélienne en est le prototype. Elle exprime que le résultat de mes actions, engendrées par mes désirs et mes craintes, suit une logique globale indépendante de mon intériorité. De même, la vision globale des phénomènes économiques, exprimée par les chiffres de la croissance ou du chômage par exemple, écrase-t-elle totalement les angoisses des chômeurs ou les espoirs de conquêtes des chefs d'entreprise. De même de la théorie de l'évolution, qui ne prend en compte que les taux de reproduction des individus, fait-elle fi de toute intention, désir ou crainte. Ces phénomènes globaux prennent appui sur l'intériorité des individus, mais ils lui sont indifférents et l'occultent. Leur vision n'offre donc pas la possibilité d'établir une empathie pour soi-même et de constituer une forme de conscience de soi dans un réinvestissement fusionnel, selon le schéma proposé dans ce texte. Le temps autobiographique n'est pas accessible dans cette configuration, il est dissout dans le temps collectif du processus. Il nous semble pertinent de rapprocher cette impossibilité de réinvestissement fusionnel de l'horreur économique ou de l'aliénation si souvent dénoncées dans les sociétés modernes.

Il semble en effet que les sociétés les plus opulentes de l'histoire de l'humanité aient engendré une détresse psychologique sans précédent. L'individualisme semble lourd à porter. Les occidentaux sont particulièrement sujets aux dépressions, aux allergies. Ces symptômes pourraient être dus à la difficulté à se construire une conscience stable de soi-même, difficulté caractéristique des périodes dans lesquelles la société n'a pas établi de polarisation empathique. Mais selon nos hypothèses, la situation devrait être nettement pire. Cette société ne devrait pas pouvoir se maintenir. Pourquoi les sociétés modernes ne basculent-elles pas dans la violence ?

5.3 *Un totemisme moderne ?*

Tout d'abord, notons que les révolutions totalitaires peuvent être interprétées comme des tentatives de retour à un ordre holiste particulier⁶ en mettant à bas

⁶ Cet ordre holiste se distingue fondamentalement de celui des sociétés traditionnelles en ce que son mythe fondateur (évolutionniste pour les nazis, économiste pour les soviétiques) reste un processus collectif opaque. Les

l'individualisme (Dumont 1983). La tentation d'un retour a donc existé. Mais il apparaît que les sociétés individualistes ont été plus robustes, et plusieurs auteurs prédisent leur extension à l'ensemble de l'humanité. En témoignent par exemple le livre de Fukuyama (Fukuyama 1992) et la reprise de certaines de ses idées par E. Todd (Todd 2002). Cette situation semble en contradiction avec notre cadre. Comment l'expliquer ?

Nous ne pouvons à nouveau que proposer quelques réflexions préliminaires, qui ne prétendent aucunement épuiser une aussi vaste question. Il s'agit de signaler certains effets de sens possibles de nos hypothèses sur l'empathie, qu'un examen beaucoup plus rigoureux devrait confirmer ou infirmer.

Remarquons tout d'abord certaines particularités frappantes des sociétés modernes :

- l'individualisme s'accompagne d'une importance jamais égalée accordée à la production, la maîtrise et la possession d'objets. L'économie a acquis une indépendance, puis une prépondérance inimaginable dans les autres sociétés. Comme le souligne Dumont, dans les sociétés modernes, ce sont les relations aux choses qui tendent à définir les rapports entre les gens, alors que dans toutes les autres sociétés, le rapport tend à être inverse. A. Hirschman (Hirschman 1977) décrit cette transformation comme un passage d'une société de passions vers une société d'intérêts. Ce renversement est tel que même les rapports humains sont pensés comme des échanges d'objets particuliers que sont les « informations » ou encore comme des services, c'est à dire des produits commerciaux.
- Les sociétés modernes entretiennent l'idée curieuse, évoquée en introduction, selon laquelle l'individu peut se définir lui même, de manière solipsiste. Il dépasserait les objectifs de ce texte de retracer la généalogie de cette idée. D'autres l'ont fait (Charles Taylor, A. Renaut). « Sois toi-même », telle est l'injonction courante, dont O. Wilde pensait qu'elle était au fronton de la modernité. La publicité, le cinéma, la littérature modernes le répètent à l'envi. La personnalité doit cultiver sa différence, sa singularité, ne plus dépendre du jugement de l'autre. Mais comment trouver ce soi en soi-même ? Est-il un mystère, tel la grâce, présent en nous, et que nous n'aurions qu'à découvrir par la méthode appropriée ? En fait, cette recherche semble mener à une culture de l'intensité vécue, de l'expérimentation, de l'exploration afin de se confronter à différentes situations et essayer de ressentir la révélation de son moi (Lipovetsky 1983). C'est aussi sur ce terrain que prospèrent diverses charlataneries « new age » plus ou moins correctement inspirées de philosophies orientales. Les individus modernes cherchent leur « moi » dans des processus de perception directe, éventuellement dans le dérèglement des sens, l'expérience de sensations singulières, le sport. Le corps devient donc source de cette vérité du « moi », car

stratégies de culte de la personnalité et de bouc émissaire tentent d'établir une forme d'ordre traditionnel qui est en contradiction avec les principes modernes de ces sociétés (une contradiction de ce type ressort des analyses de Dumont) . Ce point nécessiterait évidemment de plus ample développements.

c'est lui qui constitue la monade physique évidente. Le corps est donc objet de toutes les sollicitudes. Cette tendance trouve par exemple une caution scientifique auprès du biologiste Damasio (Damasio 1999) qui soutient que le sentiment de soi trouve sa source dans le sentiment de son corps en interaction.

Examinons maintenant ces caractéristiques dans notre perspective. Quels liens entretiennent-elles avec les différentes configurations empathiques de la conscience de soi et leur stabilité ?

Une explication fondamentale nous semble liée à l'extension sans précédent de l'empathie fusionnelle avec les processus matériels, non empathiques. L'obsession de la croissance économique en est un exemple frappant. Les machines en général, mais aussi l'évolution des espèces, le marché sont des processus sans sujet auxquels les hommes modernes sont confrontés. Selon nous, l'empathie pour ces processus joue un rôle similaire à celui de l'empathie fusionnelle simple pour des personnages mythologiques. Ils nous abstraient du jeu des regards, et nous évitent le danger des empathies fusionnelles concurrentes. On pourrait donc le rapprocher d'une stratégie permettant de limiter la violence, dans une perspective proche de celle de Hirschman.

Dans cette perspective, l'individu moderne se conçoit comme un processus matériel, auquel on peut avoir un accès empathique fusionnel équivalent à celui d'autres processus matériels peuplant le monde moderne. La sensation de soi est un effet de cette configuration matérielle particulière, et donc se passe de la relation aux autres. Cela induit donc la possibilité d'une sensation directe de soi-même, en tant que processus matériel, et donc l'idée d'un accès à soi-même indépendant d'autrui. Ceci constitue aussi un moyen d'éviter les configurations empathiques menant à la violence. Il s'agit finalement d'une stratégie qui exhibe certains points communs avec le totémisme. Le totem de la modernité serait le corps physique ou la machine en général. Ce totémisme se distingue de celui des Australiens et des Indiens en ce que le totem n'a aucune capacité d'empathie.

5.4 Morcellement de la conscience et espaces de création dans les interstices du mensonge

L'idéologie moderne cache mal la réalité de l'autre virtuel miroir, qui reste bien évidemment présent. Car la possession et la maîtrise des choses n'est pas désirée uniquement pour elle-même, ainsi qu'Adam Smith le remarquait déjà. L'avantage qu'elle nous donne au regard des autres est évidemment un moteur beaucoup plus puissant. Ainsi, dans cette perspective, la violence n'est en vérité pas annihilée, elle est plutôt détournée vers la possession et la maîtrise matérielle. Cette violence aurait donc changé de nature, plutôt que diminué. Elle s'exerce indirectement, en ayant des effets indiscutablement positifs sur le confort et la maîtrise matérielles.

Le mensonge du « soi toi-même » est également bien grossier, comme l'a bien remarqué Dupuy. Car s'il est important de développer sa propre personnalité en toute indépendance, il l'est autant de montrer qu'on le fait. C'est sous la pression des autres qu'il faut prétendre qu'on ne tient pas compte de la pression des autres. C'est là une figure bien singulière, qui s'apparente au « double bind » classique : « soyez

spontané ». Il est très important d'avoir l'air de ne pas vivre pour le regard des autres, d'avoir l'air spontané. Mais il est très important que cette indifférence aux autres soit finalement perçue par le regard des autres.

Cependant, peu importe que l'idéologie soit mensongère, si elle rencontre l'adhésion pleine et entière de la communauté, certains de ses effets se font sentir comme si elle était vraie (H. Arendt a eu une réflexion similaire à propos du béhaviorisme). S'assimiler à des processus matériels, sur lesquels ne se porte aucune empathie globale, empêche les individus modernes de se constituer une conscience de leur intériorité. En effet les processus matériels auxquels ils s'identifient se déploient dans des temps et espaces morcelés. On peut considérer par exemple le temps de l'économie, mais aussi les différents temps et espaces des phénomènes physiques. Les actualités télévisées en sont aussi une bonne illustration. Pas d'avenir au delà de la prochaine élection ou de l'incertitude de l'actualité la plus brûlante. Pas de passé au-delà de la croûte insondable des actualités périmées déversées chaque jour après consommation. Le temps de l'actualité est un objet de consommation, il n'en reste que quelques déchets après usage. Se crée ainsi un morcellement de consciences primaires ou d'empathies fusionnelles simples, qui évitent le problème de la définition de soi, et se constituent comme un composite de morceaux d'animalité et de mécanismes, amalgamés de manière quasi aléatoire. Une grande partie de l'art contemporain nous semble témoigner de cette tendance, et exprimer la détresse qui l'accompagne.

Gardons-nous cependant de broser un tableau trop pessimiste, car quelques interstices dans l'idéologie aménagent des espaces de création. Ainsi, il est possible que le mensonge du « soi toi-même » aboutisse à des configurations empathiques plus complexes. La spontanéité contrôlée par le regard d'autrui peut conduire à garder un regard sur soi-même qui veille à ne prendre trop au sérieux ni soi-même ni les autres, dans certaines limites. Ce regard sur soi-même serait un autre généralisé miroir, issu de l'imaginaire social, version « cool » de l'observateur désintéressé d'A. Smith, qui permettrait une cohérence particulière de l'individu post-moderne. Les caractéristiques un peu floues de cet autre miroir autoriserait une certaine latitude dans la définition de cet observateur. Il permettrait aussi une construction progressive de certains de ces contours, ainsi qu'une construction progressive de soi-même en retour. La difficulté majeure de l'exercice est que cet observateur doit rester perçu comme extérieur à soi, ce qui est a priori contradictoire avec le fait de le construire soi-même. Négliger ce point serait retomber dans les travers de l'individualisme « naïf », et le morcellement du temps et de l'espace qui en résulte. Mais cette contradiction n'est pas insurmontable, car l'observateur peut être doté de qualités et de types de comportements sur lesquels nous n'avons pas prise, même si nous sommes conscients d'avoir fait le choix de nous conformer à leur jugement.

Au total, le mensonge central de l'idéologie moderne, celui de l'existence d'un « moi » individuel, semble permettre d'en combattre l'instabilité concurrentielle insupportable, au prix de perturbations graves de la structure du soi. Mais il est

possible d'identifier les germes d'autres virtuels miroirs partagés, sources probables de cohérences nouvelles.

6 Conclusion

Dans le sillage de A. Smith et J.P. Dupuy, nous concevons la conscience de soi comme l'effet de configurations empathiques particulières. Ces configurations composent empathie fusionnelle et distanciée à plusieurs niveaux. Elle permettent le réinvestissement fusionnel d'une intériorité déployée dans le temps. Autrui y joue le rôle d'un point d'appui externe permettant de s'extraire des limites de la conscience primaire. Ces configurations lient donc individu et groupe dans une boucle circulaire où le plus intime de la conscience de soi côtoie l'ensemble de l'édifice social. C'est ainsi qu'en partant d'une réflexion sur le temps vécu, nous avons pu proposer des éléments d'analyse du rôle de la religion et des particularités des sociétés modernes.

Notre conception s'oppose à certains courants des sciences cognitives qui, nous semble-t-il, souffrent particulièrement d'un manque de distance vis-à-vis de l'idéologie moderne. Nous visons plus particulièrement le computationnalisme associé à une modularité massive et à un évolutionnisme réducteur. Les thèses de P. Boyer (Boyer 2001) sur les religions par exemple, s'appuyant notamment sur des travaux de Dawkins et Sperber, se situent dans cette lignée. Ces visions s'inscrivent dans les chimères de l'idéologie moderne : a priori individualiste, relations conçues sous le modèle biologique (contagion). Nous ne contestons pas l'importance de ces mécanismes, mais en ignorant les questions massives que sont la conscience de soi et sa constitution dans une société donnée, ils ne peuvent selon nous offrir qu'une vision biaisée. Dans notre perspective, il s'agit de nouveaux avatars de visions collectives opaques, dont nous avons mis en évidence certains effets néfastes.

Notre prétention à s'affranchir de l'idéologie moderne pourra sembler excessive. Elle se fonde sur la conviction de la singularité de l'individualisme moderne. Tenter de comprendre l'homme en général dans le cadre idéologique de sociétés très particulières nous semble une erreur fondamentale, peut-être dangereuse. Ainsi, cet effort de distanciation nous apparaît indispensable, quel qu'en soit la difficulté.

Selon nous, cette distanciation peut et doit se conformer à un cadre scientifique strict. Un tel cadre exigerait par exemple d'améliorer la rigueur formelle de nos propositions, ainsi que leur lien à des données précises observables. Une étape majeure de cette démarche sera donc de dépasser l'incompatibilité prétendue entre empathie fusionnelle et principes scientifiques, qui n'est selon nous qu'apparente. Peut-être faudra-t-il repousser certaines limites habituelles de la rationalité pour forger les concepts et formalismes rigoureux permettant cette intégration. Ce défi nous paraît des plus importants et des plus stimulants.

7 Références

- Barrow, J.D. 1992. *Pourquoi le monde est-il mathématique ?*. Odile Jacob.
- Boyer, P. 2001. *Et l'homme créa les dieux*. Robert Laffont.
- Damasio, A. 1999. *Le sentiment même de soi : corps, émotion, conscience*. Odile Jacob.
- Deffuant G., 1998. « Les modèles cognitifs à l'épreuve des formes du religieux : proposition de directions de recherche centrées sur l'empathie ». *Intellectica* 1998/1-2, 26-27. pp. 89-109
- Deffuant G., 1997. « L'autonomie est-elle création ou rupture d'une clôture ? tentative d'articulation entre les visions de l'autonomie de F. Varela et de C. Castoriadis ». *Revue internationale de systémique*. Vol. 11, N°5, pp.515-534.
- Dumont L. 1966. *Homo Hierarchicus*. Gallimard.
- Dumont L. 1977. *Homo Aequalis*. Gallimard.
- Dumont L. 1983. *Essais sur l'individualisme*. Le Seuil.
- Dupuy, J.P. 1992. *Introduction aux sciences sociales*. Ellipses.
- Edelman G. 1992. *Biologie de la conscience*. Odile Jacob.
- Eliade M. 1969. *Le mythe de l'éternel retour*. Gallimard.
- Eliade M. 1965. *Le sacré et le profane*. Gallimard
- Fukuyama, F. 1992. *La fin de l'histoire et le dernier homme*. Flammarion.
- Gauchet M. 1985. *Le désenchantement du monde*. Gallimard.
- Girard. R. 1981. *La violence et le sacré*. Grasset.
- Girard R. 1982. *Le bouc émissaire*. Grasset.
- Hirschman A. 1977. *The passions and the interests. Political arguments for Capitalism before its Triumph*. Princeton University Press.
- Husserl E. 1931. *Méditations cartésiennes*. Paris. Armand Colin.
- Gopnik, A. 1993. « How we know our mind : the illusion of first person knowledge of intentionality ». *Behavioral and Brain Sciences*, 16, pp. 1-14 et 90-100.
- Lipovetsky, G. 1983. *L'ère du vide. Essais sur l'individualisme contemporain*. Gallimard.
- Pigman G. « Freud and the history of empathy ». *Int. J. Psycho-Anal.* 76. pp 237-258.
- Pinker, S. 2000. *Comment fonctionne l'esprit*. Paris. Odile Jacob.
- Renaut, A. 1989. *L'ère de l'individu*. Gallimard.
- Scheler, M. 1923. *Nature et formes de la sympathie*. Edition Payot 2002.

Smith A. 1976 [1759]. *Theory of the moral Sentiments*. D.D. Raphael and A.L. Macfie. Oxford University Press

Taylor C. 1989. *Sources of the Self*. Cambridge. Harvard University Press.

Todd E. 2002. *Après l'empire*. Gallimard.

La construction cognitive du temps

Jean-Louis Dessalles (dessalles@enst.fr)
ParisTech Telecom (GET- ENST), 46 rue Barrault
F-75013 Paris, France

Laleh Ghadakpour (ghadakpo@poly.polytechnique.fr)
CREA, Ecole Polytechnique, 1 rue Descartes
F-75005 Paris, France

Résumé

Les êtres humains parviennent à communiquer et à argumenter en tenant compte, avec une aisance spectaculaire, des relations temporelles entre les situations. Pourtant, la plupart des modèles du temps échouent à donner une explication cognitivement plausible de cette performance. L'une des difficultés principales des modèles existants est qu'ils utilisent des ensembles infinis d'instant ou d'intervalles, ce qui est irréaliste du point de vue de la modélisation cognitive. Le modèle que nous esquissons ici propose une approche non-réaliste de la construction cognitive du temps. Il parvient à éviter l'écueil des ontologies temporelles infinies, au prix d'un changement radical dans la manière de considérer la conceptualisation du temps.

mots clés : temps, cognition, infini, cartes temporelles, récursivité.

1. Introduction

Tout modèle visant à rendre compte de l'aptitude humaine à comprendre les relations temporelles exprimées par le langage doit expliquer comment nous parvenons, à partir de notre maîtrise d'une langue d'une part, et de nos mémoires encyclopédiques et épisodiques d'autre part, à localiser correctement les situations, dans le temps, les unes par rapport aux autres. Un tel modèle doit également prédire notre capacité d'effectuer des inférences à partir de cette localisation. L'intérêt de ce problème de modélisation est qu'il porte sur des phénomènes peu ambigus. L'ordonnancement relatif de deux situations est, dans la plupart des contextes, une information binaire : soit A est avant B , soit c'est l'inverse. Toute erreur aura des conséquences probables sur les inférences que l'individu effectuera, notamment en bloquant toute causalité de A vers B , si A est compris, à tort, comme ultérieur à B . L'efficacité des narrations démontre que les individus sont experts dans la compréhension des composantes temporelles des énoncés. La tâche de modélisation est d'expliquer cette expertise.

Nous nous intéressons ici à une modélisation cognitive. L'objectif n'est pas d'imaginer un système théorique permettant de fonder des raisonnements scientifiques sur le temps. Il ne s'agit pas non plus d'explorer la phénoménalité de la perception humaine des dates ou des durées. Il s'agit d'expliquer comment la formation et l'expression des relations temporelles sont *possibles*. Notamment, il nous faut déterminer les contraintes qui portent sur la structure de mémoire où sont stockées les dates et les durées des situations mémorisées ou imaginées. Ensuite, il nous faut comprendre comment cette structure de mémoire peut être lue et utilisée, autrement dit comment elle s'interface avec le langage et le raisonnement. Le problème est délicat, car la modélisation cognitive s'interdit de postuler des structures de mémoire infiniment grandes ou des mécanismes non constructifs, structures et mécanismes qui ne pourraient pas être hébergés par un cerveau humain¹. Cette restriction disqualifie, en tant que modèles cognitifs, la plupart des formalisations qui ont été proposées pour cerner la notion du temps sur le plan technique ou théorique. La réflexion développée dans ce papier va nous conduire à remettre en question certains présupposés classiques concernant la localisation temporelle des situations.

2. Contraintes sur la mémoire temporelle

Une structure nécessairement finie

La difficulté première rencontrée lorsqu'il s'agit de modéliser l'aptitude humaine à communiquer et à raisonner à propos du temps réside dans le choix d'une structure de représentation permettant la localisation temporelle des situations mémorisées ou imaginées. La question à laquelle nous sommes confrontés est de savoir quelles sont les caractéristiques minimales dont une telle structure doit être dotée.

Les représentations classique du temps, par exemple celles que l'on réalise en logique en indiquant la structure d'interprétation par des instants distincts (Prior 1967), ont donné lieu à un nombre considérable de variations. Cependant, ces différents systèmes conservent des similarités fondamentales. Par exemple, les ontologies à base d'instant ou à base d'intervalles se révèlent équivalents (van Benthem 1983).

Il ne s'agit pas ici de seulement définir une structure à partir de ses propriétés. En mathématique, il est courant de définir des structures par un jeu fini d'axiomes. Ainsi, la structure des nombres réels peut être définie par une liste limitée de propriétés d'une relation d'ordre, comme celles de la transitivité et de la continuité. Cette capacité de notre esprit à définir des structures ne signifie pas que ces structures sont matériellement représentées dans le cerveau qui les a conçues. Ainsi, notre cerveau,

¹ Une belle illustration de cette contrainte nous est donnée par le destin de Funes, le personnage fictif décrit par Jorge Luis Borges (*Artifices* 1944), qui finit cognitivement écrasé par le poids de sa mémoire accumulée. On trouvera dans (Luria 1968) un exemple réel approchant.

quoique limité par le nombre fini de ses synapses ou de ses atomes, peut néanmoins concevoir l'infinité continue de l'ensemble des nombres réels. Or, le problème qui nous occupe n'est pas un problème de conceptualisation, mais un problème de modélisation cognitive. *La question n'est pas de savoir ce que notre cerveau parvient à conceptualiser, mais de comprendre les moyens qu'il met en œuvre pour le faire.* Notre cerveau parvient à raisonner et à communiquer à propos du temps. Pour ce faire, il doit utiliser une mémoire temporelle, c'est-à-dire une structure cognitive capable de stocker des relations temporelles entre les situations mémorisées, perçues ou imaginées. En tant que telle, cette structure est supposée "matériellement" représentée. En d'autres termes, un certain nombre de neurones, de synapses et d'atomes sont requis pour chacun des éléments de cette mémoire. La question qui se pose est de déterminer la forme et la dimension de cette mémoire temporelle.

Un premier constat semble être que la mémoire temporelle doit être dotée d'un ordre total². Tout individu accepte que de deux situations passées quelconques A et B, l'une a dû précéder l'autre. Dans le cas où A et B sont susceptibles de se chevaucher, soit leurs débuts D_A et D_B , soit leurs fins F_A et F_B , sont dans un rapport d'antériorité, sauf à accepter une simultanéité parfaite. La situation exclue est celle d'une incomparabilité de principe. En d'autres termes, la structure de la mémoire temporelle est contrainte par notre capacité de comparaison. Si les situations sont, par principe, toutes comparables, donc si la mémoire temporelle est totalement ordonnée, ressemble-t-elle à une ligne, et si c'est le cas, combien cette ligne comporte-t-elle d'éléments ?

Une réponse immédiate à cette question est qu'il s'agit d'une structure finie. Comme la mémoire temporelle doit avoir une représentation matérielle dans le cerveau, il est exclu qu'elle comporte un ensemble infini d'éléments. La conséquence est que la précision avec laquelle nous pouvons conceptualiser le temps est elle-même finie. Il doit exister un grain élémentaire, un atome de durée en deçà duquel nous ne pouvons pas concevoir l'ordonnancement des situations. Les situations qui ne diffèrent que d'une durée inférieure à ce grain doivent être conçues comme simultanés. Or, comme nous allons le voir, le dilemme de la granularité vient de ce que l'observation de notre pouvoir de localisation temporelle contredit l'existence d'un tel grain.

L'absurdité d'un grain de durée

L'existence d'un grain temporel semble entraîner un horizon de précision. Or, notre capacité de comparaison n'est pas astreinte à une telle limitation. Considérons la phase suivante.

² Même si l'on prend en compte l'expression des situations conditionnelles, chaque branche de la mémoire temporelle doit être totalement ordonnée.

Il y a quinze milliards d'années, trois secondes après le début de l'univers, la symétrie entre la matière et l'antimatière s'est brisée.

Le fait qu'un être humain puisse comprendre une telle phrase, ou tout autre phrase construite sur le même modèle, *contredit* l'hypothèse de la granularité. L'hypothèse classique voudrait qu'une même structure de mémoire puisse héberger toutes les situations que nous pouvons conceptualiser, ou au moins les étiquettes temporelles qui leur correspondent, avec une certaine échelle et une certaine précision. Or, pour discerner sur la même structure des événements séparés de quelques secondes et d'autres séparés de milliards d'années, il faut que cette structure contienne au moins un demi-milliard de milliards d'éléments ! L'idée d'une structure de mémoire à l'image du déroulement temporel est absurde, non seulement en raison de ses dimensions prohibitives (ce nombre est trois ordres de grandeur au-dessus du nombre de synapses d'un cerveau), mais également pour la rigidité qu'elle impose : pour comprendre la phrase de notre exemple, il faudrait positionner le début de l'univers au moins à une seconde près. Mais si l'on renonce à ce type de structure, comment expliquer que les individus puissent saisir l'ordonnancement relatif du moment d'énonciation et des deux situations mentionnées, le commencement de l'univers C et la brisure de symétrie B³ ?

Une réponse naturelle consiste à dire qu'un individu qui lit la phrase se situe successivement à deux échelles différentes. Si une précision d'une seconde est requise à la fin de la phrase, pour distinguer le début de l'univers et la brisure de symétrie, elle est inutile, et même inacceptable, au début. L'auditeur non spécialiste de cette phrase n'a que faire qu'il s'agisse de quinze milliards d'années ou de seize, ce qui veut dire qu'il est prêt à tolérer une erreur de $3 \cdot 10^{16}$ secondes ! De plus, le positionnement ultra-précis du commencement C de l'univers sur une échelle absolue est une tâche non seulement hors de portée de la science actuelle, mais de plus sans intérêt pour la compréhension de la phrase de notre exemple.

Accepter l'idée que le sujet humain puisse ainsi se placer à des échelles de temps successives indépendantes est lourd de conséquences. Si l'on renonce à l'idée, fondamentale et communément admise, d'une structure globale servant de référence commune pour positionner les épisodes entre eux, il s'agit d'expliquer comment le repérage temporel est possible.

Notre exemple peut être systématisé en suivant la célèbre procédure dichotomique utilisée par Zénon il y a vingt-quatre siècles. Cette procédure nous amène à considérer une suite décroissante d'instantanés A_i situés entre C et B. Le fait que nous puissions toujours, par la pensée, imaginer une situation située entre deux situations

³ L'énoncé ne prétend pas à l'exactitude par rapport aux sciences physiques. Le lecteur spécialiste en cosmologie pourra rectifier les valeurs temporelles indiquées.

temporellement distinctes qui nous sont données, rend les modèles discrets du temps caduques. Quelle que soit leur utilité d'un point de vue technique, sont dépourvus de plausibilité cognitive.

Si nous considérons que la mémoire temporelle peut être “plongée” dans la structure des nombres réels, qui représente par exemple le temps physique adopté par l'observateur scientifique, alors l'argument de Zénon oblige à considérer des durées de taille zéro. L'hypothèse, pour un i quelconque, de l'existence d'un A_{i+1} entre C et un A_i fait que la suite $(A_i - A_{i+1})$ tend vers zéro. Ceci est dû à la compacité du segment $[C, B]$ du temps physique : la suite A_i admet un point d'accumulation, et comme elle est décroissante, elle converge. Cet argument permet de conclure que les durées que le sujet doit se représenter sont, pour un observateur scientifique, arbitrairement petites en taille. Autrement dit, cet observateur doit non seulement considérer que la mémoire temporelle est infinie, mais qu'en outre elle ne comporte pas de grain. En d'autres termes, il n'existe pas d'horizon de précision dans les durées que nous pouvons concevoir.

L'abandon du réalisme

On pourrait imaginer échapper à l'exigence d'une structure de mémoire infinie en supposant que la procédure de localisation temporelle s'effectue sur une structure externe que l'esprit humain se contente de lire sans l'héberger. Dans une perspective réaliste de ce type, le cerveau humain posséderait ainsi un mécanisme de repérage qui opère sur la structure du temps tel qu'il existe dans le monde extérieur. Nous n'entrerons pas dans les problèmes considérables que pose une telle solution sur le plan épistémologique. Constatons simplement qu'elle ne résout pas le dilemme de la granularité. Pour satisfaire aux exigences du raisonnement de Zénon, la procédure de lecture doit atteindre des précisions arbitrairement grandes. Or, l'exécution d'une telle procédure demanderait un temps non borné. Les humains peuvent sauter à des échelles arbitrairement petites en une seule étape, comme le suggère notre exemple sur le début de l'univers. Une procédure de repérage sur une structure externe est incapable d'une telle opération, car elle requiert un positionnement parfait à chaque étape, ce qui est irréalisable en un temps borné. Dans notre exemple, si le début de l'univers n'est pas localisé de manière parfaite, il n'existe aucune garantie que son positionnement précédera le moment de la brisure de symétrie.

Il ne s'agit pas ici de mettre en question la capacité humaine de concevoir une structure infinie : au contraire, nous allons tenter de montrer comment cette conceptualisation a lieu. En mathématique, une structure infinie peut être décrite par une axiomatique. Cette axiomatique peut être implémentée dans un dispositif artificiel par un programme. Cependant, le temps que mettra un programme de repérage, par exemple pour décider si un nombre qui lui est donné est plus petit que le nombre π , ne peut être borné, sauf si la précision avec laquelle les nombres sont représentés est également bornée, ce qui revient à opter pour un grain de précision.

Ce qui est inaccessible à un dispositif matériel n'est pas d'héberger un programme de repérage dans une structure dense, mais de mettre en œuvre ce programme en un temps borné.

La "zénonisation" des modèles flous du temps

Le dilemme de la granularité nous laisse avec deux options tout aussi absurdes l'une que l'autre : l'existence d'un grain impose une atomicité inacceptable à la mémoire temporelle, tandis que l'absence de tout grain suppose que cette mémoire soit dense et infinie.

On pourrait imaginer d'introduire une imprécision intrinsèque dans la manière dont nous conceptualisons les durées, en imposant par exemple un flou dans la définition des intervalles. Une formalisation intéressante allant dans ce sens nous est donnée par le modèle locologique introduit par de Glas (de Glas 1992). Ce modèle prévoit que les intervalles possèdent un cœur et une ombre, si bien que leur frontière est "épaisse" (de Glas & Desclés 1996). Ce changement d'ontologie temporelle peut laisser supposer que le raisonnement de Zénon est bloqué. Ainsi, la situation A_{i+1} ne pourrait être conçue car les bornes de tout intervalle étant "épaisses", il semble en résulter une imprécision intrinsèque sur les durées qui empêche de séparer les situations C et A_i dès qu'elles sont suffisamment proches. En réalité, l'existence de bornes épaisses pour les durées ne change pas fondamentalement le raisonnement de Zénon. Dans la mesure où la borne possède un cœur, elle possède elle-même des bornes, qui ont elles-mêmes un cœur, et ainsi de suite. Aucune structure physique ne peut engendrer une telle itération. Une remarque analogue s'applique à des modèles qui représenteraient les durées par des segments flous. L'argument de Zénon réfute toute existence de flou absolu. Il est toujours possible de séparer mentalement deux situations, quelle que soit leur proximité temporelle.

La seule solution que nous pouvons envisager pour échapper au dilemme de la granularité consiste à autoriser une réutilisation des emplacements de mémoire. Ainsi, par exemple, les deux relations $A_2 < A_1$ et $A_{K+1} < A_K$ pourraient utiliser les mêmes emplacements m_1 et m_2 . Les situations que Zénon nous demande de considérer n'auraient donc qu'une existence temporaire. Une telle hypothèse a des conséquences qui vont nous amener à revoir radicalement la manière dont les relations temporelles sont cognitivement représentées. Pour que la confusion ne s'instaure pas entre les situations perçues et les représentations temporaires, il nous faudra imaginer deux mémoires temporelles distinctes. C'est le modèle que nous proposons dans la suite de ce texte.

3. Temps qualitatif

Le moyen que nous proposons pour échapper au dilemme de la granularité consiste à considérer deux types de supports de représentation du temps, dont aucun n'a le statut de mémoire globale. La conséquence de ce choix est que l'idée d'un temps

linéaire et dense apparaîtra comme une extrapolation produite par notre cognition plutôt qu'une structure physiquement représentée dans notre cerveau.

La mémoire temporelle à long terme

Le modèle que nous développons (Ghadakpour 2003, Ghadakpour & Dessalles 2003) fait une hypothèse minimale concernant la mémorisation des événements. Ceux-ci sont mémorisés dans une mémoire temporelle à long terme sous forme d'*îlots temporels*. Nous pouvons considérer que ces îlots temporels sont des structures de taille limitée, attachés chaque fois à quelques souvenirs. Pour que les îlots temporels soient exploitables, il faut qu'ils puissent être connectés entre eux, selon les besoins de l'interaction. Les connexions que nous postulons sont de deux types : zoom et antériorité. Le zoom consiste à passer d'un épisode à un deuxième épisode contenu dans le premier. On peut ainsi se souvenir du mariage de sa sœur, puis de là évoquer le souvenir du moment où le buffet a été servi. L'opération d'antériorité permet par exemple au sujet d'être certain que le mariage de sa sœur a précédé son déménagement. La même opération nous permet d'évoquer un événement à partir d'un autre, par exemple le déménagement à partir du mariage.

Il est important de noter que ces opérations de zoom et d'antériorité ne sont pas définies de manière systématique : le choix de l'îlot atteint à la suite d'un zoom ou d'une antériorité peut dépendre de nombreux facteurs, ce qui laisse des possibilités d'adressage par le contenu. Ainsi, l'opération de zoom permet de passer, de manière non systématique et selon le contexte, de l'îlot correspondant au dernier film que l'on a vu à l'une quelconque des scènes que l'on a mémorisées.

Formellement, nous définissons la *mémoire temporelle à long terme* M comme une famille d'îlots I , munie des deux relations d'ordre *partiel* de zoom Z et d'antériorité A : $M=(I,Z,A)$. Le caractère partiel de ces relations empêche que la structure de mémoire s'écroule (*collapse*) en une structure globale totalement ordonnée dense. Insistons même sur le fait que I et les relations A et Z peuvent être extrêmement lacunaires par rapport à ce que fournirait une référence objective. Par exemple, la mémoire que l'on peut avoir des séquences d'un film est loin de reproduire l'ensemble des épisodes, des plans ou des images de ce film, et les séquences mémorisées par un individu ne sont pas toujours directement accessibles les unes à partir des autres.

Cette définition minimale de la mémoire temporelle a le mérite de se prêter à des modèles cognitivement plausibles de la mémoire épisodique (Johnson, Foley, Suengas & Raye 1988 ; Tulving 1999) et d'être compatible avec certains résultats obtenus concernant les représentations spatiales (Tversky 2002). En revanche, on ne voit pas encore comment elle permet la communication des repérages temporels. La communication entre deux individus suppose que chacun dispose de moyens pour amener son interlocuteur à localiser des événements dans sa propre mémoire temporelle. De plus, il faut expliquer d'où vient le sentiment d'un temps linéaire et

dense, sachant qu'une mémoire structurée en îlots ne possède aucune de ces deux propriétés. Pour cela, introduisons la notion de carte temporelle.

Les cartes temporelles

Une *carte temporelle* est une structure comportant une *époque* (ou deux époques co-extensives) et un ou deux *moments*. Ces époques et ces moments peuvent correspondre, à un moment donné, à des durées identifiées à des îlots de la mémoire temporelle. Toutefois, il s'agit d'assignations éphémères qui ne peuvent donc jamais recevoir un caractère objectif. L'idée est que les époques correspondent à des durées considérées de l'intérieur, alors que les moments correspondent à des durées considérées de l'extérieur.

Une carte temporelle résulte de l'application d'un *opérateur de repérage* sur la mémoire temporelle. Le traitement de l'expression du temps dans le langage peut conduire à distinguer six opérateurs distincts⁴ (Ghadakpour 2003). Les deux principaux sont l'opérateur d'inclusion et l'opérateur de séparation. L'opérateur d'inclusion, que l'on peut noter ---o---, exprime qu'un moment est inclus dans une époque. Formellement, les notions de moment et d'époque apparaissent comme des typages propres à l'opérateur qui contraignent l'accès à la mémoire temporelle. L'écriture ---o---($e(i_1), m(i_2)$) exprime trois choses :

- l'îlot i_1 de la mémoire temporelle est considéré comme une époque, ce qui est indiqué par la présence explicite du foncteur $e()$, qui bloque momentanément⁵ l'application de la relation d'antériorité A à i_1 .

- l'îlot i_2 de la mémoire temporelle est considéré comme un moment, par le foncteur $m()$, ce qui bloque momentanément l'application de la relation de zoom Z à partir de i_2 .

- les îlots i_1 et i_2 sont en relation de zoom : $Z(i_1, i_2)$.

De la même manière, l'application de l'opérateur de séparation, que l'on note o----o, exprime que deux moments sont séparés par une époque. L'écriture o----o($m(i_1), e(i_2), m(i_3)$) stipule, outre le typage en moments et époque, que i_1 et i_3 sont en relation d'antériorité $A(i_1, i_3)$.

La carte qui résulte de l'application d'un opérateur de repérage à des îlots instanciés possède une *échelle*, qui force les îlots à occuper des durées du même ordre de grandeur. L'échelle provient le plus souvent de l'ancrage des époques dans la mémoire temporelle. L'échelle peut aussi être donnée explicitement, comme lorsque l'énoncé stipule que la brisure de symétrie se situe 'trois secondes' après le début de

⁴ Les six opérateurs sont la séparation, l'inclusion, le début, la fin, la (co-)extension et la simultanéité.

⁵ Cet aspect momentané du blocage contribue à conférer au modèle son aspect procédural.

l'univers. Lorsque ces éléments sont absents, l'échelle peut encore être contrainte par la surface temporelle associée au moment. Ainsi, l'expression *après son voyage en Chine* ne peut référer à une durée d'une milli-seconde. Enfin, comme nous allons le voir, l'échelle peut, dans certains cas, rester non spécifiée.

Les cartes temporelles offrent un moyen de raisonner sur la mémoire temporelle. Ainsi, notre exemple sur la brisure de symétrie se traite par l'application successive de deux opérateurs de séparation. On obtient une première carte $o\text{---}o(m(c),e(h),m(p))$ séparant le présent p du commencement de l'univers c ⁶. L'échelle de cette carte est donnée par l'idée qu'on se fait de l'histoire h de notre univers. Même s'il faut être astrophysicien pour avoir une intuition précise de ce que peut être une échelle de l'ordre du milliard d'années, personne ne confond cette durée avec celle d'une vie humaine ou celle d'un saut en parachute. Contrairement à ce qu'exigent la plupart des modèles de la temporalité, l'application de la carte précédente et l'appréhension de son échelle ne nécessitent pas que tous les instants intermédiaires soient représentés dans la mémoire temporelle. Elle ne nécessite pas non plus que l'ensemble des événements stockés dans cette mémoire qui pourraient se situer dans cette période (*e.g.* la naissance de la terre, la disparition des dinosaures, etc.) soient accessibles à partir des bornes de la carte par la relation A . La seule chose exigée pour le traitement de l'exemple est que le début de l'univers soit séparé du présent, et que cette séparation fournisse une échelle de temps. Pour une personne ignorante en astrophysique, l'îlot h peut toutefois rester très peu instancié, ainsi que l'échelle correspondante⁷. La suite de l'exemple se traite par une deuxième application de l'opérateur de séparation. Cette fois, la carte obtenue $o\text{---}o(m(c),e,m(b))$, qui sépare le commencement de l'univers et la brisure de symétrie, est à une échelle de l'ordre de la seconde. L'auditeur non physicien n'a généralement pas d'intuition de l'échelle de cette carte, qui est donnée explicitement dans l'énoncé. Ceci est traduit par la mention d'une époque e non instanciée dans la mémoire temporelle. Le caractère partiel de la relation A , et l'impossibilité de comparer à des échelles différentes, fait que les deux échelles de notre exemple restent cognitivement incommensurables.

Le modèle à l'épreuve de la zénonisation

La caractéristique fondamentale de notre modèle réside dans la possibilité d'appliquer *systématiquement* les opérateurs de repérage, qui s'oppose au caractère

⁶ Le présent p et le début de l'univers d sont ici des îlots que nous offre notre mémoire temporelle, et certainement pas des événements objectifs, quels que soient les moyens que l'on imaginerait pour accéder à cette connaissance objective.

⁷ Certaines personnes pourront ainsi mélanger les millions et les milliards d'années, chose qui est impensable pour qui a quelques connaissances en astrophysique et, par exemple, en paléontologie. Toutefois, la compréhension de la phrase de notre exemple ne nécessite rien de plus que la perception d'une durée très au-delà des durées associées aux souvenirs (Johnson *et al.* 1988).

non systématique des relations A et Z . Le contraste s'observe dans le raisonnement dichotomique de Zénon. Lorsque Zénon nous demande d'imaginer une situation qui se place entre le début de l'univers et la brisure de symétrie, nous appliquons successivement un opérateur de séparation $o\text{---}o(m(c),e,m(b))$ qui produit une époque e , puis un opérateur d'inclusion $\text{---}o\text{---}(e,m)$ qui produit un moment m . A ce stade, pour la plupart des auditeurs, ni l'époque e , ni le moment m n'ont de contrepartie dans la mémoire temporelle, car le graphe des relations A et Z ne contiennent aucun épisode permettant d'ancrer e et m . Pourtant, cela ne nous empêche pas de comprendre la suite du raisonnement de Zénon, car rien ne s'oppose à une nouvelle application des opérateurs de séparation $o\text{---}o(m(c),e,m)$ puis de nouveau $\text{---}o\text{---}(e,m)$. C'est à dessein que nous n'indiquons pas les objets e et m . L'hypothèse est que seule la mémoire temporelle peut conserver, et donc distinguer, des épisodes et des durées. Nous faisons donc l'hypothèse que chaque carte se substitue à la précédente, autrement dit *qu'une carte chasse l'autre*. Dans l'approche procédurale qui est la nôtre, les arguments des opérateurs de repérage doivent être considérés comme des registres, si bien que leur existence n'est qu'éphémère. C'est ainsi que le modèle parvient à prédire le bouclage cognitif auquel le raisonnement de Zénon conduit inmanquablement : si rien ne distingue les objets e et m d'une itération à l'autre, le raisonnement peut se poursuivre à l'infini (la sortie de cette boucle suppose évidemment un détecteur de boucle, qui n'est pas représenté dans le modèle). Noter cependant que, bien que l'époque e et le moment m soient éphémères, ils subsistent tant qu'ils ne sont pas remplacés par une nouvelle époque ou un nouveau moment respectivement. Cela permet de conserver la relation de précédence entre $m(c)$ et e pour qu'elle soit héritée entre $m(c)$ et le nouveau m inclus dans e . Nous pouvons traduire cette propriété dans le cas général par :

$$o\text{---}o(m(i_1),e(i_2),m(i_3)) \wedge \text{---}o\text{---}(e(i_2),m(i_4)) \supset o\text{---}o(m(i_1),e(i_5),m(i_4))$$

Autrement dit, l'application successive d'une séparation puis d'une inclusion permet systématiquement que le premier et le dernier moment obtenus dans cet enchaînement soient à leur tour séparables. Cette relation reste valable lorsque les moments et les époques ne sont pas ancrés dans la mémoire temporelle. Des relations analogues existent pour les autres enchaînements d'opérateurs.

Résumé

Nous venons ainsi de montrer comment notre modèle parvenait à éviter les difficultés liées à des structures infinies ou à des procédures dont le temps d'exécution n'est pas borné. Ce résultat est obtenu par :

- o la distinction entre, d'une part, la mémoire temporelle, qui contient les épisodes et les durées mémorisées, et d'autre part, les registres d'une carte temporelle (moments et époques) sur lesquels s'appliquent les opérateurs de repérage.

- o le caractère éphémère de ces registres d'opérateurs, dû au fait qu'ils sont en nombre limité. Notre modèle peut fonctionner avec deux registres d'époque et deux registres de moment.
- o la possibilité que les registres ne soient pas toujours ancrés dans la mémoire temporelle.

Un tel cadre, dans lequel le temps appréhendé par le raisonnement est en partie découplé de la représentation des événements, offre un moyen de résoudre le dilemme que nous avons mentionné au début de ce papier. D'un côté, la structure de mémoire peut être grossièrement discrète et parcellaire, ce qui évite l'absurdité d'une structure matérielle infinie. D'un autre côté, le modèle ne requiert pas de procédure itérée de manière non bornée : il peut accepter une limitation du nombre d'applications successives des opérateurs (par exemple par un détecteur de boucle) sans contraindre l'échelle de la carte finale obtenue. C'est la possibilité d'appliquer systématiquement les opérateurs de séparation et d'inclusion qui donne l'illusion, respectivement, de la linéarité et de la densité.

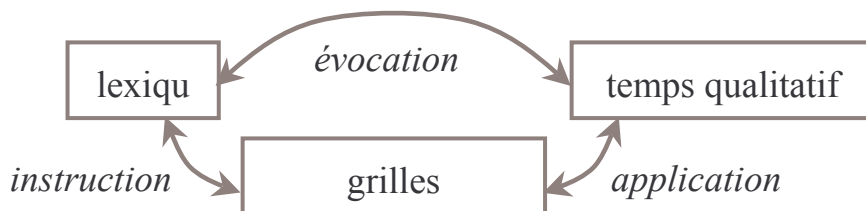
4. Le rôle des cartes temporelles dans l'interprétation des énoncés langagiers

Le modèle que nous venons de décrire constitue une solution, à nos yeux minimale, pour résoudre certains paradoxes de la représentation cognitive du temps, notamment ce que nous avons appelé le dilemme de la granularité. En postulant un système de cartes sans ontologie globale, nous avons remis en question l'un des présupposés fondamentaux commun aux modèles classiques de représentation du temps. Il s'agit maintenant de montrer que le modèle fonctionne, notamment en le soumettant à l'épreuve de la construction du sens des énoncés langagiers.

Nous devons pour cela indiquer comment les deux systèmes que nous avons distingués, le système du temps qualitatif et le système des grilles temporelles, fonctionnent conjointement pour permettre le repérage et les inférences que le langage permet à propos du temps. Nous partons du fait que certains éléments lexicaux d'un énoncé peuvent évoquer, par association, des épisodes mémorisés ou imaginés, ou des scènes prototypiques. Ainsi, dans la phrase avant le repas, elle est sortie pour acheter des cigarettes, le mot repas peut évoquer l'épisode du repas qui vient d'avoir lieu. D'autres éléments lexicaux peuvent infléchir ces associations. Les mots hier, avant, ensuite, déjà, ancien, quand, pendant, *etc.*, ainsi que certaines marques morphologiques comme le temps verbal, donnent des indications précises sur la manière d'interpréter d'autres mots de l'énoncé dans lequel ils interviennent. La situation indiquée par le syntagme le repas d'hier soir ne doit pas être confondue avec celle indiquée par le syntagme le repas de ce midi. La présence du mot avant, dans le syntagme le repas avant la réunion, suggère que le repas dont il est question a précédé la réunion. Ces indications sont précisément ce qu'apportent les grilles temporelles et ce que ne permettent pas, à eux seuls, les mécanismes associatifs du temps qualitatif. Selon notre modèle, les morphèmes temporels forcent l'application d'une carte

temporelle. La carte fournit non seulement la direction dans laquelle aiguiller nos associations, mais également l'échelle à laquelle effectuer cette recherche associative.

Nous pouvons résumer l'organisation de la procédure de localisation temporelle par le schéma suivant.



Certains mots du lexique sont associés à des instructions pour le déclenchement de grilles temporelles. Ainsi, en français, le mot *pendant*, de même que la marque de l'imparfait, convoquent une époque. Le passé simple, en revanche, convoque un moment. À partir de ces instructions, l'auditeur est capable de former la grille temporelle appropriée (Ghadakpour 2003 ; Ghadakpour & Dessalles 2003).

Le caractère procédural du modèle permet, par exemple, d'expliquer la levée de certaines ambiguïtés des relations temporelles dans le langage. C'est le cas lorsque l'échelle des cartes à considérer contraint l'interprétation de la phrase ainsi que les inférences auxquelles elle donne lieu. L'interprétation de la phrase *c'est Pierre qui prépare le repas* peut, selon le contexte, avoir les formes suivantes.

- (a) Pierre est en train de préparer le repas ;
- (b) Pierre va préparer le prochain repas ;
- (c) Pierre prépare habituellement les repas ;

Une telle ambiguïté est difficile, voire impossible à expliquer dans les modèles linguistiques classiques de la temporalité. La marque du présent portée par le verbe est ambiguë en français. Si l'on préfixe la phrase ci-dessus par les expressions *en ce moment précis*, *aujourd'hui* ou *ce mois-ci*, on obtient respectivement les interprétations (a), (b) et (c), cette fois-ci de manière non ambiguë. Dans notre modèle, ce phénomène s'explique par un mécanisme en deux temps, qui implique successivement deux cartes temporelles.

Premier temps : l'emploi du présent, en français, oblige à appliquer un opérateur d'inclusion ---o--- contenant un moment de référence, en général le moment d'énonciation⁸. Appelons *PRÉSENT* l'époque qui figure dans cette carte. L'échelle de

⁸ Le temps du présent, en français, peut être également employé pour le futur proche. Ainsi, on peut dire *jeudi prochain*, *c'est Pierre qui prépare le repas*. Le présent s'emploie aussi lorsque les interlocuteurs se situent mentalement à un moment donné du passé ou du futur, comme cela est courant dans les narrations.

la carte détermine si *PRÉSENT* correspond, dans la mémoire temporelle, à une seconde, un jour, un mois ou tout autre durée.

Deuxième temps : l'époque *PRÉSENT* ainsi déterminée est utilisée dans une carte où intervient la situation décrite par le groupe verbal. Généralement, il s'agit d'une carte d'extension ===== qui impose la co-extension de *PRÉSENT* avec l'époque ancrée dans la situation décrite par le groupe verbal.

Ainsi, l'ambiguïté des phrases au présent est rendue, dans notre modèle, par le choix de l'échelle de la première de ces deux cartes. Si l'échelle est telle que *PRÉSENT*, par exemple, est en deçà d'une heure, l'interprétation (a) pourra être préférée. En revanche, si l'échelle est d'un mois, ce sera (c) qui s'imposera, car la co-extension d'un repas et d'un mois impose la répétition de l'événement du repas. Le modèle explique également la possibilité de l'interprétation (b). Si *PRÉSENT* est de l'ordre de la journée, les interprétations (a) et (c) sont bloquées, car *PRÉSENT* ne peut être co-extensif, typiquement, ni avec la préparation du repas, ni avec sa répétition. Le présent doit être interprété comme un futur proche, ce qui convoque, non un opérateur d'extension, mais un opérateur de séparation.

Les explications qui précèdent reposent sur le fait que l'échelle qui permet d'assigner une durée à *PRÉSENT* est déterminée par le contexte, c'est à dire par le choix des îlots pertinents dans la mémoire temporelle. Le même phénomène a lieu dans le cas spatial : le mot *ici* peut signifier, selon le contexte, la pièce, la ville ou le pays où l'on se trouve. Le contexte, dans le cas temporel, inclut les durées typiques des éléments mentionnés dans la phrase. Dans la phrase *c'est Sydney qui organise les Jeux Olympiques*, les interprétations (a), (b) et (c) concerneront des durées différentes de celles de notre exemple du repas.⁹ En d'autres termes, le modèle renvoie le contrôle du choix entre (a), (b) et (c) à la détermination des îlots temporels pertinents.

L'exemple qui précède nous a permis d'illustrer comment le caractère procédural de la construction des relations temporelles permettait non seulement d'échapper aux difficultés théoriques liées à la représentation du temps, mais présentait également la souplesse requise pour l'interprétation des énoncés langagiers en contexte.

5. Conclusion

Le dilemme de la granularité, nous l'avons vu, limite gravement la plausibilité cognitive des modèles classiques de la temporalité, essentiellement en raison de leur caractère statique. À partir du moment où l'on cherche à positionner sur une même

⁹ Dans ce cas, l'interprétation répétitive risque d'être bloquée pour des raisons pragmatiques, car l'interlocuteur sait que l'organisation des Jeux Olympiques est tournante. On peut toujours forcer l'interprétation, comme dans la phrase *depuis vingt ans, Sydney organise les Jeux Olympiques* qui, au niveau sémantique, reçoit bien une interprétation répétitive. C'est parce que cette interprétation réussit au niveau sémantique que l'incohérence peut être décelée au niveau pragmatique.

structure temporelle tous les événements susceptibles d'être évoqués par le discours, cette structure est nécessairement (localement) linéaire et dense. Si l'on se soucie d'utiliser un tel modèle pour représenter une interaction impliquant des acteurs matériels, artificiels ou humains, on se trouve confronté à l'aberration d'une structure cognitive infinie ou d'une procédure de "lecture" non bornée. Nous avons évité un tel résultat en renonçant au caractère statique et global de la représentation. L'introduction de l'aspect procédural dans la formalisation ouvre la voie à la possibilité de *construire* les relations temporelles, tout en préservant l'explication des capacités inférentielles.

Le modèle qui vient d'être esquissé ici, et dont on trouvera une version plus complète dans (Ghadakpour 2003), présente des caractéristiques originales qui lui confèrent certains avantages. Parmi ces caractéristiques, la plus fondamentale est la séparation entre la structure de mémoire temporelle et le médium minimal, exprimé en termes d'époques et de moments, qui permet le repérage. Cette séparation permet à la mémoire temporelle d'être fortement lacunaire, ce qui évite au modèle de tomber dans le défaut, rédhibitoire d'un point de vue cognitif, d'une structure infinie lue par une procédure non bornée. Le caractère lacunaire de la mémoire temporelle n'empêche pas que les opérateurs de repérage puissent s'appliquer et s'enchaîner de manière systématique, même lorsque l'ancrage dans la mémoire temporelle fait défaut.

Notre modèle est susceptible de donner un cadre cognitivement plausible à certains modèles linguistiques de la temporalité, avec lesquels il présente une certaine compatibilité (Reichenbach 1947 ; Gosselin 1996). Notre modèle, avec ses six opérateurs de grille et ses deux relations d'ordre qualitatives, se veut minimal. En particulier, il évite de postuler des mécanismes d'exception ou des hiérarchies de priorité pour gérer les conflits entre structures (Ghadakpour 2003).

Notre approche procédurale de la formalisation du temps demande bien sûr à être testée et étendue. Elle demande à être plus complètement testée sur le plan linguistique, en vérifiant que les cas d'enchaînement d'opérateurs explicitement prévus par le modèle permettent de traiter l'ensemble des relations temporelles exprimées par le langage. La démarche demande aussi à être étendue à l'ensemble des relations sémantiques. Un premier pas dans ce sens peut être trouvé dans (Ghadakpour 2003). L'objectif est de parvenir à une construction du sens qui puisse fonctionner en présence de connaissances lacunaires. Notre conviction est que les modèles qui reposent sur l'emploi d'ontologies fixes, globales et complètes¹⁰ peuvent

¹⁰ Le mot complet s'applique par exemple aux systèmes vérificationnistes, notamment les systèmes qui, se plaçant dans l'hypothèse d'un 'monde fermé', décident de la fausseté d'un prédicat sur la base de l'absence d'un n-uplet dans le graphe d'une relation.

être reformulés sous une forme procédurale plausible qui évite de considérer des structures infinies ou des procédures de vérification non bornées.

Références

- De Glas, M. (1992). "A local intensional logic". In , *International Conference on algebraic logic and their computer science applications*. Warsaw : Stefan Banach Mathematical Institute.
- De Glas, M. & Desclés, J-P. (1996). "Du temps linguistique comme idéalisation d'un temps phénoménal". *Intellectica*, 23(2), 159-192.
- Ghadakpour, L. (2003). Le système conceptuel, à l'interface entre le langage, le raisonnement et l'espace qualitatif: vers un modèle de représentations éphémères. Paris : Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique.
- Ghadakpour, L. & Dessalles, J-L. (2003). "Modèle procédural du repérage temporel". In B. Chaib-Draa & A. Herzig (Eds), *Modèles formels de l'interaction - Actes des journées*. Toulouse : Cepaduès Editions, 267-270.
- Gosselin, L. (1996). La sémantique de la temporalité en français - Modèle calculatoire et cognitif. Duculot.
- Johnson, M. K., Foley, M. A. & Suengas, A. G. (1988). "Phenomenal characteristics of memories for perceived and imagined autobiographical events". *Journal of Experimental psychology: General*, 117(4), 371-376.
- Luria, A. R. (1968). *The mind of a mnemonist*. Cambridge, MA : Harvard University Press, ed. 1987.
- Prior, A. (1967). Past, present and future. Oxford : Oxford University Press.
- Reichenbach, H. (1947). Elements of symbolic logic. New York : Macmillan Co..
- Tulving, E. (1999). "On the uniqueness of episodic memory". In L-J. Nilsson & H.J. Markowitsch (Eds), *Cognitive neuroscience of memory*. Göttingen : Hogrefe & Huber Publishers, 11-42.
- Tversky, B. (2002). Cognitive maps, cognitive collages, and spatial mental models. Paris : Journée 'représentation de l'espace', Collège de France, 31 mai.
- van Benthem, J. (1983). The Logic of Time: a model-theoretic investigation into the varieties of temporal ontology and temporal discourse. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, ed. 1991.

Le temps de la réflexion et le temps du calcul dans les simulateurs multi-agents

Vincent Ginot, Hervé Richard, Nicolas Kim Nguyen-Van

INRA, unité de biométrie d'Avignon,

Domaine St Paul,

84 914 Avignon Cedex 9, France

ginot@avignon.inra.fr ; richard@avignon.inra.fr

Résumé

L'essor de la modélisation individu-centrée et des systèmes multi-agents s'accompagne progressivement d'une offre logicielle destinée à aider informaticiens et modélisateurs à les construire et les utiliser. Mais une contrainte forte de ce type de modélisation est le coût calcul et le coût mémoire qu'il entraîne, au point qu'une limite pratique, souvent atteinte dans le domaine de la dynamique des populations, est la durée d'un pas de temps ainsi que le nombre total d'agents que l'on peut raisonnablement simuler. Cette contrainte est d'autant plus cruciale que ces systèmes ne possèdent aucune solution analytique susceptible de guider l'étude de leur comportement. Pour connaître ce dernier, voir même pour simplement vérifier le bon fonctionnement d'un SMA, le seul moyen est de multiplier les simulations pour explorer l'espace des possibles. Et cela devient vite problématique si une simulation demande quelques heures voire quelques jours. La vitesse d'exécution dépend de la complexité des agents et de l'intensité de leurs échanges, mais elle dépend aussi pour une bonne part des choix architecturaux de la plate-forme de simulation. Et on peut penser que cette contrainte sera d'autant plus pesante que la plate-forme sera dédiée à des utilisateurs moins informaticiens. C'est la difficulté que nous rencontrons avec Mobidyc, une plate-forme multi-agents dédiée à la construction de modèles individus-centrés en dynamique des populations. Cette plate-forme vise un public de biologistes ou d'écologistes souhaitant rapidement prototyper des modèles, un peu comme ils le feraient dans le domaine des simulations à base d'équations différentielles avec des logiciels comme Stella, Matlab-SimuLink, ou Model Maker. Ceci sans compétences particulières en informatique. Le principe en est une programmation par composants : l'utilisateur définit l'état et le comportement de ses agents en y ajoutant des composants prédéfinis et paramétrables. Ces composants peuvent représenter des tâches complètes, par exemple un déplacement ou une reproduction, ou bien représenter de manière

plus élémentaire des "primitives" de tâches, sortes de sous-actions que l'on enchaîne pour définir des tâches plus complexes. Lors de sa conception, la plateforme ne sait donc pas si elle travaillera sur des truites ou sur du blé, ni quel sera le nom des variables définissant les états ou le nom des tâches définissant les comportements. L'important est que l'utilisateur puisse immédiatement tester un nouvel agent, activer ou désactiver ses différentes tâches, revenir assembler de nouvelles tâches au moyen des primitives, bref construire son modèle tout en l'exécutant pour le tester. La conséquence en est un module d'exécution qui mobilise d'importantes ressources à manipuler et à mémoriser des quantités d'objets forts utiles en phase de mise au point mais forts encombrants en phase d'exécution.

Du point de vue architectural, on peut donc se demander s'il ne serait pas souhaitable de séparer deux étapes dans la vie d'un modèle, la phase de mise au point, et la phase d'utilisation. La première demande de pouvoir exécuter le modèle de manière aussi interactive que possible, la deuxième aussi rapidement que possible, et les deux semblent difficilement compatibles. Idéalement, pour la phase d'utilisation, il faudrait réécrire le simulateur en fonction du modèle que l'utilisateur vient de définir. Et au fond pourquoi pas ? Dans le cadre d'une programmation par composants cette gageure semble envisageable. L'idée de base est extrêmement simple : si des composants sont capables de définir entièrement (ou quasi-entièrement) le comportement des agents, ces composants devraient être capables d'écrire un code d'exécution optimisé qui tienne compte de la manière dont l'utilisateur les a agencés et paramétrés. La principale difficulté vient de la nécessaire simplification du code et de la coordination des morceaux de code en provenance des différents objets. Car il s'agit d'obtenir un code aussi concis que possible et qui ne reproduise pas l'implémentation dont ils sont issus. Sinon le progrès ne serait pas très grand.

Nous nous proposons de vous exposer le travail que nous avons initié sur ce thème, en essayant de tirer parti d'un travail en cours de finalisation sur la sérialisation XML des modèles individus-centrés développés sous Mobidyc. La procédure comprend trois modules.

Le premier est écrit en Smalltalk, le langage utilisé par Mobidyc. Il assure la sérialisation XML des agents au moyen de l'API DOM. Le deuxième, toujours en Smalltalk, réinstancie les objets Mobidyc à partir de leur descriptif XML pour régénérer le modèle original. Le troisième, en Java, instancie dans un premier temps des objets de même type que les objets Mobidyc. Ces objets sont ensuite exécutés, et ils produisent le code Java "optimisé". Ce code est ensuite compilé et associé au noyau d'exécution Java. Les simulations peuvent alors être lancées en Java.

Les premiers essais semblent prometteurs. Nous avons testé le concept sur deux modèles très simples. Le premier met à l'épreuve les procédures d'instanciations et de gestion de la mémoire : chaque individu possède une

probabilité de survie de 0.5 mais donne naissance à un nouvel individu à chaque pas de temps. La population reste donc stable. Le deuxième teste les communications entre agents : à chaque pas de temps, chaque agent interroge un attribut de tous les autres agents et met son état à jour en fonction de l'état de tous les autres agents. Il n'y a ni naissances ni mortalité, la population reste donc stable aussi. Les deux modèles sont construits sous Mobidyc, sérialisés en XML, puis recompilés automatiquement en Java (JDK 1.4 sous Linux/Mandrake). Nous lançons ensuite les simulations en faisant varier le nombre d'individus de 100 à 100 000 pour le modèle 1 et de 100 à 10 000 pour le modèle 2. Les gains de vitesse vont d'un facteur 10 à 70, et sont globalement plus importants sur le modèle 1. Ces chiffres sont cependant susceptibles de bouger car le moteur Java n'inclut encore aucune gestion de mémorisation des résultats (mémorisation désactivée sous Mobidyc lors des tests), ni aucune structure pour lire des expériences simulatoires et gérer les paramètres qui seront rendus variables au cours des simulations. Il ne sait donc que répéter la même simulation.

Inversement, aucun travail d'optimisation n'a encore été effectué sur le code alors que nous avons déjà bien travaillé cette question sous Mobidyc. Enfin nous utilisons la configuration standard de la machine Java : elle n'est sans doute pas optimale pour les grands nombres d'agents. La sérialisation XML des modèles était indispensable, ne serai-ce que pour assurer une certaine indépendance des modèles vis-à-vis de la plate-forme Mobidyc et d'améliorer leur pérennité. Elle ouvre en outre des possibilités nouvelles en matière d'indépendance entre modèle et plate-forme à travers cette possibilité de réécriture de code à la volée. Si cette idée devait aboutir, il ne serait alors peut-être pas totalement irréaliste d'imaginer adapter le code produit à telle ou telle plate-forme existante, l'enrichissant ainsi d'un mode de programmation des comportements par composants. Tout en étant bien conscient des difficultés : d'une plate-forme à l'autre, bien des choix architecturaux différents, ne serai-ce que dans la manière dont les agents communiquent. Mais ces choix ne devraient a priori pas transparaître dans les descriptifs XML des modèles.

Nous pourrions ensuite essayer de conclure en revenant sur la question du temps : dans la démarche modélisatrice, faut-il séparer le temps de la conception du temps des calculs, et cela a-t-il une incidence sur l'architecture de nos simulateurs ?

Mots clefs : SMA, XML, sérialisation, architecture

La ville, un système spatio-temporel complexe en pleine mutation

Luc Gwiazdzinski

luc.gwiazdzinski@maisondutemps.asso.fr

Olivier Klein

klein@lorraine.u-stras.g.fr

Laboratoire Image et Ville

CNRS/Université Louis Pasteur

3, rue de l'Argonne F-67000 StrasBourg

Maison du Temps et de la Mobilité

7, rue Plumeré - F-90000 Belfort

*« Ce n'est pas le temps qui manque,
c'est nous qui lui manquons ».*

Paul Claudel

Bouchons sur les grandes arcades, transports en commun tantôt surchargés, tantôt à vide, attentes interminables aux caisses de supermarchés ou au contraire des magasins sans affluences ... sont autant d'exemples qui témoignent d'une vie urbaine rythmée. A cette fréquentation des lieux changeante dans le temps, se superposent des flux à périodicités variables fonction du ut des déplacements : résidence-travail, résidence-étude, résidence-shopping, résidence-divertissement ...

Si l'on se place dans le cadre d'un urbanisme fonctionnel, où chaque quartier de la ville se définit par une fonction particulière et des activités spécifiques dominantes (zones commerciales, industrielles ou résidentielles par exemple), on se retrouve face à un partage des lieux et de leurs heures d'utilisation. Ainsi, selon les moments de la journée, tel quartier se vide et tel autre se remplit.

Ce schéma simplifié de la vie urbaine est aujourd'hui en pleine mutation. Champ de tension, la ville est à présent traversée par les contradictions de la société contemporaine. De nouveaux rapports à l'espace et au temps s'établissent. L'évolution de la durée du temps de travail et par conséquent les transformations des rythmes de vie sont les principaux facteurs à l'origine de ces changements. Néanmoins, ceux-ci se heurtent à la stabilité horaire des équipements et des services urbains qui restent figés. La demande urbaine apparaît modifiée alors que paradoxalement l'offre reste inchangée.

La ville, véritable organisme vivant et objet d'étude complexe en pleine mutation, doit être appréhendée par une approche systémique dans ses dimensions spatiales,

temporelles et thématiques. Ceci nous oblige à définir un cadre conceptuel considérant la ville comme une entité à quatre dimensions (deux spatiales x, y, une thématique z et une temporelle t).

Pour approcher cette complexité du système, des méthodes rigoureuses de construction et de structuration des données ainsi que des méthodes de représentations cartographiques doivent être mises en place.

1. Le système complexe urbain

L'approche en terme de système permet d'appréhender la ville comme « un ensemble d'interactions entre acteurs localisés qui utilisent continuellement à l'échelon de la ville entière des différenciations géographiques, une configuration d'ensemble des réseaux et des quartiers ».

Les interactions entre les individus et les organisations par l'intermédiaire de moyens de communication permettent d'assurer les grandes fonctions du système urbain : utilisation d'énergie ; élimination des déchets ; production ; consommation ; administration ; culture et loisirs ; communication et transports ; protection et sécurité.

Ces fonctions se matérialisent dans la ville par des structures différenciées, des édifices et bâtiments : les logements, les entreprises, les commerces, les réseaux de transport, les réseaux de communication, le stockage de l'énergie et des denrées alimentaires, matériaux les plus divers, des informations ou de l'argent.

Ces différents organes de la ville se regroupent souvent en quartiers : quartiers d'ordres, quartiers des affaires, des spectacles, des universités, quartier industriel ou commerçant, quartier des ministères, des musées, et aussi en espaces verts. Cet ensemble de structures différenciées qui constitue la matérialité urbaine permet d'assurer les grandes fonctions du système urbain vis-à-vis de son espace intérieur et extérieur.

Néanmoins, le temps quotidien, celui qui rythme les activités urbaines, n'est pas présent de manière explicite dans le système urbain. La complexité de cet objet spatio-temporel ne peut être appréhendée qu'en décomposant le système selon les objectifs suivant :

- mesurer, comparer les temporalités des institutions, de l'activité économique, des transports, etc.
- mesurer le fonctionnement effectif du système (fréquentations);
- identifier et évaluer les besoins des acteurs ;
- identifier et recenser les ajustements et les dysfonctionnements entre l'offre et la demande à la fois dans l'espace et dans le temps.

Une approche possible consiste alors à définir la ville comme l'imbrication de sous-systèmes, dotés chacun de logiques de fonctionnement et de transformation,

mais qui s'articulent les uns avec les autres selon des relations complexes de causalité :

- Un *système de localisation* : objet de prédilection de l'économie urbaine, il s'identifie fréquemment encore à la représentation de la ville que se donnent les économistes. Il désigne principalement l'utilisation du sol, que ce soit aux fins d'un usage direct (voirie, espaces verts, etc.) ou comme support d'immeubles érigés dans la troisième dimension de l'espace. Le système de localisation sera repéré par une double série de caractéristiques :
 - celles qui le décrivent dans sa matérialité, à trois dimensions, d'espace construit ;
 - celles qui définissent la destination fonctionnelle du sol et des immeubles et qui, le cas échéant, précisent leurs valeurs marchandes.
- Un *système de déplacement* : celui-ci est constitué tout à la fois des flux de liens et de personnes qui parcourent la ville et de ce qu'il est convenu d'appeler le système de transports, qui en constitue le support.
- Un *système de pratiques et de relations sociales des habitants* : les activités de la vie quotidienne s'inscrivent dans un mode de fonctionnement de la société. Ainsi le travail, les activités ménagères, les achats, les loisirs, etc. se déroulent-ils dans le cadre d'une certaine organisation sociale de la production, de la consommation ou des services collectifs. Le système de pratiques et de relations sociales, qui font de la ville autre chose qu'un espace minéral inscrit sur le sol, désigne donc le déroulement des activités de citoyens, scandé par l'organisation de la société urbaine.
- Un *système horaire* : celui-ci est constitué de tous les rythmes temporels existant dans la cité à des échelles multiples (heure, journée, semaine, saison, année ...).

Cette déconstruction systémique est un préalable nécessaire à l'approche spatio-temporelle du système urbain. Elle nécessite le développement d'une nouvelle approche et de nouveaux outils pour penser, organiser et gérer la ville. Ce sont les interactions entre les sous-systèmes qui permettront ensuite d'expliquer pour l'essentiel le fonctionnement spatio-temporel de la ville.

2. Nécessité et difficultés d'une approche spatio-temporelle

Jusqu'ici, la globalité spatio-temporelle de la ville a toujours été amputée et rarement étudiée. Cette difficulté s'explique par l'absence de données pertinentes. En effet, les données statistiques classiques, telles que celles fournies par l'INSEE, ne permettent pas une analyse fine des temporalités urbaines.

Afin d'approcher la complexité du système urbain, il est nécessaire de mettre en place des méthodes rigoureuses de construction de données qui pour l'instant

n'existent pas : collecte méthodique de l'information et structuration en bases de données spatio-temporelles pour disposer d'informations comparables à la fois dans l'espace et dans le temps.

Les informations collectées concernent l'offre urbaine (avec notamment les horaires d'ouverture et de fermeture des services), la mesure du fonctionnement effectif du système (fréquentation des équipements ...), la demande et les attentes de la population (par enquête auprès d'un échantillon représentatif des ménages sur la zone d'étude) et de la confrontation de ces différentes informations afin d'identifier les incohérences et les dysfonctionnements.

La seconde difficulté est en fait un problème de représentation du temps. Il est difficile de fixer des images et des scènes décrivant le fonctionnement quotidien de la ville. « On doit faire l'effort – que font les architectes – d'imaginer la ville comme un être à quatre dimensions ou un labyrinthe » (A. Moles, E. Rohmer, 1978) dans lequel chaque élément du système urbain se déplacerait selon des lignes fixées à l'avance, à la fois dans l'espace (x, y) et dans le temps (t). L'opération est d'autant plus délicate que ce labyrinthe se transforme et se recompose continuellement (en fonction des heures, des jours, des saisons, des activités ...). Le croisement des dimensions spatiales et temporelles est délicat. Aux deux questions fondamentales des géographes (où ? et quoi ?), on doit en ajouter une autre : quand ? Dès lors, on entre dans le complexe. La pensée a quelques difficultés à jongler avec cette dimension supplémentaire surimposée aux dimensions classiques de la géographie.

La représentation cartographique de données spatio-temporelles est un domaine encore relativement récent. Les données structurées nous ont permis de construire différents types de représentations afin de découvrir la structure cachée des phénomènes dans le temps comme dans l'espace. L'intégration de l'animation, c'est-à-dire de la représentation du temps par le temps, permet de dépasser les limites de la cartographie classique. Elle pose d'autres problèmes, partiellement résolus pour le moment de grammaire visuelle et d'interprétation.

L'intégralité de cette démarche, de la collecte de l'information jusqu'aux représentations graphiques et cartographiques, doit permettre de décomposer le système spatio-temporel urbain pour une meilleure compréhension générale du système.

Cette démarche, avec ces outils et ces expérimentations, s'inscrit dans une logique de dialogue sociétal où des pistes de modélisation et de simulation pourront être proposées.

L'agglomération strasbourgeoise, mais aussi celles de Belfort et de Montbéliard ont servi de support à cette déconstruction allant de la collecte de l'information jusqu'à la mise en place d'expérimentations de services en passant par les phases de diagnostics, d'études et de co-construction de projets.

L'homme branche : mobile et presse⁽¹⁾

Francis Jauréguiberry

IRSAM, Université de Pau

L'homme a toujours rêvé d'être ici et ailleurs en même temps. Mais ce désir d'ubiquité n'avait jusqu'alors trouvé d'autre réalisation que mythique au niveau collectif et imaginaire au niveau individuel. L'apparition des téléphones mobiles introduit un véritable bouleversement dans la façon de vivre ce désir. Les mobiles permettent en effet d'expérimenter une ubiquité non plus seulement *mentale*, comme cela a toujours été possible par le rêve ou la construction intellectuelle, mais aussi *sensitive et verbale*, par le prolongement artificiel de l'ouïe et de la voix². La différence essentielle entre les mobiles et toutes les technologies de communication l'ayant précédé, et en particulier le téléphone fixe, réside en ce que, pour la première fois, la localisation physique des interlocuteurs importe peu. D'où qu'ils se trouvent, il leur est désormais possible d'être immédiatement, par l'écoute, la voix et bientôt le regard, dans deux endroits en même temps. Un espace sans distance et un temps sans délais se superposent peu à peu à l'espace-temps « classique » de chaque « branché »³. De nécessairement successifs et spatialement exclusifs l'un de l'autre, l'ici et l'ailleurs se muent en « possibles » sur lesquels chacun peut être immédiatement et simultanément branché. C'est sur la nature de cette immédiateté et de cette simultanéité que portent les quelques pages qui suivent⁴.

1- Densification et dédoublement du temps

Comme la plupart des outils technologiques de ce siècle, le téléphone mobile relève pour beaucoup d'une lecture utilitariste du progrès qui consiste, dans la perspective qui nous intéresse ici, à faire plus de choses ou mieux dans le même laps de temps. Pour les premiers utilisateurs du

¹ Paru dans *Modernité : la nouvelle carte du temps* (éds. F. Ascher et F. Godard), Paris, l'Aube, 2003, pp. 155-167.

² L'interactivité visuelle, qui sera prochainement possible grâce à la nouvelle norme UMTS, ne fera que renforcer cet ersatz d'ubiquité.

³ Acceptons de nommer ainsi l'utilisateur pressé du téléphone mobile.

⁴ Ce texte constitue une version remaniée de : Jauréguiberry, 2001.

téléphone mobile, celui-ci fut avant tout un outil de réaménagement du temps vers sa plus grande rentabilisation. Il autorise en effet une densification du temps grâce à une meilleure organisation des tâches dans leur déroulement et dans leur succession, en particulier en situation instable. En rompant l'unité communicationnelle espace-temps (il n'est plus nécessaire d'être spatialement situé pour communiquer simultanément), le téléphone mobile permet de ne plus rester démuni face à des aléas de dernière minute. L'attente à un rendez-vous devient improbable avec un téléphone mobile : au bout de quelques minutes, un échange hertzien informera la personne qui attend de quoi il retourne, la libérant de la notion même d'attente, le mal en la matière étant le « temps perdu », « suspendu » et « vide » d'un point de vue utilitariste.

Mais l'originalité de ce réaménagement du temps vers sa plus grande rentabilisation réside dans le fait qu'il est obtenu non seulement de façon « classique », par sa meilleure organisation interne, mais aussi de façon inédite, par son dédoublement grâce à la superposition simultanée d'un temps médiatique à un temps physique. Le temps physique « doublé » est en général vacant, interstitiel ou « mal utilisé » selon une logique rentabiliste. Il s'agit par exemple du temps contraint des trajets physiques, de celui des attentes dues à une affluence, à un retard ou à un contordre, mais aussi de celui qui s'avère non conforme, en utilité ou en intensité, à celui qui avait été projeté. Le téléphone mobile permet de s'extraire de ces temps contraints, « presque morts ». Ou, plus exactement, il offre la possibilité de leur juxtaposer un second temps médiatique, plus utile et donc rentable, sans pour autant « assassiner » totalement (pour rester dans la métaphore) les premiers : on continue de participer — à son volant — à la circulation automobile et on échange simultanément — à son téléphone mobile — des informations avec son secrétariat. Il ne s'agit donc plus simplement de remplacer une occupation par une autre ou d'accélérer leur succession, *mais de les superposer simultanément.*

2- La contagion de l'urgence

Tout laisse penser que chacun passe de plus en plus de temps à réagir en urgence. L'habitude est d'abord prise au sein de l'activité professionnelle où la rapidité des réponses aux sollicitations du marché devient une règle de survie pour les entreprises. Les télécommunications sont ici incontournables : à capacités productives égales, c'est celui qui a le plus d'agilité informationnelle et de rapidité d'intervention qui l'emporte. Le téléphone mobile est devenu aussi indispensable que les fax : outils du « temps réel », ils sont employés à lutter contre la réalité du temps. Dans la guerre économique que se livrent les acteurs de la chrono-compétitivité, ils

sont convertis en de véritables armes mobilisées dans un même but : raccourcissement des délais, accélération des rythmes, généralisation de la simultanéité. Que ce soit pour gagner ou pour ne pas sombrer, il faut accélérer. *Le temps est économiquement devenu un enjeu dont l'urgence mesure l'importance.*

Si l'urgence est vécue comme un décalage déficitaire entre, d'une part, le temps (rythme, durée) normalement admis comme nécessaire par un individu pour exécuter une tâche ou mener à bien un projet et, d'autre part, le temps qui lui est effectivement imparti sous la forme d'une contrainte extérieure incontournable pour parvenir aux mêmes fins, force est de constater que l'urgence ne concerne pas seulement l'espace professionnel, *mais envahit aussi de plus en plus l'espace privé.* Une des principales causes de ce phénomène est l'exploitation professionnelle de l'ubiquité télécommunicationnelle. La distance physique, les murs, les horaires de travail ne protègent plus : chaque jour davantage, l'urgence professionnelle fait irruption dans l'espace privé en le « colonisant » sous la forme d'astreintes, de gardes ou de parenthèses téléphoniques.

Mais la contagion de l'urgence à l'espace privé relève aussi d'un phénomène sans doute moins visible, mais pas moins profond : la déteinte du mode de fonctionnement professionnel sur le mode d'existence privée. De façon diffuse, les canons de la rationalité économique contemporaine (pragmatisme, utilitarisme, compétition, rentabilité, efficacité, désir de gain et de puissance) sont appliqués à ce qui est en passe de devenir la « gestion » des occupations et relations privées. Par exemple, rapportée au temps libre, une approche rentabiliste ou utilitaire se décline selon l'équation : précieux puisque gagné, le temps libre doit être « amorti » au mieux⁵. Le « flirt » avec l'urgence est donc aussi le fruit d'un désir qui habite, à des degrés divers, tout utilisateur du téléphone mobile : un désir d'ubiquité, de gain de temps, de multiplication d'opportunités et donc, en filigrane, d'intensité et de puissance.

Pour le branché, le scénario inacceptable n'est pas, comme dans la sphère professionnelle, la défaite économique, mais l'occasion ratée. Mû par le désir de réussir sa vie dans tous ses instants, porté par un soucis de performance et d'intensité, le branché est en cela le parfait représentant de l'individu contemporain. À un moment où la rédemption religieuse et les utopies sociales ne parviennent plus à définir un au-delà d'espérance producteur d'identifications et de mobilisations, l'individu n'a plus d'autre horizon que sa propre vie qu'il lui faut dès lors réussir à tout prix⁶.

⁵ Il y a plus de 25 ans, Jean Baudrillard (1970) décrivait déjà ce processus dans un texte très critique : « Le drame des loisirs et l'impossibilité de perdre son temps en vacances ».

⁶ Sur ce thème, voir Alain Ehrenberg, 1995.

Démiurge de lui-même, gestionnaire de ses propres ressources, la raison de son existence se mesure alors à l'aune de l'intensité que cette même existence lui procure. La subjectivité individuelle semble alors l'emporter sur toute détermination sociale : l'idéal de soi que se fixe l'individu est toujours un dépassement de soi dans l'intensité.

Cette logique de l'alternative et du mieux potentiel ne génère pas automatiquement de l'urgence, mais elle l'autorise en suscitant des changements de dernière minute : le temps est brusqué afin de saisir l'occasion. Il s'agit d'être à la fois en situation de ne rien rater, c'est-à-dire à l'écoute (branché) et en disposition de commuter immédiatement (zapper) sur ce qui apparaît subitement mieux ou plus intense. Cette attitude opportuniste, que l'agilité des télécommunications semble encourager, relève évidemment d'une vision rentabiliste du temps. Mais elle est tout autant motivée par la tentative de combler l'ennui et le vide creusés par la réalité du temps en regard des attentes, qu'idéalement et narcissiquement, l'individu contemporain se fixe. Le téléphone mobile permet à l'individu de se déprendre de ce sentiment de déception en le plongeant dans le « temps réel » télécommunicationnel, certes tout aussi vide que la réalité du temps qu'il vit, mais à ses yeux beaucoup plus prometteur d'advenance. On observe alors des attitudes compulsives de manipulation du téléphone mobile. À la recherche d'intensité dans le « temps réel » pour échapper à la réalité du temps, le branché multiplie les appels, ne cesse d'interroger la boîte vocale de son téléphone, vérifie de façon inquiète la bonne couverture de la zone où il se trouve, consulte de façon fébrile ses répondeurs à distance, etc.

À la merci de « zapps » impulsifs ou de dernière minute, l'emploi du temps du branché devient à la fois plus élastique, plus imprévisible et plus heurté. Dans l'illusion de l'advenance et du possible, le branché devient à la fois incertain et impatient. Le flou qui en résulte peut certes dérouter, mais il est aussi gage que « tout est possible ». Et lorsqu'un « possible » advient, les changements sont d'autant plus précipités qu'ils peuvent être médiatisés immédiatement, quel que soit le lieu, par un appel téléphonique. Ce qu'il importe de souligner dans ce cas n'est pas le contenu de cette urgence — qui, dans la plupart des cas, porte plutôt à sourire — mais l'extension d'une sorte de propension à la versatilité qu'elle accompagne. Cette logique de l'alternative permanente, doublée des tensions qu'elle suscite, contribue au renforcement d'un environnement où tout devient potentiellement précaire. Les agendas s'ouvrent quotidiennement sur des futurs dont beaucoup se trouvent transformés, avant même d'avoir existé, en passés antérieurs par un coup de fil de dernière minute.

3- Distorsion du temps et incertitude

Si l'on accepte que le déroulement du temps et la croyance en l'avenir sont bien des marques de la modernité (en regard du temps cyclique et des modes de reproduction des communautés traditionnelles) et que les principaux outils de la rationalisation de ce temps ont été la prévision, la planification et l'exactitude, on est en droit de se poser la question de la rationalité du développement de certains modes de réaction à l'urgence et à l'aléatoire⁷. Il n'est en effet pas certain que le passage d'une logique de la planification faisant usage de l'exactitude à une logique de l'adaptation jouant sur les occasions soit synonyme d'extension de la rationalisation de l'existence. Trop de planification et d'exactitude fige sans doute le social au point de freiner la créativité des individus, mais trop d'opportunisme et d'aléas risque de rendre l'action individuelle imprévisible et la société incertaine.

Ce processus est bien observable dans la pratique du court-circuitage temporel que l'on vient d'évoquer et qui consiste à modifier précipitamment un emploi du temps en fonction d'informations de dernière minute. La nature de certains de ces courts-circuits est tout à fait éloquente sur la montée de l'urgence dans notre société d'ubiquité médiatique. De la même façon que le fax et l'e-mail permettent de « rattraper le temps » par-delà l'heure de la dernière levée du courrier, le téléphone mobile peut conduire à une sorte de « distorsion du temps ». Par exemple celle qu'induit le fait de prévenir au dernier moment que l'on ne sera pas à l'heure à un rendez-vous parce que bloqué dans un embouteillage. Cette possibilité de « réparer » un retard avant même qu'il n'existe réellement relativise le temps et produit imperceptiblement un raccourcissement général des délais. On calcule en effet toujours plus juste sachant que, si ça ne passe pas, il y aura toujours le recours ultime d'un « appel urgent » pour s'excuser. Ce type d'appel ne devient heureusement pas la règle, mais le raccourcissement des délais, oui. Ce n'est évidemment pas le téléphone mobile qui crée l'urgence, mais c'est lui qui, de plus en plus, la permet. C'est parce qu'il y a temps réel, et donc possibilité de réagir immédiatement, au dernier moment, que l'on s'inscrit dans des scénarios limites.

La notion de scénario limite permet de donner une définition de l'urgence. L'urgence naît en effet toujours d'une double prise de conscience : d'une part, qu'un pan incontournable de la réalité relève d'un scénario aux conséquences dramatiques ou inacceptables et, d'autre part, que seule une action d'une exceptionnelle rapidité peut empêcher ce scénario d'aller à son terme. L'une ne va pas sans l'autre, ou alors il ne s'agit plus d'urgence. Ce

⁷ Sur le rôle de l'exactitude dans les sociétés modernes, voir R. Melka, 1969.

n'est pas parce qu'une action est exceptionnellement rapide qu'elle est urgente. Par exemple, les courses (compétitions) sont par définition toujours rapides, mais rarement urgentes. De même, ce n'est pas parce qu'un scénario catastrophe est en marche qu'il génère *ipso facto* de l'urgence : le laps de temps laissé à la réaction peut être suffisamment long pour que celle-ci ne soit pas vécue sous la forme d'une rapidité imposée. Cette double prise de conscience déclenche un compte à rebours qu'il s'agit d'arrêter *illico presto*. Dit autrement : on court à la catastrophe si rien n'est immédiatement mis en œuvre. Le scénario à la base de l'urgence est toujours menaçant, néfaste ou fatal. S'il n'était pas appréhendé comme l'irréversibilité d'une négativité mais d'une positivité, il s'agirait non plus d'urgence mais d'attente ou d'impatience, le « vivement... » remplaçant en la matière le « vite ! ». *L'urgence apparaît donc comme un piège du temps.*

Le téléphone permet de très facilement prétexter un aléa de dernière minute pour annuler un rendez-vous. Or, force est de constater que, pour beaucoup, avancer une « fausse urgence » est une façon « en voie de développement » afin de « jouer au mécano avec un emploi du temps »⁸. Ceci signifie rien moins que l'urgence (en général) a acquis un statut social suffisamment prégnant pour qu'elle puisse être spontanément déclinée et surtout acceptée comme excuse. Il devient « normal » d'être pris par une urgence et de devoir ainsi être obligé d'annuler un rendez-vous sans autre formalité. Bien entendu, le degré de liberté pris envers un correspondant est directement proportionnel à celui de son pouvoir envers lui. Mais cela ne relativise que modérément le poids du constat : l'urgence l'emporte souvent sans qu'elle ait désormais besoin d'autre justification qu'elle-même. L'urgence devient une ressource de l'action du branché qui préfère le subitement mieux au certainement moyen.

Le danger est que ce type de conduite risque de rendre obsolète la notion même de projet. Le projet nécessite une certaine confiance dans l'avenir. Il relève d'un « pari » sur le futur en pensant que l'action programmée pourra s'y déployer. Il n'y a évidemment, en la matière, aucune certitude : seule la confiance permet de différer, de planifier, de se représenter ce qui sera contre ce qui est. Mais si le présent lui-même apparaît comme indéterminé, n'est plus vécu que comme immédiateté éphémère, comment penser le

⁸ Nous ne traiterons pas ici de l'aspect moral de l'affaire... Notons simplement que la célébration du toujours plus et du toujours mieux semble se muer en règle de conduite dont l'opportunisme se nourrit aux dépens du devoir que plus aucun fondement n'alimente.

projet dans sa durée ? Dans un monde où il faut s'adapter rapidement, comment peut-on encore adapter le monde dans la durée⁹ ?

4- Les dangers de l'urgence généralisée

La chasse au temps perdu, le culte du potentiel, la montée de l'urgence, la pression de l'immédiat et la multiplication des informations plongent le branché dans une situation d'injonctions répétées à réagir de plus en plus vite. Cette accélération peut être vécue de façon positive : comme multiplicateur d'activités et d'opportunités, comme révélateur de certaines potentialités organisationnelles jusqu'alors inexploitées, comme agent de simplification ou encore comme réhabilitation de l'intuition individuelle dans la gestion des affaires. Elle peut aussi être source de satisfactions, en particulier pour certains professionnels indépendants qui, vivant cette course au temps sous la forme de défis renouvelés, la trouvent passionnante et parfois gratifiante. Mais cette accélération peut aussi donner le vertige, et la chute n'est alors pas exclue. Dans un monde où tout s'accélère et se bouscule, le branché, placé en état d'urgence quasi permanent court en effet deux risques.

Le premier de ces risques est de réagir à l'impulsion afin d'éviter ce qu'on pourrait appeler « l'effet bouchon » : l'accumulation incontrôlable d'informations interdisant leur traitement efficace¹⁰. Face à une pile de notes, à une succession de fax urgents et à un sans-fin de sollicitations téléphoniques, il faut aller vite. Non seulement il faut toujours être connecté, mais il faut aussi pouvoir répondre rapidement. Dans cette accélération, synonyme de diminution du temps de réflexion, l'accessoire risque de recouvrir l'essentiel. Temps de réflexion, de mûrissement, mais aussi de retour sur le passé et de tension vers l'avenir, l'attente et le différé semblent ici chargés de négativité. Outre le stress lié à l'activité fébrile qui en résulte, le danger d'une telle réaction est de voir remplacer la réflexion et l'imaginaire par une espèce de réflexe à parer au plus pressé. Le coup de fil a dès lors priorité sur la personne présente, le fax sur le courrier, et le *beeper* arrête tout, séance tenante. Comme si l'individu ou l'organisation se mettaient aux ordres de l'urgence, l'advenant supplantant l'existant. Il est évidemment des situations dans lesquelles nécessité fait loi. Mais l'extension de ce mode de réaction menace de le transformer en une véritable mode de fonctionnement. Focalisées sur la réaction aux sollicitations immédiates, personnes ou structures courent alors le risque de

⁹ Zaki Laïdi (1994) souligne les dangers qu'une telle absorption du futur par le présent représente pour la démocratie. Le politique, pensant renouveler sa légitimation en se mettant à l'écoute de l'immédiat, perd son pouvoir visionnaire producteur de projet pour le futur au profit d'un rôle gestionnaire destiné à surmonter des contraintes du présent. La réduction de la distance entre gestion de l'immédiat et représentation du futur accompagne la chute des catégories d'espoir, d'attente ou d'utopie politique.

¹⁰ « Au Japon, 11 % seulement de l'information produite était utilisée en 1970, et ce ratio tombait à 5 % en 1985 » (Voge, 1989, p. 255, cité par Claisse, 1997, p. 124, qui commente en suivant : « Que dirions-nous d'un système agricole qui dissiperait ne serait-ce que la moitié de ses récoltes ou d'un système industriel qui déclasserait ne serait-ce qu'un cinquième de sa production ? »).

perdre tout pouvoir stratégique au profit de pures tactiques d'adaptation à un environnement qu'elles ne maîtrisent plus¹¹. Dans ce cas, la vitesse devient précipitation et les passages à l'acte font office de décisions. D'actif et réfléchi, le choix devient réactif et improvisé, et a donc toute chance d'être dépendant.

Le second risque pour le branché est de se mettre à hésiter dans l'urgence. Les prises de décision deviennent alors autant de violences que l'individu s'impose dans une situation qu'il ne maîtrise plus. Tensions, stress et parfois même anxiété ont alors toutes chances d'apparaître. Dans ce cas, l'information devient bruit, la vitesse précipitation, et l'action incertaine. Le branché se sent non plus interpellé mais harcelé. Il est même des cas où l'individu reste comme « sonné » devant trop d'interpellations. Entrant dans un véritable état de catalepsie, il « démissionne » par overdose communicationnelle pour tomber dans un vide apathique¹². Toute « gestion en temps réel » ou tout « pilotage en situation d'urgence » ne saurait évidemment conduire à une telle situation. Non seulement parce que les réactions à l'urgence peuvent avoir été planifiées de façon préalable (on parle alors de « procédures », fruits d'anticipations stratégiques), mais aussi, de façon plus fondamentale, parce que ces réactions peuvent relever d'une rationalité, certes limitée par le temps, mais non hétérogène à une continuité stratégique pourvoyeuse de sens¹³.

5- Le syndrome du branché

Il est évidemment des situations où nécessité fait loi. Mais l'extension de ce mode de réaction menace de le transformer en un véritable mode de fonctionnement. Focalisé sur la réaction aux sollicitations immédiates dont il est l'objet, l'homme pressé court dans ce cas le risque de souffrir de ce que j'ai appelé le « syndrome du branché ». Par syndrome du branché, j'entends l'ensemble des symptômes du mal latent qui guette ceux qui vivent leur expérience d'ubiquité médiatique selon une logique de pure rentabilité au point de s'y faire absorber. C'est tout à la fois l'anxiété du temps perdu, le stress du dernier moment, le désir jamais assouvi d'être ici et ailleurs en même temps, la peur de rater quelque chose d'important,

¹¹ « Trop de dirigeants trouvent ainsi dans l'ivresse de l'action un exutoire sans cesse renouvelé à l'absence de projet. Trop de responsables pédalent comme des forcenés, d'une étape à l'autre, selon un itinéraire imposé par le hasard des circonstances. Accaparés par l'effort et le nez dans le guidon, ils n'ont plus le temps de penser. Un jour, en plein effort et au bord de l'épuisement, ils finissent par trébucher » (Michel Godet, 1991, p. 91).

¹² Sur ce thème, voir Nicole Aubert et Vincent de Gaulejac, 1991.

¹³ Sur ce thème, voir Alain-Charles Martinet, 1991, p. 52. Il serait pour lui « dramatique d'assimiler la gestion en temps réel au management activiste et la stratégie à la programmation à long terme, car, ce faisant, l'on s'interdit absolument de penser et de conduire le couple fonctionnement-évolution. (...) La réactivité ne signifie pas nécessairement suite erratique d'actions, la stratégie n'interdit pas la flexibilité. »

l'insatisfaction des choix hâtifs, la hantise de ne pas être branché au bon moment sur le bon réseau, et la confusion due à une surinformation éphémère.

Le syndrome du branché, c'est le « mal des télécommunications », la « nausée médiatique » dont est pris le branché lorsqu'il tombe dans ce qu'un de nos informateurs a appelé le « tourbillon ». Comme soumis à l'effet d'une force centrifuge due à une accélération non maîtrisée, l'individu est dépossédé du sens de son action et aspiré par une inflation occupationnelle. Contraint à réagir sur le mode de l'urgence à une masse d'information grandissante et à des aléas de plus en plus fréquents, il se trouve réduit à s'accrocher où il peut s'il ne veut pas sombrer, à « faire des coups » et à développer des tactiques de nature opportuniste. L'acteur est alors moins mû par une logique de type stratégique, visant à adopter les meilleurs moyens par rapport à des fins qu'il s'est fixées, que par une logique de type tactique, visant à s'adapter au mieux à une situation qu'il ne domine plus.

5- Retrouver le temps

Le tourbillon du branché attire. Il attire parce que la force du courant qui l'alimente est celle du système économique actuel basé sur la généralisation de la gestion en « temps réel » et qu'il est difficile d'échapper à sa pression. Il attire aussi parce que la forme qu'il donne à l'action (la vitesse, le défi, le zapping, le sentiment de puissance) n'est pas sans procurer une certaine jouissance à ceux qui l'expérimentent. Il attire enfin peut-être parce qu'en ramassant le temps dans une sorte de présent continu, il « distrait » (au sens pascalien du terme) l'individu du temps qui passe, et donc de questions existentielles potentiellement inquiétantes¹⁴.

Mais le tourbillon du branché apparaît aussi comme un danger qu'il s'agit d'éviter. Face à la dispersion et à l'égarement qu'il peut engendrer, à l'aléatoire trop souvent côtoyé et au stress qu'il suscite, à l'éphémère renouvelé dans une sorte d'éternel présent, une réaction apparaît. Elle renvoie à une logique critique qui vise à ne pas se laisser déposséder de sa propre temporalité, de ses propres rythmes au profit d'une mise en synchronie universelle qui unirait « en temps réel » tous les « branchés » du « grand réseau » dans une sorte de compulsion totalisante. Cette logique critique déroule ce que l'urgence ficelle. Elle rétablit la durée et replace

¹⁴ Si l'on accepte en effet, avec Heidegger, que c'est parce qu'il "s'insère dans le temps" (*Zeitigung*) que l'individu a conscience de son "être-là" (*Dasein*), et que cette conscience est avant tout celle de sa finitude individuelle (l'être est dans la conscience du temps qui est celle de sa mort), on peut penser que l'écrasement du présent sur l'immédiat est une façon d'échapper à l'angoisse qu'une telle conscience entraîne.

l'individu dans une continuité qui lui permet de renouer avec un ordre possible de référence¹⁵. Elle réintroduit l'épaisseur du temps de la maturation, de la réflexion et de la méditation là où le heurt de l'immédiat et de l'urgence oblige à réagir trop souvent sous le mode de l'impulsion.

Ce temps est celui du passé, du souvenir et du retour sur soi. C'est aussi le temps de l'anticipation, de la crainte ou de l'espoir. Ce temps se donne à vivre dans l'arrêt, l'attente, le différé et la mise à distance. Il est non superposable et non susceptible d'être dédoublé : l'individu y contient tout entier¹⁶. Il rappelle que, derrière l'apparence trompeuse d'un temps unique, universel et synchrone (celui des heures de la montre, des jours de l'agenda et des mois du calendrier), le temps est hétérogène. Qu'il n'y a pas un temps, mais des temps. Que, face à l'entrée massive de notre société dans une culture de l'immédiat, de l'impulsion et de l'urgence généralisée, il y a des moments qui résistent à l'accélération, des durées qui ne sauraient être brusquées, et des instants qui échappent à la logique du gain et de la vitesse. Ces moments, ces durées et ces instants sont indispensables à la formation de soi comme sujet, c'est-à-dire comme acteur capable de construire sa vie de façon autonome. Le présent n'est alors plus seulement l'immédiat, l'instantané et le « temps réel », mais aussi le temps de l'héritage, du souvenir et du retour sur soi, ou encore celui de l'attente, de l'anticipation et de l'espoir. Cette prise de distance en regard de l'instant permet à l'individu de se retrouver et en particulier de vivre une certaine autonomie par rapport à son rôle de gestionnaire efficace que tout le monde (y compris une part de lui-même) s'accorde à lui voir jouer.

6- L'expérience temporelle du branché

L'expérience du branché dans la gestion du temps est le produit d'une sorte de « dialogue tendu » entre deux logiques d'action, sachant que l'une ne saurait entièrement recouvrir l'autre. D'un côté, une logique de gain et de vitesse qui est celle de la connexion, de la mise en synchronie et de l'urgence. De l'autre, une logique critique qui est celle de l'aménagement d'un temps à soi, de prise de respirations temporelles individuelles relevant de l'unique, de l'incomparable et du non quantifiable.

Lorsque l'expérience du branché est trop fortement soumise à la logique de gain, de mise en synchronie et de vitesse, elle s'effondre et tombe dans un tourbillon occupationnel. La volonté, lorsqu'elle existe, d'y échapper

¹⁵ Pour Georges Balandier, 1988, p. 245, "Le passé apparaît aussi comme (...) un ensemble de repères à partir duquel il est moins malaisé de faire le point. Il y a là davantage qu'un partage de l'impuissance par une culture de la nostalgie : c'est une tentative de ne pas être pris dans un mouvement dont l'origine est oubliée et dont le terme est encore caché."

¹⁶ Pour une généalogie de cette temporalité individuelle, voir Helga Nowotny, 1992.

donne généralement naissance à une conduite de fuite en avant. Voyant qu'il se fait posséder par une accélération non maîtrisée, le « branché dépassé » nourri l'espoir qu'une gestion encore plus rentabiliste de son temps va lui permettre d'échapper à ce tourbillon. Son exaspération communicationnelle se traduit alors souvent par une exacerbation de son désir technique. À l'affût des dernières découvertes, il pense qu'une meilleure couverture du réseau, une plus grande intelligence de transmission, de nouveaux terminaux multifonctions, lui rendront un peu de temps et lui permettront de se retrouver. Soumettant (consciemment ou pas) leur vie à une logique de rentabilisation du temps, ceux qui adoptent cette attitude n'ont souvent pas d'autre choix que cette fuite en avant. Petits artisans, travailleurs indépendants ou alors « cadres-fusibles » dans une hiérarchie, ils n'ont en effet presque jamais les moyens économiques ou organisationnels de se payer un secrétariat qui pourrait les décharger de cet afflux. Quand bien même le pourraient-ils (et c'est là un des aspects les plus pervers de cette conduite), certains d'entre eux ne le feraient pas. Habités à traiter eux-mêmes les appels de façon immédiate, ils ne supporteraient pas la délégation ou le retard de décision qu'impliquerait pour eux un secrétariat.

Lorsque l'expérience du branché est, à l'inverse, entièrement dominée par la logique de distanciation, elle conduit à une exigence d'authenticité et souvent à un enfermement subjectiviste dont le « temps à soi » constitue l'horizon. La tentation est alors grande de cliver les communications. D'un côté les communications « rentables », intéressées et stratégiques pour lesquelles la rapidité concourt à leur réussite, et de l'autre les communications « gratuites », intersubjectives et conviviales pour lesquelles le temps n'est pas compté. D'un côté, la communication « utile » et de l'autre la « vraie communication ». Les télécommunications nomades sont associées à la première, dans leur capacité même à organiser la seconde qui, elle se fait (encore ?) en face à face. Toutefois, cette attitude mène parfois à un extrême qui consiste à vouloir éviter le mal en supprimant ce qui semble en être la cause : les outils de télécommunication. Si l'on en croit les statistiques (qui montrent toutes une prédisposition générale à l'équipement en outils de télécommunication), cette conduite ne se donne à voir qu'exceptionnellement dans toute sa rigueur. La plupart du temps, elle ne s'applique qu'à la sphère privée et répond d'une réaction violente à la crainte de voir les relations familiales et amicales perverties par la logique du gain et de vitesse vécue dans la sphère

professionnelle. La solution est alors brutale et expéditive : la déconnexion totale du domicile¹⁷

La fuite en avant et le refus sont des conduites de rupture avec l'expérience du branché. Les deux relèvent finalement d'une impossibilité ou d'une incapacité de conjuguer le désir ou la nécessité d'être « branché » avec la volonté de préserver un temps à soi. Une pleine expérience de « branché » renvoie au contraire à la nature hétérogène des logiques d'action qui la déterminent : utilitaire d'un côté, guidée par un souci de performance, d'efficacité et de gain, et critique de l'autre, motivée par la volonté de ne pas soumettre l'ensemble de sa vie à une mise en synchronie constante.

Il s'ensuit des conduites de compromis, de ruse, de fines tactiques permettant de conjuguer au mieux ces deux exigences. Elles consistent pour l'essentiel à instaurer des filtres intelligents entre le réseau (la mise en synchronie) et l'acteur (recul réflexif, temps à soi). Il s'agit de garder le contact sans en devenir l'esclave. Ces filtres sont généralement une tierce personne (en particulier le secrétariat sur le lieux de travail et le conjoint ou les enfants au domicile), un système mécanique de mise en différé (boîte vocale du téléphone mobile, *beeper*, répondeur-enregistreur et fax) ou un système de filtre en temps réel (répondeur-enregistreur). Le succès croissant des SMS s'inscrit dans cette logique¹⁸. Mais, dans ce cas, c'est l'appelant qui choisit de ne pas abuser de son « pouvoir » de « sonner » son correspondant. Il s'agit pour lui de transmettre immédiatement quelque chose (information urgente ou impulsive) tout en choisissant le possiblement différé. Possiblement car, dans la majeure partie des cas, le destinataire est en fait connecté et un bip l'avertit qu'il vient de recevoir un mini message. Mais l'expéditeur ne le sait pas : il laisse donc par définition du temps à son correspondant pour prendre connaissance de son message et pour lui répondre¹⁹.

¹⁷ Il y a peu, le *Wall Street Journal* publiait un article sur « Les débranchés de la Silicon Valley » rapportant le témoignage « d'hyper branchés », responsables de start-up, qui déconnectent totalement leur domicile suite à une « overdose de télécommunications ». L'un d'eux organise même des sessions de discussion avec son personnel sur ce sujet. Sessions durant lesquelles, bien sûr, « tout gadget électronique est banni, et où personne ne vient avec son mobile » (rapporté par le *Courrier International*, n° 506, juillet 2000, p. 22).

¹⁸ *Short Messaging Service* : service associé aux mobiles et qui permet d'écrire de courts messages (que l'on compose grâce au clavier alphanumérique) et de l'expédier immédiatement dans la boîte aux lettres de son correspondant. Celui-ci en est non moins immédiatement averti s'il est connecté à ce moment-là. Mais liberté lui est laissée de lire immédiatement ou pas ce message, et encore plus d'y répondre...

¹⁹ On peut penser que ce type de communication est promis à un bel avenir. Il permet en effet de concilier l'immédiat et l'asynchrone, d'interpeller son correspondant tout en respectant son autonomie. Une récente enquête de l'IPSOS confirme ce point de vue : 71 % des adeptes du SMS affirment être motivés par la certitude de ne pas importuner leur interlocuteur (rapportée par Foucart S. in *Le monde interactif* du 30 mai 2001).

Bien sûr, l'équilibre est précaire et doit sans cesse être rétabli. Il est des situations ou des périodes où le tourbillon du branché attire plus que d'autres où la volonté critique de prise de distance et de préservation d'une temporalité individuelle l'emporte. Mais c'est précisément parce qu'il n'existe en la matière pas de solution définitive que l'on peut parler, à propos de celui qui se livre à ce travail perpétuel de mise en cohérence, d'acteur autonome et de sujet de sa propre vie.

8- Conclusion : une nouvelle inégalité

L'image qui fait du branché un homme pressé, se jouant de l'espace pour mieux tutoyer le temps, n'est pas fausse. Elle correspond bien à une réalité de l'expérience du branché. Mais ce n'est qu'un cliché, toujours le même, dans lequel l'élan semble suffire à expliquer la course. L'expérience du branché est autrement plus complexe. Loin de se réduire à un seul de type de conduite utilitaire, l'usage du téléphone mobile renvoie aussi à d'autres types de comportements, en particulier ceux qui visent à préserver un temps à soi. Les techniques de filtre, et la restauration du différé qu'elles permettent, ne sont compréhensibles que rapportées à une logique d'action critique. Elles sont essentielles en ce qu'elles restaurent la capacité des individus à gérer leur environnement temporel. Mais cette maîtrise est nettement inégalitaire. Il y a des situations (professionnelles mais aussi existentielles) où certains n'ont justement pas la possibilité de filtrer mais doivent au contraire répondre immédiatement ; où *certaines ont le pouvoir de se débrancher et d'autres ont le devoir de rester branchés*.

L'obligation de rester branché, et donc de subir la tension d'une urgence potentielle, conduit à poser l'hypothèse de l'apparition d'une « nouvelle richesse » et d'une « nouvelle pauvreté » parmi les branchés. Les nouveaux pauvres des télécommunications sont ceux qui ne peuvent pas échapper à l'obligation de répondre immédiatement, et qui doivent donc vivre dans l'urgence et dans l'interpellation continue, et les nouveaux riches sont ceux qui ont la possibilité de filtrer et d'instaurer de la distance vis à vis de cette interpellation. Si cette hypothèse se vérifiait, il y aurait alors de fortes chances pour qu'une prise de conscience se fasse autour de ce thème, et qu'un nouvel enjeu organisationnel et social apparaisse : le droit à la déconnexion et à l'isolement, le droit de refuser de porter un *beeper* jour et nuit ou d'être radiotéléphoniquement partout joignable. Le droit à la dignité des personnes qui ne sauraient être réduites à être des fonctions ou ressources contrôlables et corvéables à distance sous prétexte d'urgence. Un droit d'avoir un temps à soi et dont l'application ne serait synonyme ni de sanction, ni de fuite, ni d'enfermement.

Références

- AUBERT Nicole et GAULEJAC Vincent de : *Le coût de l'Excellence*, Paris, Le Seuil, 1991.
- BALANDIER Georges : *Le désordre*, Paris, Fayard, 1988.
- BAUDRILLARD Jean : *La société de consommation*, Paris, 1970.
- CLAISSE Gérard, *L'abbaye des télémythes*, Lyon, Aléas, 1997.
- EHRENBERG Alain, *L'individu incertain*, Paris, Calmann-Lévy, 1995.
- GODET Michel, « Les dangers de la (seule) réactivité », in *Revue française de gestion*, n° 86, 1991, pp. 91-92.
- HEIDDERGER Martin : *Etre et temps*, traduction française F. Vezin, Paris, Gallimard, 1986.
- JAUREGUIBERRY Francis : « Mobile telecommunications and the management of time », *Social Science Information Information en sciences sociales*, vol. 39, n° 2, Londres-Paris, 2000, pp. 255-268.
- LAÏDI Zaki, *Un monde privé de sens*, Paris, Fayard, 1994.
- MARTINET Alain-Charles : « Management en temps réel et continuité stratégique sont-ils compatibles ? », in *Revue française de gestion*, n° 86, 1991, pp. 52-56.
- MELKA Raymond, « L'exactitude horaire. Essai de psychologie de l'homme moderne », in *Diogène*, n° 65, 1969, pp. 22-49.
- NOWOTNY Helga : *Le temps à soi. Genèse et structuration d'un sentiment du temps*, traduction française S. Bollack et A. Masclet, Paris, éd. de la Maison des sciences de l'homme, 1992.

Programmes à voyager dans le temps

Jerzy Karczmarczuk

Dept. d'Informatique, Université de Caen, France
(<mailto:karczma@info.unicaen.fr>)

Résumé

Nous présentons une implémentation de l'algorithme de différentiation automatique inverse (adjointe), qui nécessite une logique assez tordue : un programme numérique procède jusqu'à la fin, ensuite il renverse le flux de calcul, et les dérivées du résultat par rapport aux variables d'entrée sont calculées par un programme dérivé, de la fin jusqu'au début. Nous présentons un modèle qui effectue ce parcours double en une passe, comme si nous pouvions opérer simultanément avec deux flux antithétiques de dépendances, dont l'un se propage du futur vers le passé. Ceci est une méthodologie de programmation légitime, et dont d'autres instantiations on trouve dans la théorie de compilation, dans la modélisation des réseaux neuronaux et dans la robotique et l'animation. Elle jette une intéressante lumière sur le possible traitement du temps en Informatique.

1 Introduction

Toute modélisation d'un système physique, biologique ou social, demande l'instauration d'une couche d'abstraction. On peut simplifier tout, mais cette couche doit être relativement fidèle vis-à-vis notre

compréhension du sujet, avec ses relations avec le monde. Il faut respecter quelques *universalialia*, et un de ces concepts respectés universellement c'est la **causalité**, liée au *consecutio temporis*. Le temps passe, l'état du programme (les valeurs des variables etc.) est déterminé par les états précédents. Cependant, dès le début des paradigmes actuels de structuration des programmes, on veut se libérer des contraintes temporelles, de la « flèche du temps ». Les raisons sont rarement philosophiques, souvent strictement pragmatiques :

- Si on représente le système de manière *statique*, sans le temps en tant que catégorie ontologique déterminant la « réalité des calculs », mais seulement comme un paramètre, il est plus facile de raisonner sur le programme, on l'analyse avec plus de précision.
- Plusieurs algorithmes (p. ex. en Intelligence Artificielle) ont un goût relationnel, statique, assez visible. On établit une relation – peut-être asymétrique, mais aussi atemporelle – entre les entrées et les sorties du programme. Une telle approche a favorisé le développement des langages fonctionnels et logiques. Plusieurs algorithmes de recherche dans ce contexte fonctionnent comme s'ils pouvaient reculer le temps, « oublier » le changement d'état, et recommencer par une autre stratégie. Ceci constitue l'essence de la technique du *backtracking* en Prolog. L'utilisateur peut avoir l'impression que le temps linéaire bifurque, se transforme en une arborescence multi-branche, et on peut suivre une, en retournant d'une autre. Les « mauvaises » sont oubliées, et le programme fournit la première bonne solution trouvée, ou – si on le veut – toutes.
- On peut trouver une situation, quand on a besoin du « temps inversé », ou plus précisément, des flux de dépendances entre les données et entre les états du système, qui soient *antithétiques*. **Ceci est le sujet principal de ce travail.** Nous démontrerons sur un exemple pratique, appartenant au domaine de programmation scientifique comment implémenter de telles entités.

Bref, il est souhaitable de pouvoir « sortir du temps physique », et de le « regarder de l'extérieur ». Ceci peut être considéré comme une démarche philosophique et méthodologique, voir p. ex. [1], mais pour nous ne sera qu'une technique de programmation.

1.1 Backtracking, et évaluation différée

Exemple. Un algorithme combinatoire peut contenir un petit module : le choix d'un objet parmi les éléments d'une liste. Par exemple, le prédicat Prolog `choix([a,b,c,d],X)` doit assigner à la variable **X** toutes les valeurs possibles de choix d'un des éléments de la liste constituant le premier paramètre : **X=a**, **X=b**, etc. La définition du prédicat `choix(Liste,Résultat)` qui établit une *relation* entre le premier et le second paramètre, consiste à énumérer les possibilités :

```
choix([X|Reste],X).      Déstructuration du 1er paramètre.  
choix([Y|Reste],X):-choix(Reste,X).
```

Ignore Y, cherche X dans le Reste

ou : soit on prend le premier élément de la liste, soit un des éléments restants, récursivement. Si on *refuse d'accepter* la première proposition, le programme effectue automatiquement le « backtracking », le « retour en arrière temporel », et en propose une autre. Mais Prolog est un langage assez particulier. Sur le plan sémantique – puisque en fin de comptes toutes les branches sont sérialisées, exécutées une après le backtrack de l'autre, les solutions multiples sont *équivalents à une liste qui les contient toutes*.

Ceci est l'approche utilisée dans les langages plus classiques, dont la sémantique se réduit à la transformation de données par l'application successive des fonctions. Quelques uns de ces langages, comme Haskell [2] profitent du paradigme d'*évaluation paresseuse* (ou différée) qui peut être intuitivement réduite à l'exigence que l'ordinateur n'évalue pas une expression pour en déduire sa valeur que si cette

valeur est nécessaire dans l'immédiat. Sinon, l'expression reste « latente », sous forme de code qui attend d'être exécuté pour qu'il devienne une valeur. Grâce à ce dispositif on peut définir des séquences **infinies** de données, par exemple la liste `[0,1,2,3,...]`:

```
nombres = arithseq 0 where  
  arithseq n = n : arithseq (n+1)
```

(Ici l'opérateur `(:)` ajoute l'argument à gauche à la liste à droite, `5:[1]` est égal à `[5,1]`. Il est équivalent à `|` en Prolog). On voit que la définition de la fonction **arithseq** est récursive sans clause terminale, elle « ne s'arrête jamais ». Dans un langage sans évaluation paresseuse ceci déclencherait une exception du débordement de mémoire, mais en Haskell si on a besoin de, disons, 10 éléments, les autres ne sont pas instanciés. On peut aisément construire d'autres exemples. La construction suivante

```
x = 1:y  
y = 2:x
```

assigne à **x** la liste `[1,2,1,2,1,...]`. Grâce à l'évaluation paresseuse on peut utiliser une donnée qui n'a pas encore été *complètement* définie (dans l'exemple ci-dessus, elle n'en sera jamais, puisque elle représente un objet explicitement infini...).

Ainsi, une structure de données apparemment statique, représente *un processus*, une activité qui intuitivement se déroule dans le temps. La génération de la liste est suspendue, et reprise seulement quand on redémarre l'observation des éléments suivants. Si le programme se rend compte que l'utilisateur a besoin de l'onzième élément de la liste, *un* pas de la génération récursive est exécuté, et « le temps s'arrête » de nouveau.

Cette technique peut être utilisée dans un contexte explicitement atemporel, appartenant aux mathématiques standard; elle permet de traiter des séries infinies et autres structures similaires, mais les structures paresseuses peuvent également représenter « simultanément »

des trajectoires *complètes* résultant de la solution d'une équation différentielle [3], objets qui typiquement sont des résultats des processus itératifs, engendrés un par un. On regarde le système d'un point « en dehors du temps ». Le « présent » n'existe pas, nous pouvons choisir le temps d'observation et d'instancier l'état du système à volonté. Bien sûr, aucun miracle n'a lieu, et notre programme doit dûment et causalement générer tous les états qui précèdent l'état observé.

L'implémentation des structures paresseuses est connue depuis des années '70. Il suffit simplement de compiler un appel fonctionnel, disons, $y \leftarrow f(e)$ **non pas** comme : 1. exécuter le code qui évalue e ; 2. appliquer le code qui réalise f à la *valeur* de e , mais :

1. Lancer la fonction f tout de suite. Si à cause d'une condition e n'est pas utilisé, l'argument ne sera jamais évalué.
2. Quand le code de f a besoin de e , son code est exécuté (et la valeur mémorisé, mais ce n'est qu'une optimisation). La valeur de l'argument est utilisée par la fonction.

Cette possibilité de contrôler le temps d'évaluation par *l'usage, non pas par la définition* des données dans le programme sera encore plus utile dans le contexte suivant. Nous n'aurons pas besoin de structures paresseuses pour simuler un processus infini, cependant le concept de l'évaluation différée sera toujours fondamental.

1.2 Flux antithétiques : quelques exemples

Les interactions fondamentales en physique sont neutres par rapport à l'inversement du temps. Si une théorie prévoit l'existence des phénomènes acausaux, la propagation des particules quantiques contre la flèche du temps, on peut les réinterpréter comme antiparticules qui se comportent bien ; l'émission et l'absorption s'échangent réciproquement. Les détails sont tordus (p. ex., l'énergie d'une particule qui voyage à contre-temps est négative), mais pour les systèmes élémen-

taires la flèche du temps n'est pas significative.

Nous pouvons dessiner le diagramme de Feynman à droite et dire qu'il représente *un* électron (ligne en bas à gauche) qui a décidé un jour de reculer dans le temps (ligne en haut). Il le fait en émettant un photon (ligne sinueuse). Mais pour un observateur normal, c'est un processus d'annihilation d'un électron et d'un positron (en parfait accord avec la flèche du temps, et avec l'énergie positive) avec l'émission du photon. Un tel exemple est impossible dans la physique macroscopique, où les objets peuvent avoir la mémoire.

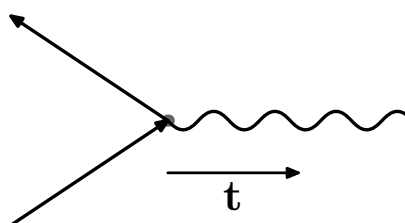


FIG. 1 – Réaction d'annihilation $e^- e^+ \rightarrow \text{photon}$

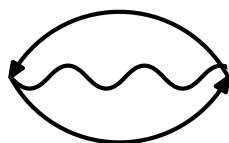


FIG. 2 – « Boucle temporelle » virtuelle

Mieux encore, on peut trouver des processus virtuels comme celui à gauche. Un électron venant du futur absorbe un photon, et, bouleversé, commence à se comporter normalement. Un peu plus tard il change d'avis, livre un photon anti-temporel, et se transforme en une particule anti-temporelle également. Ces deux particules ferment la boucle temporelle. Ceci constitue ce que les physiciens appellent les fluctuations du vide, et personne ne trouve cela paradoxal, c'est la création, et anéantissement des particules virtuelles, « normales » vis-à-vis la flèche du temps.

Quand le système devient complexe, quand on introduit des notions d'entropie et d'irréversibilité, le temps devient une catégorie critique. Nous nous sommes habitués à cela. Pour un informaticien l'entropie est l'essence physique de l'information structurelle, donc l'évolution causale des états d'un programme nous semble un paradigme sain, pratiquement le seul possible. Mais le pire pour l'intuition n'est pas le temps qui « marche à l'envers », mais la possibilité que les deux flux temporels, le normal et l'inversé, coexistent. En physique micro-

scopique ceci est conceptuellement réalisable grâce à la réversibilité.

Si l'information peut être créée ou effacée, une attitude cavalière vis-à-vis le temps produit un chaos méthodologique, dont l'issue ne peut être que philosophique ou artistique, voir le livre de science-fiction de Philip Dick [4], où l'auteur suggère, que ressusciter les morts soit une tâche plus facile qu'effacer (« anti-écrire ») un livre... Cependant, l'existence conceptuelle de ces flots antithétiques dans l'informatique moderne est une réalité.

- La compilation d'un programme-source en code exécutable contient la phase du *parsing*, ou l'analyse syntaxique. Une des stratégies du parsing consiste à prendre un par un les symboles atomiques (mots) d'une phrase, et d'assembler d'abord les symboles élémentaires en structures internes représentant les sous-expressions, ensuite les expressions plus grandes, etc. jusqu'à l'objet final : le programme entier. En procédant ainsi on accumule (synthétise) les propriétés (attributs) des entités analysées. Imaginons que notre langage décrit des objets graphiques d'une interface utilisateur. La taille d'un « widget » composite est sûrement déduite, synthétisée à partir des tailles des composantes.

Mais, souvent on exploite la notion d'*attributs hérités*, contextuels, qui sont « hérités » par les feuilles depuis la racine. On voit clairement que la *position* d'un widget sur la surface du travail dépend de la position de la « boîte englobante », du « widget-père ». Donc, une telle programmation qui assemble et qui affiche les widgets en une passe doit « regarder vers l'avenir ».

- Dans la robotique, ou dans la synthèse des animations, on compose avec les objectifs dictés par le scénario, et la causalité des mouvements des acteurs. En sachant où l'effecteur (la main d'un personnage, etc.) doit arriver, on reconstruit « anti-temporellement » les forces agissant sur les articulations, qui engendraient le mouvement souhaité. Cette technique s'appelle la *cinématique inverse*,

assez classique, mais pas si facile à programmer [5, 6]. Bien sûr, dans la pratique on ne parle pas de « flots d'instructions venant du futur », on calcule tout simplement des inverses des matrices de Jacobi, etc., mais l'image est assez suggestive.

- Dans les modèles d'apprentissage des réseaux neuronaux on trouve des phénomènes du même genre [7, 8]. Une vision du processus d'apprentissage correspond à un flot *des erreurs* contre la flèche du temps. Ces exemples sont proches de la technique décrite ici.

2 Programmation fonctionnelle et états

La programmation des ordinateurs peut être *purement fonctionnelle*, une réalisation du calcul λ de Church. Toutefois, la programmation *réelle* ne se satisfait pas d'opérer avec des structures mathématiques transformées par des fonctions. Pour simuler les systèmes complexes, on a besoin de la notion d'état, de quelque « chose qui change », quand le programme s'exécute. Par exemple, on peut ajouter un compteur qui est incrémenté lors de chaque opération. Dans le monde fonctionnel on procède de manière suivante : au lieu d'opérer avec les valeurs, disons x , auxquelles on applique une fonction : $x \rightarrow f(x)$, on construit des *paires* (x,s) , où s est une structure de données qui symbolise l'état. Si s est le compteur, l'application (convenablement généralisée) de la fonction f produit l'objet $(f(x),s + 1)$.

La vérité est un peu plus complexe... On ne peut proliférer les compteurs partout, le programme doit assurer que l'état du système existe en un seul exemplaire ! En fait, la valeur x sera « liftée » vers une entité fonctionnelle, $\lambda s \rightarrow (x,s)$ (en Haskell : `\s -> (x,s)`). C'est une fonction *qui agit sur l'état* et ici – seulement le répertoire, sans changement. Par contre, une fonction primitive f agissant sur x provoque aussi le changement d'état, elle prend donc deux arguments ; en général toute expression devient une fonction de l'état

initial, et qui retourne une valeur et l'état final, éventuellement modifié. En Haskell nous définissons un opérateur (\Rightarrow) tel, que $f \Rightarrow m$ exécute l'expression m sur l'état initial, produisant l'état intermédiaire. La fonction f agit sur la valeur et cet état, et modifie les deux. Voici la définition de cette opération, assez courte :

```
f=>m=\s_init->let (x,s_mid)=m s_init
                (y,s_final)=(f x) s_mid
                in (y,s_final)
```

Toutes les opérations sont chaînées séquentiellement, et le programme devient une énorme fonction, ce qui semble bizarre, mais le modèle est parfaitement utilisable. Dans la section (4) il sera modifié de manière à rendre le flux d'états antithétique.

3 Différentiation automatique

Tout le monde scientifique a besoin de calculer les dérivées. On peut les calculer analytiquement ou numériquement (*via* des différences finies). La première méthode est pénible, la seconde – inexacte. Il existe cependant une technique « intermédiaire »: aussi exacte que la technique symbolique, mais purement numérique et automatique. *On demande à ce que les expressions numériques dans le programme soient enrichies par le calcul de leurs dérivées*, ce qui est pratiquement toujours possible automatiquement, le problème est algorithmiquement trivial. La technologie est bien connue, voir p. ex. [9, 10]. La méthode la plus simple, « directe » consiste à augmenter toute expression e sur le domaine de paires : (e, e') où e' est naturellement la dérivée de e . Quel que soit la complexité du programme, toute manipulation se réduit finalement à la combinaison d'opérations arithmétiques simples sur des sous-expressions. Si, pour simplifier le discours, nous traitons une seule « variable » x de différentiation, son « lifting » est égal, bien sûr, à $(x, 1)$. Toute constante c (comme 2, 0.5,

π , etc.) devient $(c,0)$. À présent nous pouvons définir les opérations arithmétiques sur de tels objets : $(e,e') + (f,f') = (e + f, e' + f')$, $(e,e') \times (f,f') = (ef, e'f + ef')$, $\sin(e,e') = (\sin(e), \cos(e) \times e')$, $\sqrt{(e,e')} = (\sqrt{e}, e'/2\sqrt{e})$ etc. En général, pour une fonction arbitraire f : $f(e,e') = (f(e), e' \cdot f'(e))$. Une affectation dans le programme : $g \leftarrow f(e_1, e_2, \dots, e_k)$ engendre l'instruction

$$\frac{dg}{dx} = \frac{\partial f}{\partial e_1} \frac{de_1}{dx} + \frac{\partial f}{\partial e_2} \frac{de_2}{dx} + \dots + \frac{\partial f}{\partial e_k} \frac{de_k}{dx} \quad (1)$$

et, sachant que les sous-expressions e_i ont déjà été construites avant, si leurs dérivées sont connues également et la fonction f est connue, toute expression g est algorithmiquement calculable avec sa dérivée. La généralisation aux plusieurs variables est simple, il faut prévoir pour chaque variable un vecteur – gradient, de dimension égale au nombre de variables.

3.1 Différentiation automatique inverse

Dans quelques circonstances, surtout quand on a besoin d'un seul résultat qui dépend de plusieurs variables, par exemple : la puissance d'un réacteur, ou la température d'une couche atmosphérique qui dépendent de centaines, voire plus, de paramètres – on procède différemment, pour l'efficacité on n'introduit pas des gradients pour chaque variable dans le programme. Par contre, pour chaque variable x , on introduit son *adjoint* \bar{x} . L'adjoint de e est spécifié formellement comme $\bar{e} = \partial z / \partial e$, où z dénote le résultat final du programme.

L'enchaînement des dérivées se fait « à l'envers », ce qui sera expliqué ci-dessous. La technique n'est pas facile à implémenter, mais elle est bien maîtrisée aussi, voir p. ex. [11]. Prenons à titre d'exemple le programme suivant :

$$y = \sin(x); \quad z = y^2 - x/y; \quad (2)$$

où x est la variable indépendante, et z est le résultat. Tandis que la méthode directe commence par identifier $dy/dx = \cos(x)$, et ensuite $dz/dx = \partial z/\partial x + \partial z/\partial y \times dy/dx$, la méthode inverse introduit d'abord pour toute variable e son adjoint. Il est évident que le résultat du programme augmenté, la valeur de la dérivée dz/dx est la valeur de l'adjoint de la variable indépendante x .

Pour toute affectation $g \leftarrow f(e_1, e_2, \dots, e_k)$ dans le programme, on ajoute (automatiquement, mais nous verrons que ceci pose des problèmes...) les instructions adjointes, qui **modifient les adjoints des variables à droite**:

$$\bar{e}_j \leftarrow \bar{e}_j + \bar{g} \frac{\partial f}{\partial e_j} \quad (3)$$

Mathématiquement c'est que l'on appelle une opération *contravariante*, soulignons le fait que c'est **l'usage**, non pas la définition d'une expression e qui définit son adjoint. La dérivation formelle de cette formule peut être trouvée dans [12]. Mais, comment ceci est possible? Quand dans le programme on affecte g pour la première fois, cette variable n'a jamais figuré auparavant dans une autre expression, seulement à partir de ce moment-là que nous avons le droit de l'utiliser. Cependant la valeur de son adjoint est nécessaire pour calculer \bar{e}_j . D'autre part, puisque $\bar{g} = \partial z/\partial g$, il faut connaître g pour calculer le résultat final, et donc les adjoints des variables. La situation semble inextricable. La réponse est: faire deux passes sur le programme. D'abord calculer tout dans le programme d'origine, et ensuite renverser le flux de contrôle et exécuter toutes les instructions associées (adjointes) dès la fin jusqu'au début.

Dans notre exemple, nous aurons

$$\begin{aligned} z = y^2 - x/y; & \quad \text{donne} & \quad \bar{x} \leftarrow \bar{x} + \bar{z}(-1/y); \\ & & \quad \bar{y} \leftarrow \bar{y} + \bar{z}(2y + x/y^2); \\ y = \sin(x); & \quad \text{donne} & \quad \bar{x} \leftarrow \bar{x} + \bar{y} \cos(x). \end{aligned} \quad (4)$$

Finalement $\bar{x} = -1/\sin(x) + \cos(x) (2 \sin(x) + x/\sin(x)^2)$ est la valeur de dz/dx . Dans les paquetages « industriels » on effectue ces deux passes, en prévoyant une zone de stockage (une « bande ») pour les instructions adjointes pendant la première phase du programme, quand on ne calcule que les valeurs principales. Nous avons voulu implémenter cet algorithme en *une passe*, à l'aide de puissantes techniques sémantiques de la programmation fonctionnelle.

4 Modèle fonctionnel de la DAI

Nous allons – comme il a été promis – « pervertir » la gestion d'état dans le cadre de la programmation fonctionnelle. Dans notre modèle, [12], qui est purement fonctionnel, pour chaque expression dans le programme nous introduisons son adjoint *considéré comme une partie de l'« état » du système*. Cependant, afin d'obtenir le comportement « anti-temporel », comme décrit dans la section précédente, nous allons modifier de manière plutôt drastique l'enchaînement des états à l'aide d'un nouveau opérateur (\Rightarrow), différent de l'enchaînement traditionnel. L'idée est basée sur un travail de Wadler [13]. Il faut imaginer que l'expression composite $\mathbf{f} \Rightarrow \mathbf{m}$ soit une fonction qui agit sur l'état final, non pas initial. Dans cet état final la fonction f s'applique à une valeur obtenue par l'évaluation de m .

Mais, en agissant ainsi, la fonction f produit accessoirement l'état intermédiaire, et c'est à cet état intermédiaire qu'il faut appliquer m pour récupérer sa valeur. L'expression m produit l'état initial.

Ceci ne peut vraiment être intuitivement compris car l'ordre temporel semble être violé, mais on *peut l'implémenter* en Haskell de manière naturelle :

```
f=>m =\s_final->let (x,s_init)=m s_mid
                    (y,s_mid)=(f x) s_final
                    in (y,s_init)
```

Observons, que m doit être exécuté afin de récupérer sa valeur principale x , pour que la fonction f puisse être appelée. Mais il faut appeler cette fonction « avant », pour avoir accès à `s_mid`, indispensable pour l'exécution de m . Nous avons deux flots antithétiques de dépendances entre les données.

Comparons ceci avec la section (1.1), le programme qui construit la liste `[1, 2, 1, 2, 1, ...]` avec deux variables x et y qui se réfèrent réciproquement. La programmation paresseuse permet l'application de tels astuces. La fonction f peut commencer son exécution sans connaître la valeur de ses paramètres. Il nous reste de spécifier « l'état » de façon à permettre au programme de calculer les adjoints durant la seconde, antithétique phase, qui dans la réalité se déroule en parallèle avec la première. Le rapport entre les états et les adjoints est simple. Au moment du démarrage du calcul, quand on évalue, disons, x , l'état initial est constitué de \bar{x} . À la fin, en construisant le résultat z , on considère que l'état final soit \bar{z} . Le secret de la faisabilité de notre « programme à voyager dans le temps » repose sur les constatations suivantes :

- L'état initial \bar{x} **ne peut** être connu au début des calculs, mais ceci n'est pas grave, car on n'en aura besoin qu'à la fin... Il peut rester « latent ». En fait, l'état initial « sera là », mais différé, sous forme d'un objet paresseux, non-évalué. C'est une « promesse » de livrer la valeur actuelle, quand toutes les dépendances entre variables seront résolues.
- Par contre, l'état final $\bar{z} = \partial z / \partial z \equiv 1$ est trivialement connu à l'avance ! Nous pouvons l'utiliser à n'importe quel moment.

4.1 Adjoints et états

On traitera – seulement pour simplicité – le cas 1-dimensionnel (une variable indépendante). Les expressions (ses valeurs) sont numériques,

appartiennent, disons, au type **a**, où **a** est typiquement **Double**, le type de nombres réels. Les adjoints – naturellement – aussi. Le type lifté, représentant les expressions-transformateurs d'états aura le type **Ld (a->(a,a))**, où la balise **Ld** est là uniquement pour guider les yeux, ce type *est une fonction*. On n'utilisera aucun opérateur **>=>** explicite, mais tout sera réalisé par des opérations arithmétiques standard, utilisables par un utilisateur quelconque, qui n'a même pas besoin de savoir que ces opérations prennent en charge les dépendances croisées entre données.

Les constantes numériques *c* et les variables *x* dans un programme augmenté doivent être « liftées » avec des fonctions ci-dessous :

```
lCnst c = Ld (\n->(c,0))    -- Une constante est triviale
lDvar x = Ld (\n->(x,n))    -- L'état est multiplié par 1
```

Voici quelques opérateurs arithmétiques qui réalisent les opérations sur les expressions liftées :

```
(Ld pp)+(Ld qq) = Ld (\n->
  let (p,pb)=pp n; (q,qb)=qq n in (p+q,pb+qb) )
(Ld pp)*(Ld qq) = Ld (\n->let (p,pb)=pp(n*q)
  (q,qb)=qq(p*n) in (p*q,pb+qb))
(Ld pp)/(Ld qq)=Ld (\n->let (p,pb)=pp(n*recip q)
  (q,qb)=qq eq; eq= -(p/(q*q))*n in (p/q,pb+qb))
```

```
exp (Ld pp) = Ld (\n->
  let (p,pb)=pp (w*n); w=exp p in (w,pb))
sqrt (Ld pp) = Ld (\n->
  let (p,pb)=pp eb; w=sqrt p; eb=(0.5/w)*n
  in (w,pb))
```

On peut également prendre une fonction quelconque (codée séparément) **f**, et si sa *dérivée formelle* **f'** est connue (est également codée ; par exemple **f** peut être la fonction sinus hyperbolique, alors la dérivée sera le cosinus hyperbolique), alors on peut prévoir un « lifting »

générique, universel :

```
lift f f' (Ld pp) = Ld (\n->
  let (p,pb)=pp eb; eb=(f' p)*n in (f p,pb))
```

Les constructions ont un goût artificiel et demandent une bonne expérience, mais on peut les enseigner en deux heures aux étudiants en physique, etc. tandis que les détails de l'approche traditionnelle occupent quelques dizaines de pages. Donc, même si l'efficacité de la méthode proposée ici n'est pas idéale, sur le plan méthodologique cette « sortie du temps », et une vision non-orthodoxe de structures de contrôle semble très promettante.

On écrit un programme « presque normal », avec des variables, constantes etc., appartenant au domaine de transformateurs d'états. Le programme s'exécute normalement, mais à la fin on constate qu'il retourne un transformateur d'états, une fonction qui attend *encore* d'être appliquée. On l'applique à 1, à l'adjoint du résultat final : dz/dz , et on récupère (z, \bar{x}) .

5 Conclusions

Puisque dans le modèle fonctionnel, par excellence statique, le temps n'est pas une catégorie ontologique, nous pouvons faire des expériences assez étonnantes avec la causalité comprise comme une *relation logique*. Le temps qui subit des bifurcations, le temps qui va à l'envers, etc., tout ceci devient techniquement modélisable. Le but de ces modèles est de *faciliter la programmation*. Un chercheur ou ingénieur placé devant un problème logique complexe, surtout dans le domaine de simulation, constate plusieurs embrouillements : des fragments d'un système influencent la totalité, mais le global détermine le comportement des fragments. Le système se comporte téléologiquement, et anticipe ses actions selon un objectif *a priori*, même si physiquement cela est douteux.

Pour organiser un programme de manière propre nous avons besoin de rompre la relation entre le temps physique et le temps simulé, tout en respectant la causalité. Ainsi nous pourrions programmer la consommation d'un « fil d'Ariane » avant que celui-ci sera placé, mais s'assurant *formellement* qu'effectivement il sera déroulé comme il faut plus tard. Ce « plus tard », grâce aux protocoles de la programmation paresseuse devient beaucoup plus contrôlable. Ces techniques sont difficiles... Cependant, au lieu de décrire en termes généraux la méthodologie exposée, nous avons préféré de donner un exemple *très concret*, et utile dans la programmation scientifique. La combinaison de détails techniques et d'une vision non-classique du contrôle a produit un certain abus de constructions par analogie *dans la présentation*. Le lecteur voudra nous en excuser.

Références

- [1] Huw Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point*, Oxford Univ. Press, (1996).
- [2] Site web : <http://www.haskell.org> contient les distributions des compilateurs et toute la documentation.
- [3] Jerzy Karczmarczuk, *Traitement paresseux et optimisation des suites numériques*, JFLA'2000, Mt St. Michel, pp. 17–30.
- [4] Philip K. Dick, *Counter Clock World*, Berkley P.B., (1967). Voir aussi : *The World Jones Made*, où le héros, qui vit simultanément en deux tranches du temps, est obligé de synchroniser sa connaissance du futur *inéluçtable*, avec les dépendances entre les processus, qu'il engendre lui-même.
- [5] D.E. Whitney, *Resolved Motion Rate Control of Manipulators and Human Prostheses*, IEEE Trans. on Man-Machine Systems, **0**:2, pp. 47-53, (1969).

- [6] C. Welman, *Inverse Kinematics and Geometric Constraints for Articulated Figure Manipulations*, Simon Fraser Univ. (1993).
- [7] E.A. Wan, F. Beaufays, *Diagrammatic Derivation of gradient Algorithms for Neural Networks*, Neural Computation, (1994), ou autres articles de Eric Wan et Françoise Beaufays.
- [8] P. Werbos, *Backpropagation Through Time: What It Does and How to Do It*, Proceedings IEEE, special issue on neural networks **2**, pp. 1550–1560, (1990).
- [9] L.B. Rall, *Automatic Differentiation – Techniques and Applications*, Springer Lecture Notes in Comp. Sci., Vol. **120**, (1981).
- [10] D. Juedes, *A taxonomy of automatic differentiation tools*. Dans : A. Griewank and G. F. Corliss, editeurs, *Automatic Differentiation of Algorithms: Theory, Implementation, and Application*, SIAM, Philadelphia, Penn., (1991), pp 315–329.
- [11] R. Giering, T. Kaminski, *Recipes for Adjoint Code Construction*, ACM TOMS, **24(4)**, (1998), pp. 437–474.
- [12] J. Karczmarczuk, *Calcul des adjoints et programmation paresseuse*, Journées JFLA '2001, Pontarlier, (2001), pp. 145-156.
- [13] P. Wadler, *The Essence of Functional programming*, 19'th Symp. on Princ. of Prog. Lang., Santa Fe, (1992).

Aux premiers temps des paysages dans le haut-Arctique

Approche intégrée de la mise en place des paysages dans un contexte de changement climatique global depuis la fin du Petit Âge Glaciaire



Résumé : La fin du Petit Âge Glaciaire signe le début du retrait glaciaire au Spitsberg (79° N) vers 1880. Les marges proglaciaires sont un des marqueurs paysagers les plus importants de ce nouveau contexte post-glaciaire surtout au Spitsberg où 60% de la superficie est couverte par les glaciers. Cet élément paysager élaboré depuis plus de cent ans est aujourd'hui le théâtre de dynamiques végétales : la colonisation végétale. Ces pas de temps distincts, dans les dynamiques de mise en place et d'évolution du paysage intra-morainique, se croisent et offrent au final une mosaïque de paysages. Ce panel né du côtoiement d'espaces en construction depuis le départ du glacier, au début du XX^{ème} siècle, à ceux tout récemment déglacés. Cette complexité dans les temps d'élaboration du paysage intra-morainique a été observée sur les marges proglaciaires des midre et austre Lovénbreen sur la façade nord-occidentale du Spitsberg. Il est possible à partir des séries de photographies aériennes de reconstruire la chronologie de déglaciation des dépôts morainiques. Les secteurs intramorainiques ainsi datés et associés à des relevés de terrain permettent d'estimer les rythmes d'installation du couvert végétal et les successions floristiques qui se succèdent. Cette chronologie met en évidence d'autres facteurs clés dans la dynamique des milieux tels que ceux liés à la microtopographie que nous modélisons in fine pour produire des cartes de probabilités d'apparition de plantes elle-même témoins de l'accentuation du réchauffement climatique.

Mots-clés : Petit Âge Glaciaire, recul glaciaire, colonisation végétale, marge proglaciaire, microtopographie, MNT, probabilités.

Introduction

L'incidence du réchauffement climatique global sur les milieux naturels et les écosystèmes prend une place importante parmi les recherches conduites au Spitzberg. Les signes de ce changement sont convergents et importants depuis la fin du Petit Âge Glaciaire dont la date se situe aux environs de 1880 (André, 1995). Dans certaines zones arctiques, la remontée de la température moyenne annuelle dépasse les 4°C (Héquette, 1986). Un tel réchauffement a provoqué un recul rapide de la majorité des glaciers à partir de 1918 (Lefauconnier et *al.* 1990) ; des surfaces importantes se sont libérées et s'ouvrent à la colonisation végétale. Quels sont les temps de réponse de la végétation pour coloniser les espaces récemment déglacés ? De nombreux travaux ont abordé cette question en Arctique et en montagne (Stork, 1963; Moiroud, 1976; Birks, 1980; Matthews, 1992 ; Moreau, 2001). Ils ont montré comment la reconquête végétale accompagne la maturation des moraines. Mais qu'en est-il pour le haut-Arctique ? Les contraintes de l'environnement polaire pèsent sur le développement des végétaux, en terme de variété floristique (160 espèces de phanérogames au Spitzberg, Rønning, 1996) et de biomasse. Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est d'analyser le processus de reconquête végétale aux fronts des glaciers midre et austre Lovénbreen en presqu'île de Brøgger (79° N). Une campagne d'observations systématiques entre les fronts glaciaires et les arcs morainiques externes, nous permet dans un premier temps de caractériser les étapes de la reconquête végétale, qu'il s'agisse de la diversification des espèces ou de l'extension du couvert végétal. Bien que prépondérant, l'âge des surfaces ne permet pas à lui seul de modéliser l'évolution des paysages. C'est pourquoi, dans une seconde étape, nous tentons d'intégrer via une modélisation probabiliste, des facteurs microtopographiques pour affiner notre analyse. Il est alors possible de spatialiser – dans le sens de couvrir de manière continue l'espace considéré – des variables décrivant la végétation observée initialement ponctuellement.

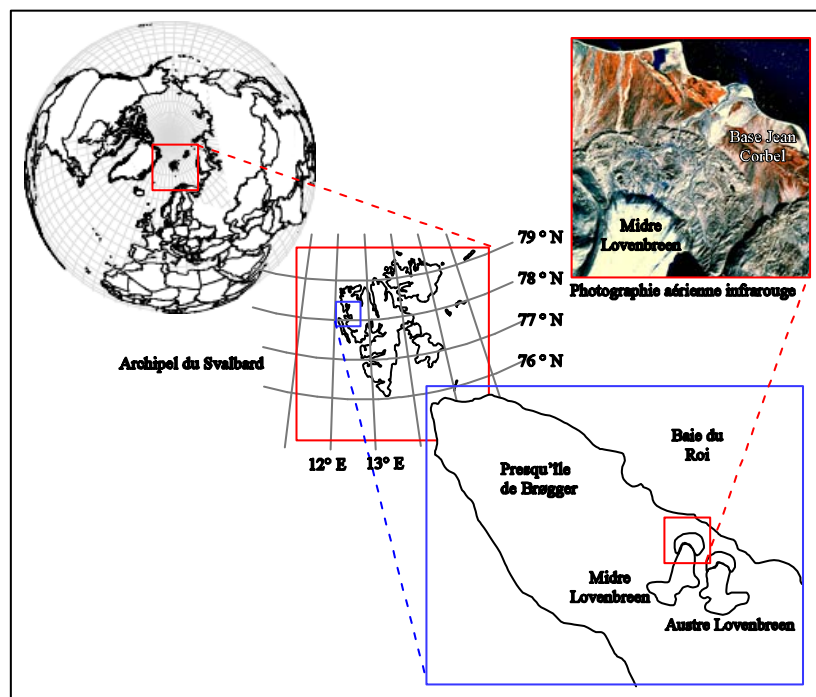


Figure 1 : Localisation des secteurs morainiques étudiés

Le terrain d'étude et les données utilisées

Le Spitsberg, île principale de l'archipel du Svalbard, se situe entre 76°N et 81°N (figure 1). Sous l'influence du courant chaud Nord Atlantique, la façade ouest de l'île est marquée par un climat polaire maritime plus doux et plus humide qu'ailleurs à la même latitude. Les marges proglaciaires des glaciers Lovénbreen observées pour cette étude se situent au nord-ouest de l'île, à 79°N, en presque-île de Brøgger. Nous sommes dans la zone du haut-Arctique considérée botaniquement comme occupée par la toundra, plus particulièrement sur la façade ouest du Spitsberg qualifiée de zone à *Dryas octopetala* (Elvebakk, 1997). La végétation de la toundra est très structurée, les différentes espèces végétales se distribuant de manière très régulière. Les variations du couvert végétal sont étroitement liées à celles des facteurs environnementaux si bien qu'elles reflètent parfaitement les modifications induites au niveau micro-géomorphologique par les agents physiques (substrat, hydrologie, etc) (Nilsen et al., 1999). Ainsi, Nimis (1985) montre, en presque-île de Brøgger, que toutes les transitions entre les types de communautés végétales correspondent aux variations dans l'inclinaison du sol. La végétation de la toundra a la particularité d'être un marqueur très sensible des conditions topographiques et de répondre aux évolutions géomorphologiques des stations végétalisées. Qu'en est-il dans la zone intramorainique où le couvert végétal est en pleine évolution ? Comment observé un système paysager...

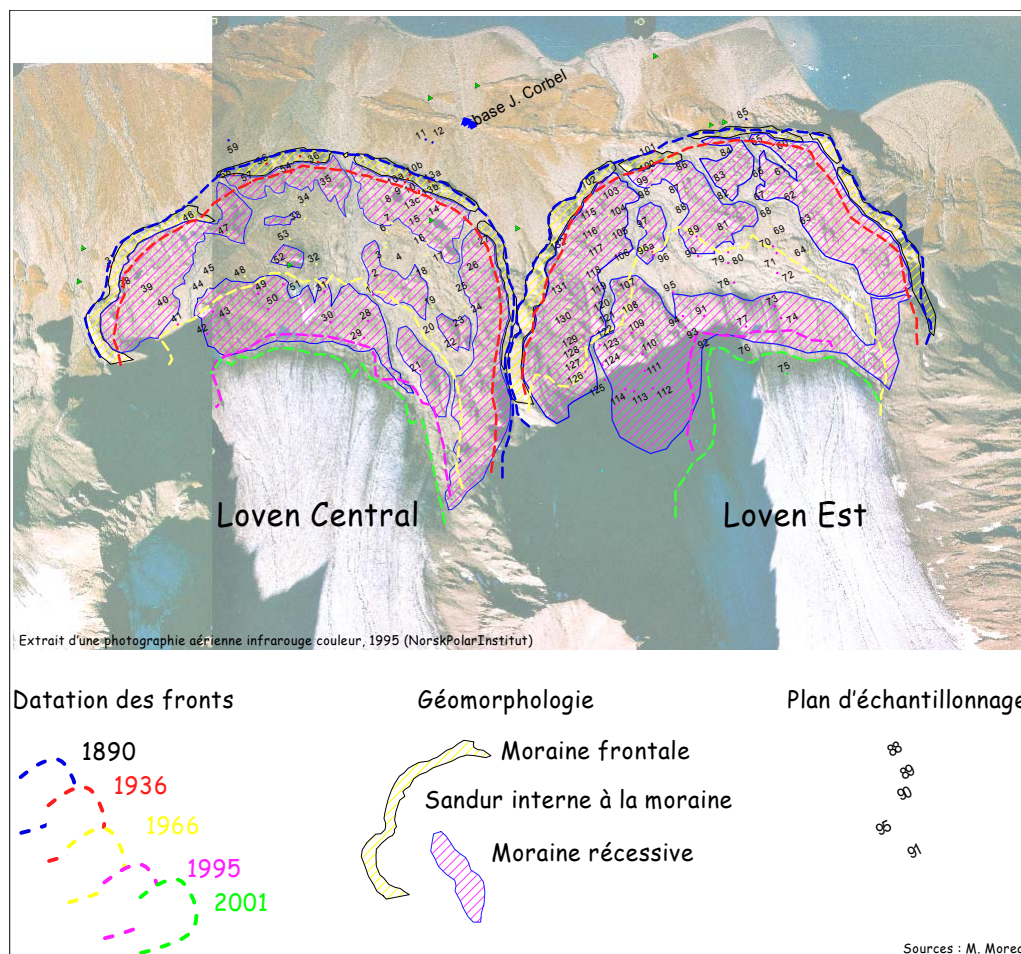


Figure 2 : Plan d'échantillonnage des données terrain.
D'après la photographie aérienne de 1995 du Norsk Polarinstitut

Le recul glaciaire et l'âge des surfaces peuvent être suivi à partir de couvertures de photographies aériennes orthorectifiées. La cartographie du recul des glaciers est réalisée à partir de la position de la moraine frontale pour l'extension maximale du Petit Âge Glaciaire de photographies obliques pour 1936 et photographies verticales de 1948. En combinant l'âge des surfaces avec une carte sommaire des contextes géomorphologiques intramorainiques, nous définissons des quotas de relevés. Le plan d'échantillonnage suit un cheminement le long de transects du front des glaciers aux vallums morainiques (figure 2). Chaque relevé s'intéresse à la composition végétale et au contexte géomorphologique. Le relevé est réalisé à partir de plusieurs grilles de 1 m² qui permettent une observation ponctuelle surfacique (positionnement au GPS différentiel).

Les indicateurs de la microtopographie sont calculés à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à très haute résolution spatiale (maille de 2m) réalisé au cours de précédentes missions par des mesures avec un GPS différentiel (Brossard & al., 1998).

Méthodologie

La figure 3 présente une chaîne méthodologique soulignant les échelles de temps et les niveaux d'observations géographiques associés à notre démarche. Le temps est celui qui nous sépare de l'optimum du Petit Âge Glaciaire lui-même inscrit dans d'autres cycles et dans un contexte de changement global. Notre niveau d'observation est celui des espaces intramorainiques libérés des glaces, siècle de la colonisation végétale.

La première phase d'analyse repose sur une démarche de statistique descriptive classique. Les rythmes de la colonisation végétale sont donnés par le laps de temps écoulé entre le retrait de la glace et la mise en place des différents stades de végétation. Chacun de ceux-ci est défini par un cortège floristique caractéristique (figure 4).

Il est par ailleurs connu que l'âge des surfaces, bien qu'étant un élément explicatif prépondérant, ne permet pas d'expliquer à lui seul les dynamiques végétales (Vetaas, O.R., 1997 ; Jumpponen et al., 1999). D'autres facteurs interviennent comme ceux liés à l'aérogénie de surface et à la microtopographie (niveau 1 sur la figure 5). Brossard & al. ont modélisé les conditions climatiques à très haute résolution spatiale dans les espaces intramorainiques montrant ainsi l'importance de la microtopographie pour le développement des plantes. Le chaos intramorainique constitue une mosaïque de microfaciès en cuvettes, bosses, arêtes et autres versants aux potentiels nuancés pour la reconquête végétale. Dans le but de mesurer l'influence du microrelief dans le fonctionnement du système paysager, nous procédons à une seconde campagne d'observation. Ces relevés sont fondés sur un plan d'échantillonnage (Keersmaecker, 1984 ; Laffly & al., 2002) déterminé selon des quotas de fréquences d'apparition de variables microtopographiques telles que l'altitude, la pente, le rayonnement global au solstice d'été, l'orientation, la forme dominante... (figure 5). Cette seconde phase est rendu possible par l'existence d'un MNT à très haute résolution spatiale (2 m de résolution) levé par utilisation d'un GPS différentiel (40 000 points) au cours de plusieurs missions entre 1995 et 1999.

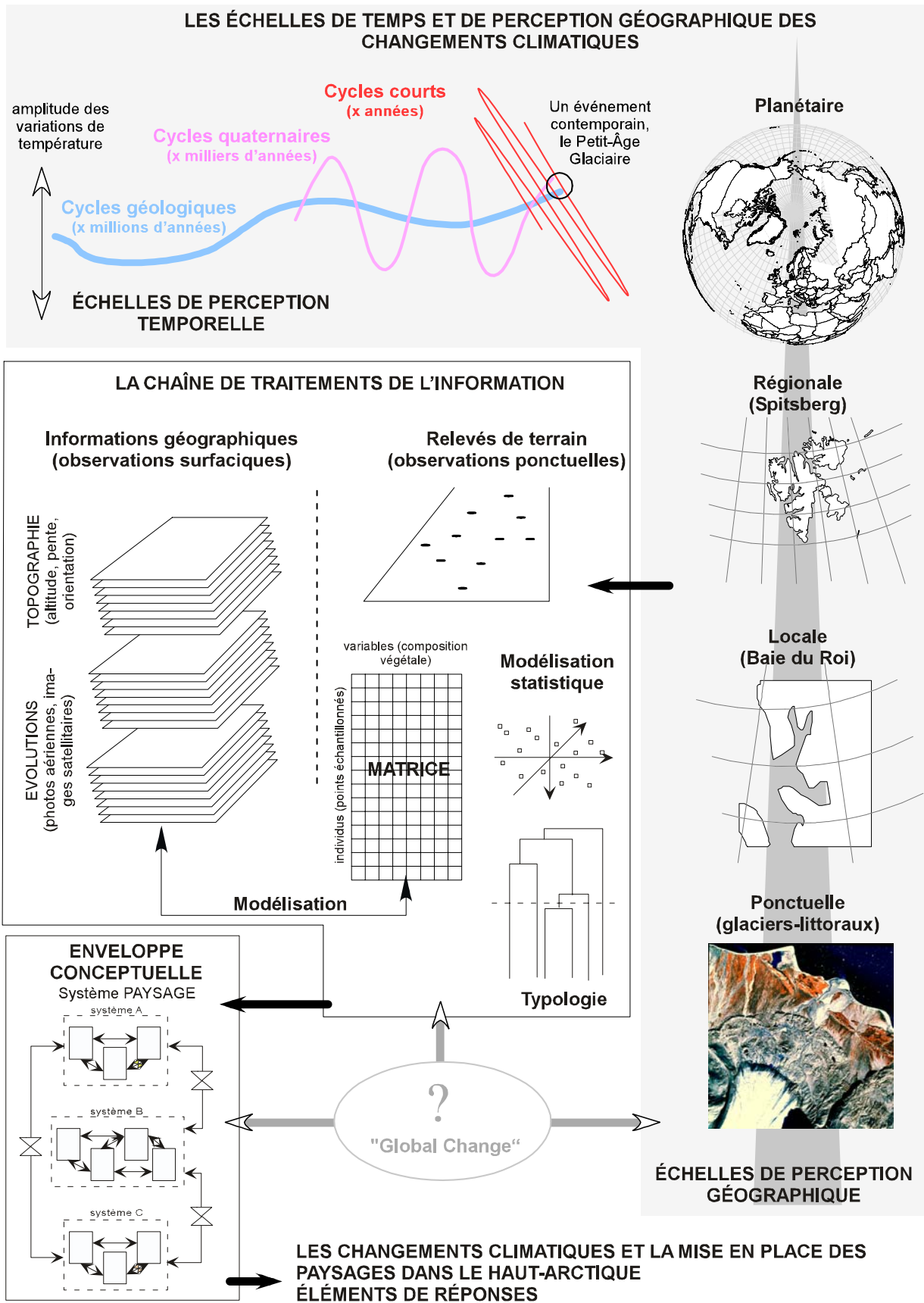


Figure 3 : Les échelles de temps et les niveaux d'observation géographique

Les données collectées – selon la même stratégie que celle présentée plus – font l’objet d’une analyse statistique multivariée – Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) – dans le but d’obtenir une typologie associant faciès microtopographique et composition végétale.

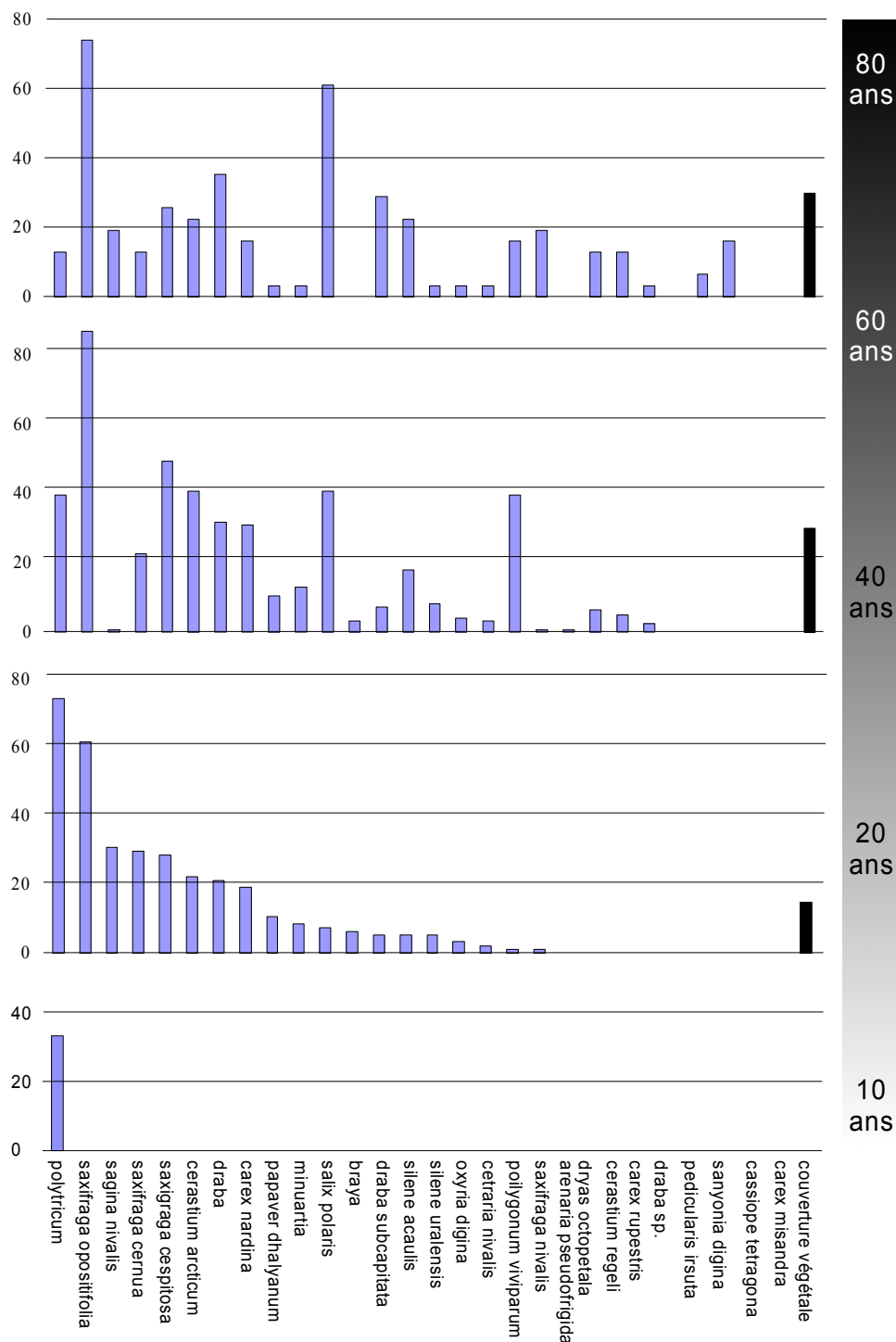


Figure 4 : Évolution de la fréquence et de la présence des espèces végétales en relation avec la maturation des surfaces, sur les marges proglaciaires des midre et austre Lovénbreen

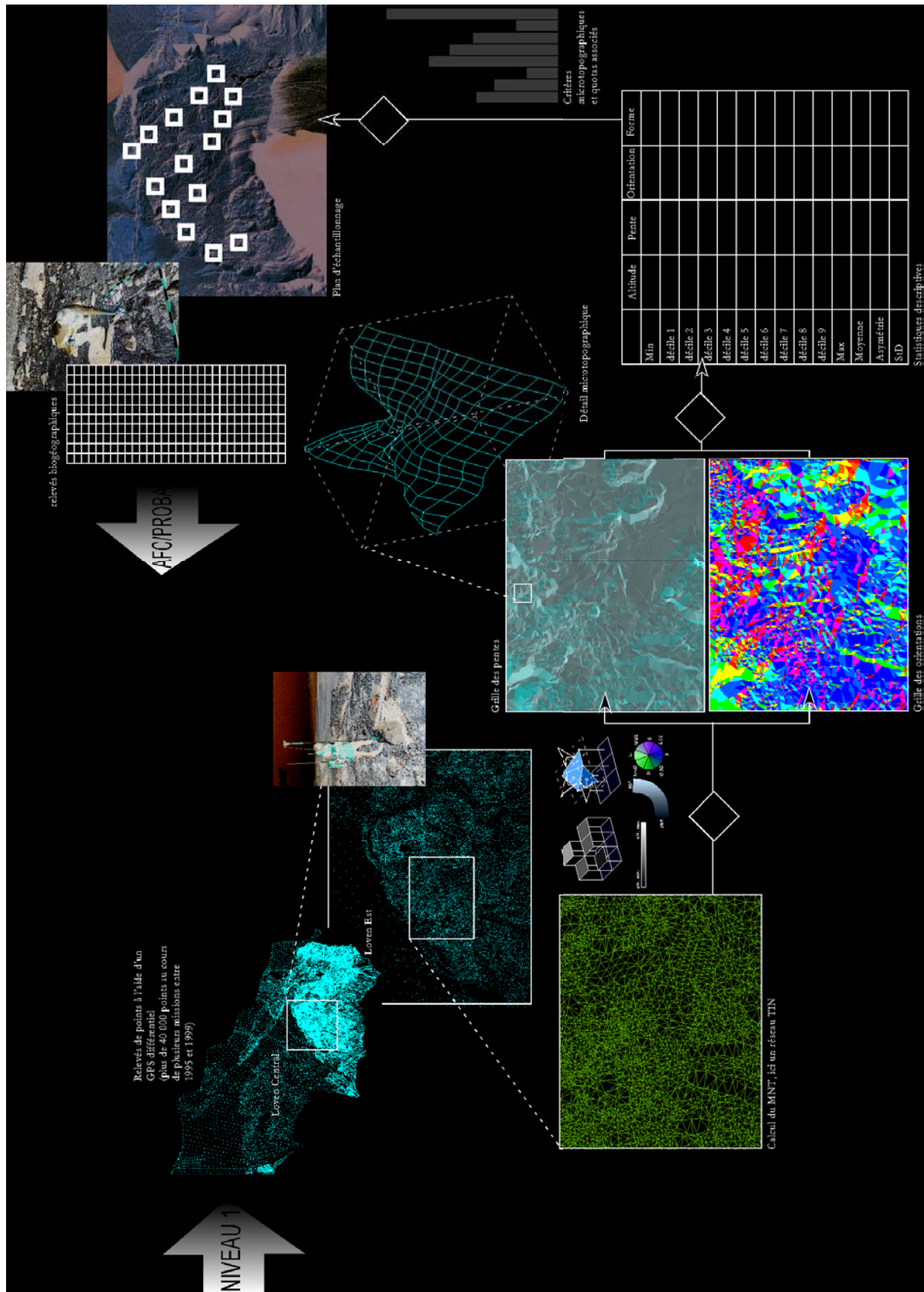


Figure 5 : Intégrer les facteurs microtopographiques

Les profils de variables, définissant chacune des classes, sont fixés comme des règles de probabilités empiriques dans une démarche bayésienne (1). Par conséquent, connaissant le profil des variables d'un individu il est possible de déduire sa probabilité d'appartenir à chacune des classes (Cochran, 1997). De là plusieurs scénarios sont envisageables (Brossard & al., 1994) : classer l'individu dans la classe ayant le plus fort score de probabilités ; donner à l'individu la probabilité pour une classe sélectionnée ; connaissant à quelle classe appartient l'individu, donner la probabilité d'apparition de telle ou telle variable.

(1)

$$P(B_i/A) = \frac{P(B_i).P(A/B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j).P(A/B_j)}$$

où $P(B_i/A)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_i sachant que l'évènement A est réalisé ;
 $P(B_i)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_i ;
 $P(A/B_i)$: probabilité conditionnelle de l'évènement A sachant que l'évènement B_i est réalisé ;
 $P(B_j)$: probabilité conditionnelle de l'évènement B_j ;
 $P(A/B_j)$: probabilité conditionnelle de l'évènement A sachant que l'évènement B_j est réalisé ;
 n : nombre d'évènements possibles.

Nous utiliserons les variables spatialisées de la microtopographie pour cartographier en terme de probabilités d'apparition les variables décrivant la végétation observées initialement ponctuellement sur le terrain (AFC/PROBA sur la figure 5).

Résultats et discussions

Depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, on a pu identifier, au sein de l'appareil morainique, quatre stades de retrait glaciaire. En terme floristique, l'analyse des relevés fait ressortir un ajustement significatif de la végétation à ces quatre phases de retrait (figure 4). Depuis le front glaciaire jusqu'au vallum externe, on distingue les éléments caractéristiques suivants :

- À proximité du front actuel où la glace a disparu depuis moins de 10 ans, le taux de recouvrement végétal est quasi nul et deux espèces de mousses amorcent la colonisation : *Polytrichum species* et *Onchophorus wahlenbergii*.
- Un peu plus éloignée du front, une auréole déglacée depuis 35 ans environ se relie à un deuxième stade de colonisation. 16 espèces végétales y sont dénombrées avec un recouvrement au sol de 15 %.
- Avec le troisième stade qui remonte jusqu'à soixante ans, le cortège floristique compte 22 espèces et couvre 30 % du sol.
- Enfin, associé à la première phase de retrait consécutive au Petit Âge Glaciaire, la diversification végétale marque le pas. Le nombre d'espèces reste le même qu'au stade plus récent mais avec une recomposition qualitative. Ainsi, certaines espèces végétales comme *Dryas octopetala* sont plus abondantes et tendent à imprimer leur marque au couvert végétal. À ce stade, le processus de colonisation est toutefois loin d'être parvenu à son terme. Les taux de recouvrement restent faibles ; le paysage morainique du vallum externe garde un caractère minéral marqué avec une physionomie végétale encore pionnière, éloignée de la toundra d'équilibre.

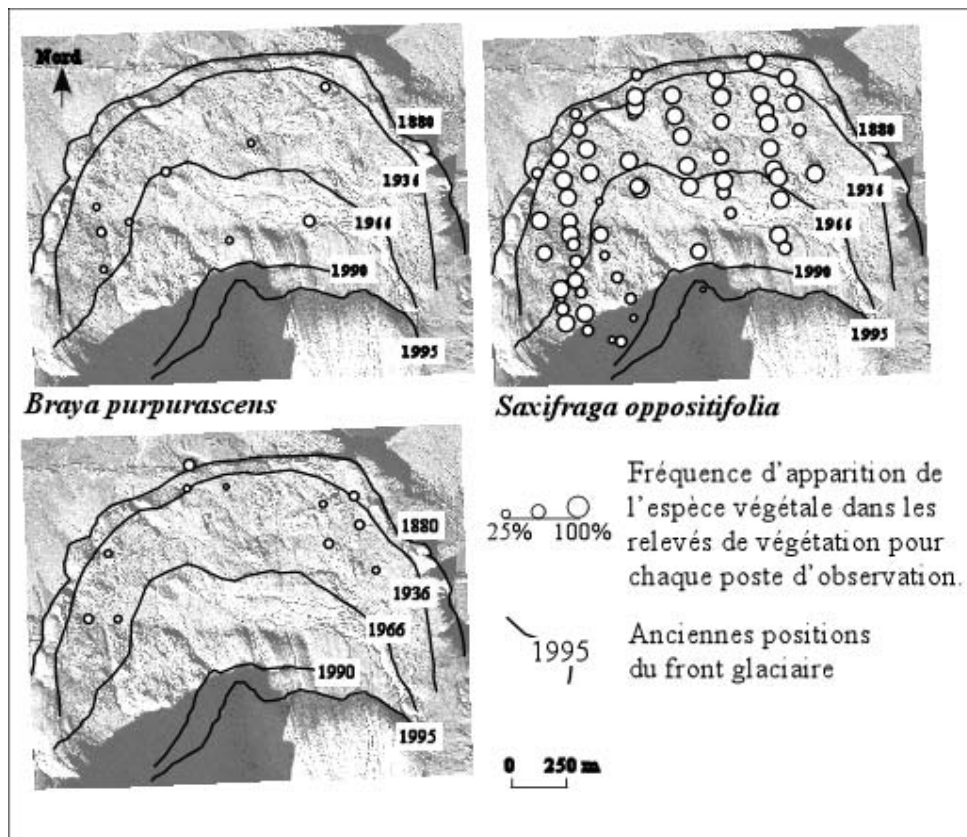


Figure 6 : Distribution spatiale de différentes espèces végétales

Des cartes de distribution espèce par espèce permettraient de compléter ce bilan global et de définir quel est le délai nécessaire à chacune pour s'installer. Comme il n'est pas possible de procéder à un inventaire complet, trois exemples sont choisis (figure 6) ; ils montrent comment les stratégies de colonisation peuvent se distinguer d'une plante à l'autre : *Braya purpurascens* s'installe très tôt sur des dépôts jeunes tandis que *Dryas octopetala* exige un délai beaucoup plus long et occupe les dépôts les plus anciens. Quant à *Saxifraga oppositifolia*, elle est indifférente à l'âge des dépôts et peut se rencontrer sur l'ensemble de l'espace intra-morainique. Ces trois cas montrent que la colonisation est caractérisée par des espèces qui n'ont pas toutes la même valeur discriminante pour signer les différentes étapes du processus de maturation de la végétation.

Les modalités de la reconquête végétale

La reconquête végétale est jalonnée par la mise en place de groupements végétaux caractéristiques, depuis les éléments pionniers épars jusqu'aux formes les plus matures préfigurant la toundra jointive qui occupe les habitats anciens et stables hors des moraines.

Les groupements, ordonnés en séquence, sont marqués à chaque étape, par un flux d'espèces entrantes et sortantes (figure 7). Ainsi, *Braya purpurascens*, présente très tôt dans le processus de colonisation, disparaît des zones les plus anciennement déglacées alors que *Dryas octopetala* se relie exclusivement à cette dernière phase. Les espèces nouvellement implantées

sont mieux adaptées aux conditions mésologiques créées par la maturation du milieu tandis que les espèces pionnières, progressivement concurrencées, tendent à disparaître des relevés. Un tel phénomène s'accompagne d'une recomposition floristique qui s'ordonne en fonction du temps et dont chaque stade constitue le biomarqueur d'un niveau d'évolution du couvert végétal.

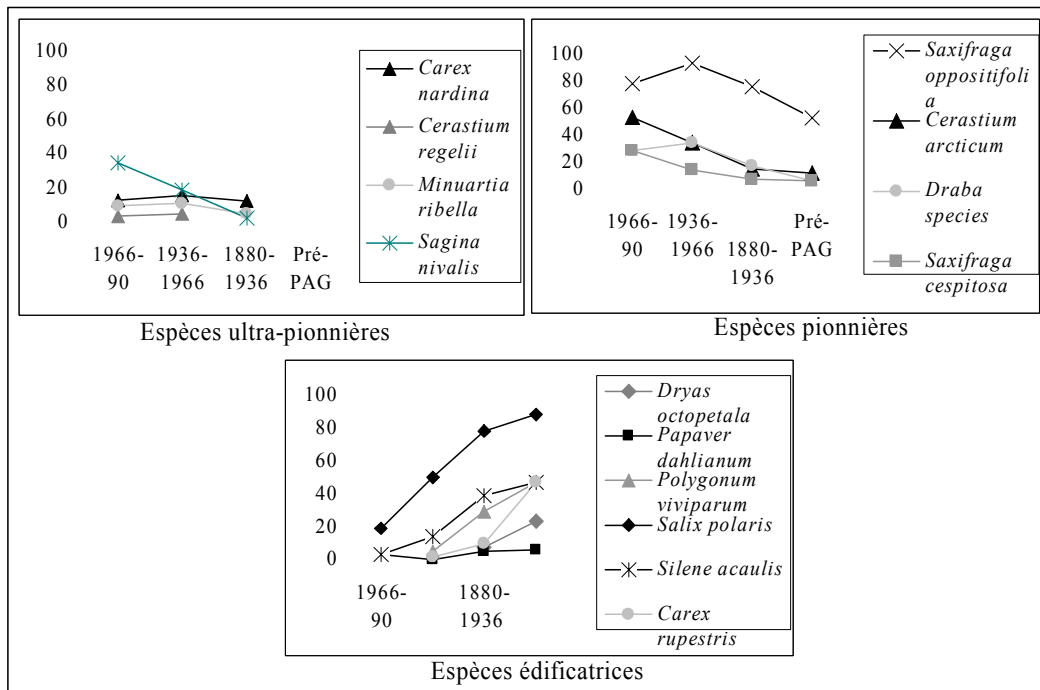


Figure 7 : des espèces pionnières à celles édificatrices

La dynamique de la végétation est marquée par deux groupes d'espèces dont les comportements sont contradictoires en regard du processus de maturation des surfaces. Il y a d'abord les espèces végétales dont la fréquence et l'abondance dans les relevés diminuent avec la maturation : il s'agit des espèces pionnières au sens large. Il y a ensuite celles qui, en sens inverse, prennent le relais au cours du temps et s'imposent, au détriment des pionnières, dans la composition et la physionomie du couvert ; il s'agit des espèces édificatrices.

Parmi les pionnières, on peut encore distinguer deux sous-ensembles. Le premier est formé des espèces dites ultra-pionnières. Elles sont discrètes dans le paysage et présentes dans moins de 20% des relevés. Certaines, comme *Cerastium regelii*, ont disparu des moraines les plus vieilles tandis que d'autres, comme *Sagina nivalis*, toujours présentes à ce stade, ne se retrouvent plus en dehors des zones de reprise du Petit Âge de Glaciaire; elles ont toutes disparu des formations de toundra continue qui recouvrent les espaces limitrophes stabilisés depuis plusieurs millénaires. Le second groupe d'espèces est dit pionnier strict. Ces espèces sont déjà fréquentes sur les dépôts jeunes près du front glaciaire mais elles se raréfient avec la maturation des surfaces. Elles peuvent se maintenir dans la toundra d'équilibre mais avec contribution très atténuée. *Cerastium arcticum* qui voit sa fréquence diminuer entre les moraines de 1966-90 et la toundra ancienne peut être donné en exemple de ce groupe.

Quant aux espèces dites édificatrices, on les retrouve en abondance significative dans la toundra. C'est le cas de *Salix polaris* qui peut se satisfaire d'un environnement minéral mais dont la fréquence triple, entre les dépôts de 1966-90 et la toundra, où elle est présente dans

près de 90 % des relevés. Certaines de ces espèces sont absentes des dépôts jeunes ; tel est le cas de *Polygonum viviparum* qui apparaît avec la frange de dépôts libérée entre 1936 et 1966.

Du point à la surface via les descripteurs microtopographiques

La figure 5 présente, en outre, l'image des pentes et des orientations, elles illustrent de manière évidente le chaos des formes entrelacées à l'intérieur de l'espace intramorainique. La classification issue des résultats de l'AFC permet d'observer dans le détail les liens unissant microtopographie et formation végétale. La figure 8 correspond à la cartographie de la classe ayant la probabilité la plus forte d'apparaître par pixel, on y trouve également deux exemples de profil de variables par classe.

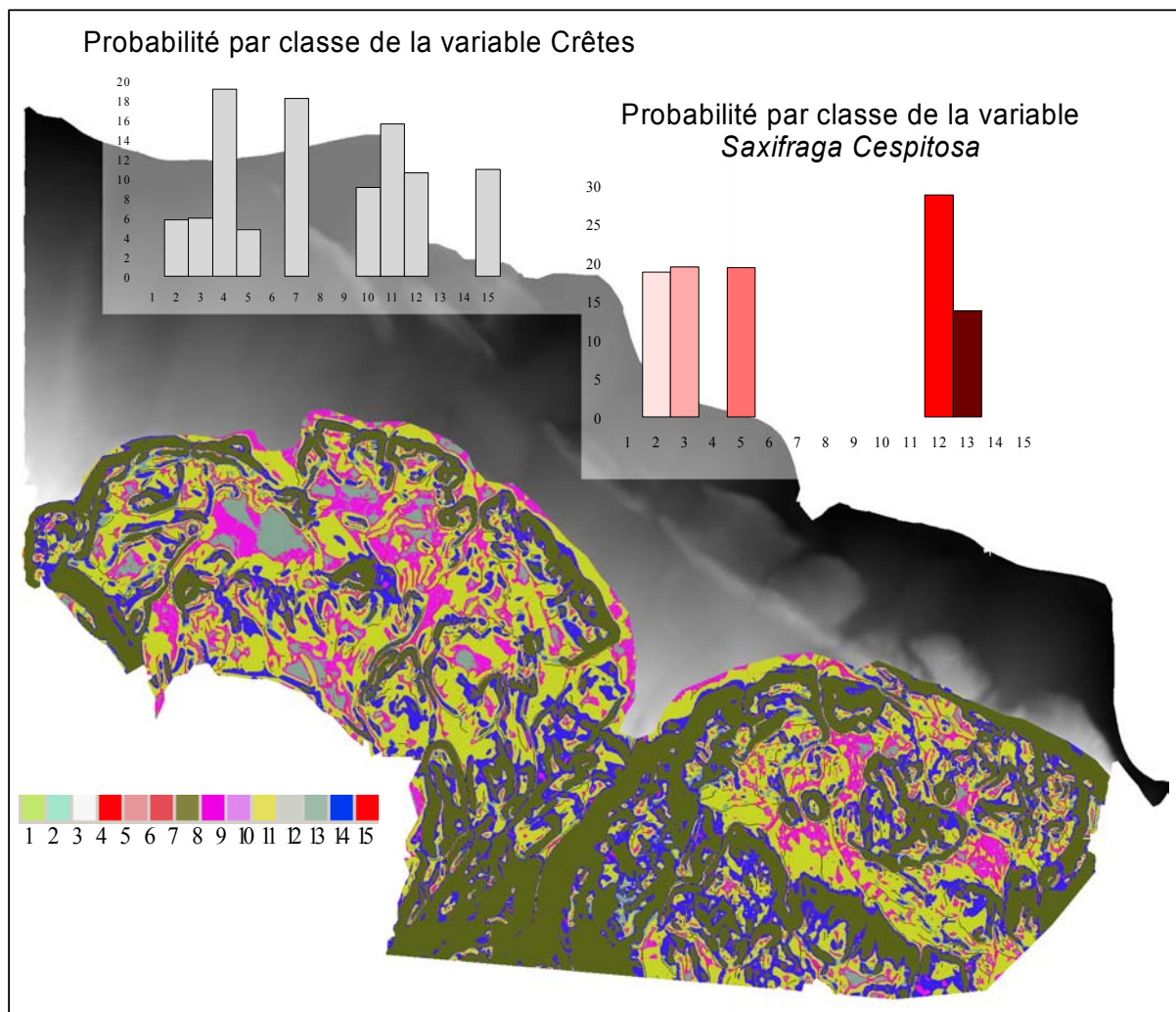


Figure 8 : cartographie des classes ayant la plus forte probabilité d'apparition

Nous ne détaillerons pas ici les modalités liant microrelief et groupement végétal, la localisation des espèces végétales ayant déjà été décrit plus haut. En revanche, nous insistons sur la logique floue qui sous tend notre démarche probabiliste. Autant la typologie issue de la CAH réalisée sur les résultats de l'AFC peut être considérée comme « rigide » – à la métrique près – autant la typologie issue du calcul des probabilités conditionnelles ne l'est pas. Chaque

classe a une probabilité non nulle d'apparaître, celle dont le score est maximale est retenue pour être affectée au pixel. Il n'en demeure pas moins que les situations varient, dans certains cas ce score maximal est nettement marqué – la classification est alors relativement fiable – dans d'autres il est beaucoup plus nuancé et les écarts entre différentes classes sont faibles – la classification sera alors beaucoup moins fiable. Il est possible de générer des images présentant les scores probabilistes pour une classe choisie (figure 8), elles viennent en complément d'interprétation de l'image de la typologie. On distingue que pour cet exemple les faciès en versant à forte pente exposés au sud qui caractérisent la classe 15 sont particulièrement bien identifiés par rapport aux autres milieux.

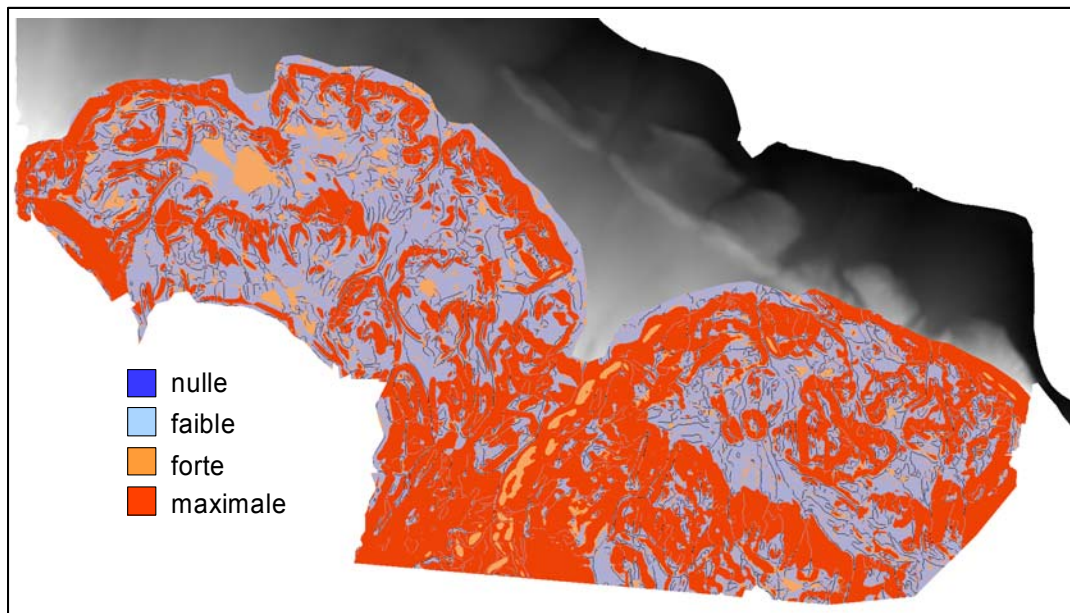


Figure 8 : probabilité conditionnelle d'apparition de la classe 15, versant à forte pente exposé au sud

Enfin, en tenant particulièrement compte des réserves présentées plus haut, nous utilisons le modèle de probabilités conditionnelles pour spatialiser – dans le sens de couvrir de manière continue – les variables décrivant la végétation initialement observées ponctuellement.

Connaissant en tout point de l'espace les conditions microtopographiques – donc la classe pour laquelle le score est le plus fort – il est alors possible d'associer la probabilité conditionnelle d'une variable thématique à cette même classe et de produire une carte. La figure 9 présente un exemple de cartographie de la répartition spatiale de *Saxifraga cespitosa*. Cette cartographie souligne l'importance du facteur local dans la répartition spatiale de l'espèce. Seuls quelques secteurs morainiques semblent proposer les conditions topographiques favorables pour le développement de *Saxifraga cespitosa*. Bien que l'âge des surfaces soit un des facteurs d'entrées de l'espèce dans la colonisation, il est nécessaire que certaines conditions soient réunies pour que l'espèce puisse s'installer.

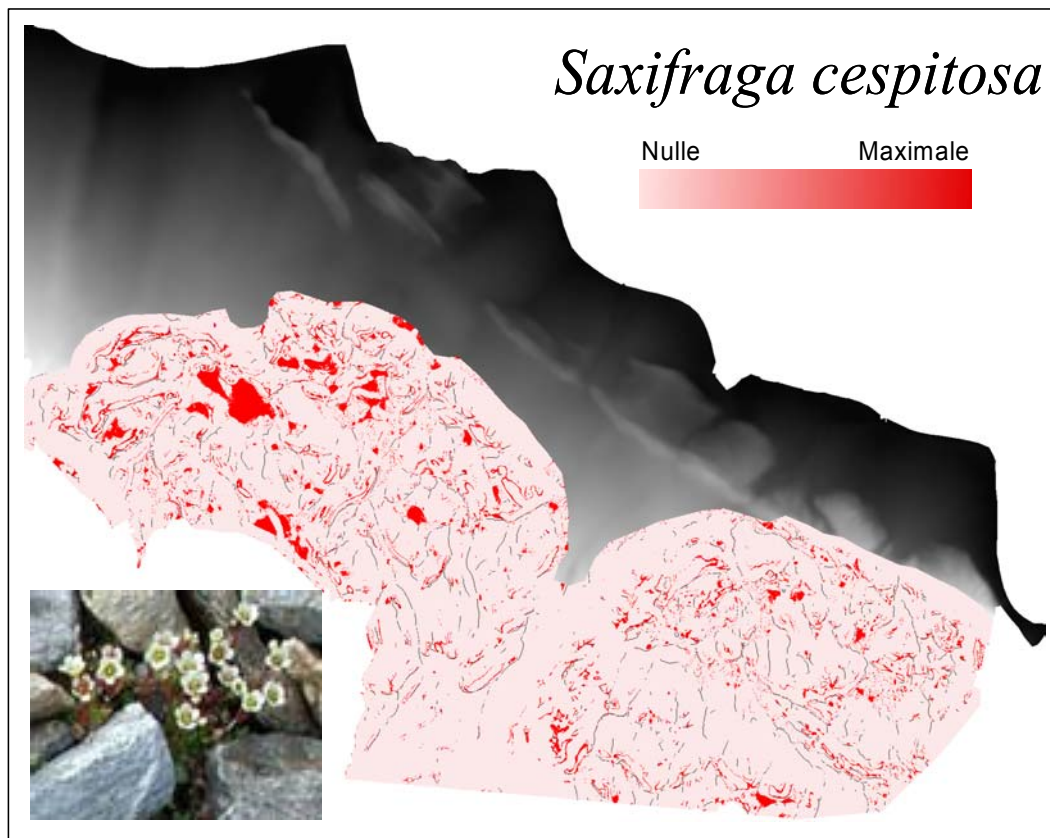


Figure 9 : Probabilité conditionnelle de *Saxifraga cespitosa*

Conclusion

Les formations végétales qui prennent place sur les zones récemment libérées par la glace, permettent de jalonner les épisodes initiaux qui, en terme d'évolution, doivent conduire à la toundra telle qu'on peut l'observer sur les espaces limitrophes les plus anciens et les plus stables. Nous avons pu mettre en évidence, grâce à l'échantillonnage statistique du terrain, comment les « rôles » se distribuent, au cours du processus de reconquête, selon les espèces et le comportement qu'elles présentent. Il ne s'agit pas d'un mouvement univoque d'enrichissement et de diversification de la couverture végétale puisque les stratégies des espèces pionnières et des espèces édificatrices jouent en sens inverse et présentent une grande étendue de nuances. Le pas de temps séculaire que nous avons pu appréhender à travers cette étude nous montre que certains traits de la toundra d'équilibre sont déjà acquis au terme de cette période. Toutefois, il manque encore beaucoup de repères temporels pour compléter la séquence jusqu'à son terme tant les caractéristiques de la végétation sur les parties les plus anciennes des moraines restent juvéniles. La trace laissée par la crise du Petit Âge Glaciaire est loin d'être effacée ; après un siècle, les espaces neufs ainsi ouverts offrent encore un potentiel d'évolution considérable qui est resté hors de portée de notre étude.

La méthodologie utilisée pour spatialiser les formations végétales via la connaissance *a priori* de la microtopographie est une solution appréciable pour passer du point à la surface. C'est une démarche qui nécessite de grandes précautions mais qui ouvre des horizons très prometteurs.

Références bibliographiques

- André, M.F., 1995. - Holocene climate fluctuations and geomorphic impact of extreme events in Svalbard. *Geografiska Annaler (a)*, Vol. 77, 241-250.
- Birks, H.J.B., 1980. - The present flora and vegetation of the Moraines of the Klutan Glacier, Yukon territory, Canada: a study in plant succession. *Quaternary research*, N° 14, 60-86.
- Brossard T. et Joly D., 1994 - Probability models, remote sensing and field observation : test for mapping some plant distributions in the Kongsfjord area, Svalbard, *Polar Research*, 13, pp. 153-161.
- Brossard T., Desservy G. et Joly D., 1998 - Le GPS comme source de données géographiques à grande échelle. Réalisation d'un test au Svalbard, *L'Espace Géographique*, 1, pp. 23-30.
- Brossard Th., Joly D., Nilsen L., 1999 : Mapping plant communities in a local arctic landscape applying scanned infrared aerial photo and digital elevation model in a geographical information system. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, vol.20, NO 2, 463-480.
- Cochran W.-C., 1977 - *Sampling techniques*, New-York, John Willey & Sons.
- Elvebakk, A., 1997 : Tundra diversity and ecological characteristics of Svalbard. In *Ecosystems of the world*, edited by Wielgolaski F.E., Oxford, Vol. 3, Chap. 15 : pp 347-359.
- Héquette, A., 1986. - *Morpho-sédimentologie et évolution de littoraux meubles en milieu arctique. Péninsule de Brøgger, Spitsberg nord-occidentale*. Thèse de doctorat de géographie physique, Brest, 397 p.
- Jumpponen, A., Väre, H., Mattson, K.G., Ohtonen, R., Trappe, J.M., 1999 : Characterization of « safe sites » for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain. *Journal of Ecology*, N°87 : 98-105.
- Keersmaecker M.-L., 1987 - Stratégie d'échantillonnage des données de terrain intégrées dans l'analyse des images satellitaires, *L'Espace Géographique*, 3, pp. 195-205.
- Laffly D., Mercier D., 1999, « Réflexions méthodologiques sur les observations de terrain et la télédétection (Étude du ruissellement sur les sandurs en Baie du Roi, Spitsberg nord-occidentale) », *Photo-interprétation*, vol. 2, pp. 15-28.
- Laffly D., Mercier D., 2002, « Global change and paraglacial morphodynamic in Svalbard », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n°. 21, pp. 4743-4760.
- Lefauconnier, B., Hagen, J.O., 1990. - Glaciers and climate in Svalbard : statistical analysis and reconstruction of the Brøggerbreen mass balance for the last 77 years. *Annals of Glaciology*, N°14, 148-152.
- Matthews, J.A., 1992. - *The ecology of recently-deglaciated terrain. A geoecological approach to glacier forelands and primary succession*. Cambridge University press, 386 p.
- Moiroud, A., 1976. - *Etude écologique des marges glaciaires, en particulier de leur micropeuplement : exemple du glacier du Saint-Sorlin*. Thèse de doctorat de sciences naturelles, Lyon 1 Claude Bernard, 168 p.
- Moreau, M., 2001. - *La reconquête végétale sur la marge proglaciaire des Evettes, depuis la fin du Petit Âge de glace*. Mémoire de maîtrise de géographie, Paris I, 132 p.
- Moreau, M., 2002 – *La reconquête végétale des marges proglaciaires des Loven Est et Central depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, presque île de Brøgger*. Mémoire de DEA de géographie, Paris I, 107 p.

Nilsen, L., Elvebakk, A., Brossard, T., Joly, D., 1999 : Mapping and analysing arctic vegetation : evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in probability model. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, N° 15 & 16 : pp 2947-2977.

Nimis, P.L., 1985 : Structure and floristic composition of a high Arctic tundra : Ny-Ålesund. *Inter-Nord*, N°17 : pp 47-58.

Rønning, O.I., 1996. - *The flora of Svalbard*. Norsk Polarinstitutt, Oslo, 184p.

Stork, A., 1963. - Plant immigration in front of retreating glaciers, with examples from the Kednekajse area, Northern Sweden. *Geografiska Annaler (a)*, Vol. XLV, 1-21.

Vetaas, O.R., 1997 : Relationship between floristics gradients in a primary succession. *Journal of vegetation science*, Vol. 8 : pp 665-676.

« Il faut casser le temps ! »
ou
Les discontinuités du temps à l'égal
des discontinuités de l'espace

Sylvie Lardon

ENGREF-POP'TER Clermont-Ferrand
Domaine des Cézeaux, 24 Avenue des Landais, BP 90 054
63 171 AUBIERE Cedex 9
lardon@engref.fr

Résumé

Le temps est continu, linéaire et irréversible. Il est du moins considéré comme tel aussi bien dans la vie quotidienne que dans les sciences. Son dual, l'espace, est lui reconnu par des géographes comme organisé, il présente des discontinuités, sa construction n'est pas linéaire et on peut le re-construire. Nous montrons qu'une représentation du temps discontinue, présentant des bifurcations et des retours-arrière fournit au chercheur une vision opératoire pour le diagnostic et la prospective des territoires.

Mots clés : espace, événement, processus, organisation, interaction, projet, territoire

Représentation du temps

Nous avons classiquement une acception continue du temps. Le temps, c'est ce qui s'écoule, ce qui scande notre vie quotidienne. Ce temps physique, universel, est utilisé par les scientifiques depuis qu'il est possible de le mesurer avec nos instruments modernes. Le temps de l'horloge a donné la mesure pour la modélisation des phénomènes : équations différentielles pour rendre compte de l'évolution des systèmes, calculs matriciels pour mesurer des dynamiques de population, ... Même la théorie des catastrophes explique les discontinuités phénoménologiques par la manifestation d'une évolution lente sous-jacente (René Thom, 1993).

Et pourtant ...

Lorsque Palomar regarde les choses du dehors, sa lecture d'une vague prend une autre forme (Italo Calvino, 1985) : « *Le résultat auquel monsieur Palomar est en*

train de parvenir, peut-être est-il de faire courir les vagues dans le sens opposé, de renverser le temps, d'apercevoir la vraie substance du monde en dehors des habitudes sensorielles et mentales ? ... C'est seulement s'il arrive à [en] garder présent tous les aspects à la fois que peut commencer la deuxième phase de l'opération : étendre cette connaissance à l'univers entier » . Qu'en est-il de notre regard de scientifique sur le monde ?

Le philosophe Jean-Pierre Dupuy (1991) oppose le temps de l'histoire et le temps du projet. Il démontre que la liberté des choix économiques ne provient que de cette existence d'un temps du projet, à contre-courant. *« L'acteur rationnel de la théorie économique se guide sur ses fins et raisonne de façon régressive, de l'avenir vers le présent. Estimant l'impact des conséquences de ses actions sur les fins qu'il poursuit, il remonte des conséquences souhaitées vers les actions qui les produisent. Ce temps du projet semble bien aller à contre-courant par rapport au flux des phénomènes [...] Phénoménologiquement, nous savons bien que si nous sommes capables d'élaborer des plans et des projets, ceux-ci, dès que nous les mettons à exécution, sont emportés par le flux des phénomènes, et que les choses se passent rarement comme nous les avons voulues » .*

De même, le généticien Albert Jacquard (1991) a montré que nous disposons d'un espace de liberté : *« Finalement, la réflexion scientifique, en cette fin de siècle, nous fait comprendre que la plupart des processus, même décrits par des formules mathématiques simples, suivent des cheminements aux multiples bifurcations. Si précise que soit la connaissance de la situation initiale, il est impossible de prévoir la situation finale sans parcourir toutes les étapes. Aujourd'hui ne permet pas de prévoir demain » .*

Contre-courant, bifurcations, étapes, ... ces propriétés du temps renouvellent-elles notre compréhension des processus spatio-temporels ?

Les représentations de l'espace

Espace et temps sont liés et génèrent du changement. A partir des approches formelles des relations spatiales et des relations temporelles, nous avons précisé les modalités de traitement des dynamiques spatio-temporelles (Cheylan *et al.*, 1999). Les changements sont relatifs à la « vie », au « mouvement » et à la « généalogie » des entités géographiques. L'étude des changements relève d'un ensemble de méthodes de découpage et de connexion du temps et de l'espace. Cela ouvre sur des démarches de simulation des transformations de l'espace (Claramunt & Lardon, 2000).

Mais peut-on aller plus loin que d'introduire le temps « physique » dans des approches spatiales ? Peut-on, par abduction (Umberto Eco, 1993), s'appuyer sur les conceptions de l'espace pour les inférer au temps ?

Pour Roger Brunet (1980), l'espace est fondamentalement discontinu. C'est pourquoi il peut rendre compte de toute configuration spatiale par un nombre fini de

modèles élémentaires combinés entre eux. Ce sont les chorèmes, vus comme un alphabet qui reconstruit les phrases du vivant. L'espace organisé prend alors une intelligibilité, un sens, pour ceux qui l'observent et qui agissent sur lui. La discontinuité de l'espace est engendré par les maillages administratifs et les découpages des espaces d'action des divers acteurs, les quadrillages par les voies de communication, quelles soient des infrastructures routières ou des nouvelles technologies informatiques, les hiérarchisations donnant plus ou moins de potentiels aux pôles et les contacts plus ou moins diffus ou contrastés produisant des mosaïques. La genèse d'un espace ne résulte pas d'une tendance unique qui se poursuit. Il y a co-existence de forces éventuellement contradictoires, faites d'attractions, de flux, de transformations locales qui s'enchevêtrent et se combinent. L'action de l'homme peut infléchir les évolutions et produire de nouvelles formes, de façon volontaire comme dans les politiques d'aménagement du territoire ou de façon spontanée, par combinaison d'initiatives de développement local.

Qu'en est-il du temps ?

Et si le temps était discontinu et que l'analyse des organisations temporelles nous mettait sur la voie d'explications fonctionnelles ? Ainsi, donnons-nous les moyens de découper le temps en intervalles qui ont du sens et qui s'articulent : le temps de la prise de conscience, le temps de la mise en acte, le temps de la prise de recul, ... Et si l'on pouvait aussi générer du temps, imaginer un futur ? Ainsi, donnons nous les moyens de déclencher un temps nouveau : se projeter dans l'avenir, produire un événement, imaginer un scénario. Plus que la transformation de l'espace dans le temps, c'est la transformation du temps dans l'espace qui est recherché. Le temps devient un objet à façonner dans l'espace. Il s'agit de la construction d'un projet.

Espace et temps pour une prospective des territoires

En concevant un espace et un temps inversés, on peut construire de nouvelles alternatives au devenir des territoires, c'est-à-dire aux interactions entre les hommes, leur espace et leur temps. Nous nous appuyons sur cette hypothèse dans la méthodologie de diagnostic et de prospective des territoires développée pour fournir aux acteurs les moyens de leur propre raisonnement (Piveteau & Lardon, 2002).

Nous constatons que le temps intervient de façon différenciée dans les recompositions territoriales en cours, liées aux récentes lois d'aménagement et de développement durable des territoires (intercommunalités, pays). Non seulement les acteurs ont des temporalités d'actions différentes, mais les procédures politiques imposent des calendriers qui ne sont pas toujours en phase avec les dynamiques des territoires (dates de remise des dossiers, périodes électorales, séquençement des opérations, ...). Les choix stratégiques des acteurs sont alors dépendants de fenêtres d'opportunités ou au contraire de perspectives fermées (rattachement à un territoire constitué, refus ou report, ...). Le déroulement d'un projet sur un territoire est fait de phases mobilisatrices des acteurs et de phases de maturation, d'intenses réflexions et de périodes sans activités. Il se heurte à des circonstances internes ou externes qui

introduisent des décalages et parfois des irréversibilités (nouvelles élections, délai de financement, rivalités, ...).

Il nous semble que les difficultés rencontrées dans la construction des territoires proviennent de deux ensembles de faits. D'une part, les territorialités sont « cachées ». Les acteurs n'ont pas exprimé leur vision du territoire, ils n'ont pas anticipé sur ce qu'ils voulaient pour leur avenir. Il importe de redonner la parole aux acteurs et de les aider à dessiner leurs propres territorialités (Debarbieux & Vanier, 2002). D'autre part, les spatialités sont « limitées ». Les acteurs ne participent pas à la conception des territoires, ils ne contribuent pas à la production de formes innovantes de développement. L'usage des représentations spatiales permet de les impliquer et de construire collectivement une vision du territoire (Lardon *et al.*, 2001). Nous proposons une analyse des figures du projet territorial pour accompagner le processus d'apprentissage collectif de prospective territoriale (Debarbieux & Lardon, 2003).

La démarche consiste à se placer en amont du projet à élaborer, dans la phase de la conception même d'une vision collective du territoire. Il s'agit, à partir des structures et des dynamiques actuelles du territoire, de confronter les points de vue des acteurs et d'en extraire les principaux enjeux du territoire. En se plaçant ensuite collectivement en situation de se projeter dans le futur, il est possible de s'accorder sur un scénario souhaitable, porteur des différents projets des acteurs. En déduire par back-tracking les étapes à franchir pour passer de l'image du futur à celle du présent, garantit une certaine cohérence au projet de territoire. D'une part il existe un fil directeur entre les organisations territoriales présentes et les évolutions projetées. Les contraintes spatiales sont respectées et les contraintes temporelles sont explicitées. D'autre part chaque acteur contribue au projet collectif, dans la mesure de ses compétences et de ses moyens d'actions et dans le respect de ses propres motivations et préférences. Les acteurs sont d'autant plus parties-prenantes qu'ils ont la liberté de moyens pour une obligation de résultats qu'ils ont eux-mêmes acceptée.

Construire une prospective du présent en anticipant l'avenir, c'est élaborer un projet de territoire. Pour cela, nous avons besoin de nouvelles représentations de l'espace et du temps. On a déjà bien transformé l'espace, il est temps de s'en prendre au temps.

Références bibliographiques

Roger Brunet, 1980. La composition des modèles dans l'analyse spatiale. *L'espace géographique*, Paris, 4 : 253-264.

Italo Calvino, 1985. Palomar. Editions du seuil, 123p.

Jean-Paul Cheylan, Denis Gautier, Sylvie Lardon, Thérèse Libourel, Hélène Mathian, Serge Motet, Lena Sanders, 1999. Traitement de l'espace et du temps dans les SIG. Paris, Editions Hermès, 128p.

Christophe Claramunt & Sylvie Lardon (dir.), 2000. SIG et simulations. *Revue Internationale de Géomatique*, 2000/1. Vol 10, 165 pages.

Bernard Debarbieux & Sylvie Lardon (dir.), 2003. Les figures du projet territorial. Editions de l'aube, Datar, 267p.

Bernard Debarbieux & Martin Vanier (dir.), 2002. Ces territorialités qui se dessinent. Editions de l'aube, Datar, 267p.

Jean-Pierre Dupuy, 1991. Temps du projet et temps de l'histoire. IN R. Boyer, B. Chavane, O. Godard (dir.) : « Les figures de l'irréversibilité en économie ». Paris, Editions de l'EHESS, pp 97-134.

Umberto Eco, 1993. De superman au surhomme. Editions Grasset, Paris, 245p.

Sylvie Lardon, Pierre Maurel, Vincent Piveteau (dir.), 2001. Représentations spatiales et développement territorial. Paris, Editions Hermès, 437p.

Albert Jacquard, 1991. Voici le temps du monde fini. Editions du Seuil, 184p.

Vincent Piveteau & Sylvie Lardon, 2002. Les représentations spatiales à l'épreuve de l'évaluation. In Baslé M., Dupuis J., Le Guyadec S. (dir.) Evaluation, action publique et collectivités. Tome 2, pp 207-260.

René Thom, 1993. Prédire n'est pas expliquer. Editions Champs, Flammarion, 175p.

Apprendre à anticiper dans un système multi-agent - Premiers résultats

Erwan Livolant, Michaël Piel, Serge Stinckwich

Équipe Modèles, Agents, Décision (MAD) - GREYC - Université de Caen

Résumé : L'anticipation est une faculté essentielle aux êtres vivants et artificiels. Elle permet à ceux-ci de prédire les conséquences de leurs actions sur leur environnement et sur eux-mêmes. Nous nous intéressons dans cette communication à une méthode d'apprentissage par renforcement, les systèmes de classeurs, qui présente l'originalité d'intégrer des capacités d'anticipation. Le méta-apprentissage enrichit les systèmes de classeurs en les rendant efficaces dans un environnement multi-agent. Cette méthode est basée sur le concept d'accélération du renforcement par rapport au temps. Nous présentons ici les premiers résultats d'expérimentation obtenus à l'aide d'une plateforme, LCSTalk, que nous avons développé.

Mots clés : futur, systèmes anticipatoires, apprentissage par renforcement, système de classeurs, méta-apprentissage, systèmes multi-agents

1 Introduction

Comment prédire le futur à partir du passé ? Le domaine des systèmes anticipatoires a l'ambition de répondre scientifiquement à cette question. L'anticipation a un rôle important et est encore sous-estimée dans la compréhension des systèmes complexes et adaptatifs. Elle consiste pour un animat à exploiter la connaissance qu'il a du futur afin d'améliorer son comportement courant. Depuis le début du 20^{ème} siècle, plusieurs travaux, de psychologues notamment, ont tenté de montrer que la prédiction d'événements futurs et de leurs conséquences, appelée également «anticipation», joue un rôle fondamental dans la coordination et la réalisation des comportements adaptatifs des êtres vivants, ainsi que dans les mécanismes de mémoire et d'attention. Comme il a été montré dans les travaux du biologiste théoricien Robert Rosen [Ros85] (et de ceux qui ont poursuivi ses travaux comme Paul Davidsson [Dav96]), la réalisation d'un système artificiel doué de capacités d'anticipation n'est pas chose facile, car on s'attaque alors à la vue dominante du monde, inspirée par un modèle déterministe fondé sur la physique dans lequel il y a une distinction claire entre cause et effet¹.

Nous nous intéressons ici à la réalisation d'une classe particulière de systèmes anticipatoires utilisant un mécanisme d'apprentissage par renforcement (RL pour Reinforcement Learning) et nous nous attachons à montrer comment un système multi-agent peut apprendre à anticiper les

¹Pour disposer d'un cadre plus général sur les problématiques de l'anticipation, on pourra se reporter au papier publié à Rochebrune 2003 ([Sti03]) par l'un des auteurs.

modifications de son environnement. La tâche d'un agent artificiel est alors d'apprendre une politique optimale, c'est-à-dire comment agir de façon à maximiser la récompense qu'il obtient à long terme.

Dans notre étude, nous avons utilisé les systèmes de classeurs (LCS pour Learning Classifier Systems) comme mécanisme de RL. Leur principal intérêt, par rapport à d'autres approches d'apprentissage par renforcement comme les processus décisionnels de Markov, est de limiter l'explosion du nombre d'états à explorer et d'offrir la possibilité de généralisation de leurs règles de comportement. Comme ils sont utilisables en ligne, les systèmes de classeurs s'adaptent plus facilement aux modifications de l'environnement. La politique de comportement de l'agent dans son environnement est déterminée par une population de classeurs (ou règles) dont l'évolution est assurée à l'aide des paradigmes classiques des algorithmes génétiques. Pour une situation donnée, l'agent exécute l'action associée à un classneur choisi selon sa qualité.

Les travaux initiés par le psychologue Edward Tolmann en 1932 ([Tol32]) puis Wolfgang Stolzmann ([Sto98]) sur l'apprentissage latent ont permis récemment d'incorporer dans le modèle des classeurs la notion d'anticipation. Ce mécanisme d'apprentissage s'attache à décrire la dynamique d'interaction de l'agent avec son environnement indépendamment de la notion de récompense (ou punition) à la différence de l'apprentissage par renforcement. Dans l'architecture ACS (Anticipatory Classifier System), les classeurs anticipent la situation future de l'agent si l'action associée est réalisée.

Le problème est que ces approches ne sont plus du tout adaptées dans un contexte d'agents multiples interagissant dans un même environnement, i.e. un environnement dit non-markovien dans lequel l'ensemble des perceptions disponibles à un instant donné ne suffisent pas à prendre la meilleure décision. En effet, le mécanisme d'apprentissage des LCS implique que l'agent «pense» être le seul à modifier son environnement [BGS99].

Nous proposons dans cette communication d'adapter l'apprentissage par classeurs aux systèmes multi-agents à l'aide d'une technique de méta-apprentissage (ML pour MetaLearning) issue de travaux de Jürgen Schmidhuber. Le méta-apprentissage (i.e. apprendre à apprendre) consiste à permettre au système d'apprendre à modifier par lui-même la politique de comportement apprise et ceci indépendamment de l'environnement. Le système tient alors compte du fait que ce qu'un agent apprend à un instant donné affecte les conditions d'apprentissage des autres agents et également de lui-même pour le futur. Pour cela, des actions non-environnementales sont intégrées aux systèmes. Ces actions auto-référencielles modifient, indépendamment de l'environnement, la politique de comportement (les classeurs) qui les met en œuvre (en même temps que les actions environnementales). Un algorithme dit de «Success Story» permet par la suite de valider les modifications entreprises si celles-ci ont assuré une accélération du renforcement par rapport au temps. Avec un tel mécanisme, les agents peuvent apprendre à anticiper la dynamique de l'environnement engendrée par les autres agents.

2 Systèmes de classeurs

Nous rappelons dans cette première partie les théories classiques d'apprentissage tirées de l'étude des comportements animaux, qui vont fonder les modèles informatiques que nous allons présenter par la suite. Puis nous détaillons plus précisément les définitions et les principes qui gouvernent les modèles d'apprentissage ici, les LCS, qui prennent appui sur ces théories. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux propriétés de généralisation et d'anticipation des LCS.

2.1 Apprentissage par renforcement vs apprentissage latent

Des études sur le comportement animal ont mis en évidence deux types d'apprentissage : l'apprentissage par renforcement et apprentissage latent.

Le RL est une classe de problèmes dans laquelle un agent autonome situé améliore au fur et à mesure son comportement en maximisant une fonction de récompense à partir d'une suite de réponses scalaires fournies par l'environnement (récompense ou punition). Cette approche est issue des travaux sur les conditionnements «béhavioristes» de Pavlov (1927) et de Skinner (1938) [Ger02] où l'apprentissage n'est motivé que par une récompense. Les mécanismes les plus connus pour faire de l'apprentissage par renforcement sont le Q-Learning et les LCS ([MH94]).

En 1949, Seward[Sew49] met en évidence un autre phénomène d'apprentissage qu'il qualifia de latent² en examinant le comportement de rats explorant des labyrinthes qu'il expliqua par l'existence d'un modèle interne de l'environnement pour les rats. Cet apprentissage latent fut formalisé en 1992, par Hoffman [Hof93] en psychologie cognitive par *la théorie du contrôle anticipatif du comportement*.

Différentes implémentations artificielles ont été tirées de ces études psychologiques pour résoudre informatiquement des problèmes de décision nécessitant plusieurs actions successives. En 1989, Watkins propose l'algorithme incrémental *Q-learning* [Wat89] qui permet à un agent, de la même manière que lors d'un conditionnement opérant à la Skinner³, d'apprendre selon une récompense. En se basant sur le fait que les conséquences d'une action ne se résument pas à une seule récompense mais également à une nouvelle situation, Sutton propose l'algorithme *DynaQ+* [Sut91] où le modèle environnemental construit par apprentissage latent permet l'accélération de l'apprentissage par rapport au *Q-learning*.

Les systèmes de classeurs comme nous allons le voir maintenant offrent l'avantage de pouvoir combiner ces deux types d'apprentissage dans un même contexte.

2.2 Principe des systèmes de classeurs d'apprentissage

Les LCS sont des systèmes à base de règles qui permettent de résoudre des problèmes d'apprentissage par renforcement et d'apprentissage latent [Ger02]. Tout en reprenant les principes des deux algorithmes précédents, les LCS ont des propriétés de généralisation des règles de comportement et offrent des capacités d'anticipation.

Un exemple d'environnement utilisé comme test pour l'apprentissage avec les LCS est présenté à la figure n° 1. Dans celui-ci, l'agent doit apprendre à rejoindre la position de récompense en un minimum de déplacements. Par déplacement, on entend ici un mouvement d'une case à une autre ou un déplacement vers un mur (auquel cas l'agent ne bouge pas).

L'agent, situé dans un environnement, a une boucle sensori-motrice qui lui permet de percevoir et d'agir sur son milieu à chaque instant. La situation dans laquelle se trouve l'agent est décrite par un ensemble d'attributs de perception locale. Dans notre exemple de la figure n° 1, cette perception locale est [00011000]. On décrit par convention l'environnement à partir de la case située au nord de l'agent en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

²L'*apprentissage latent* est l'apprentissage sans récompense ou punition à la différence de l'apprentissage par renforcement.

³Le conditionnement opérant permet à un animal d'apprendre des relations entre une action et sa conséquence. Ce mécanisme a été mis en évidence par la fameuse boîte de Skinner, contenant un pigeon et un levier délivrant de la nourriture. Plus le pigeon déclenche le levier, plus la relation de cause-à-effet entre le levier et l'apparition de la nourriture se renforce.

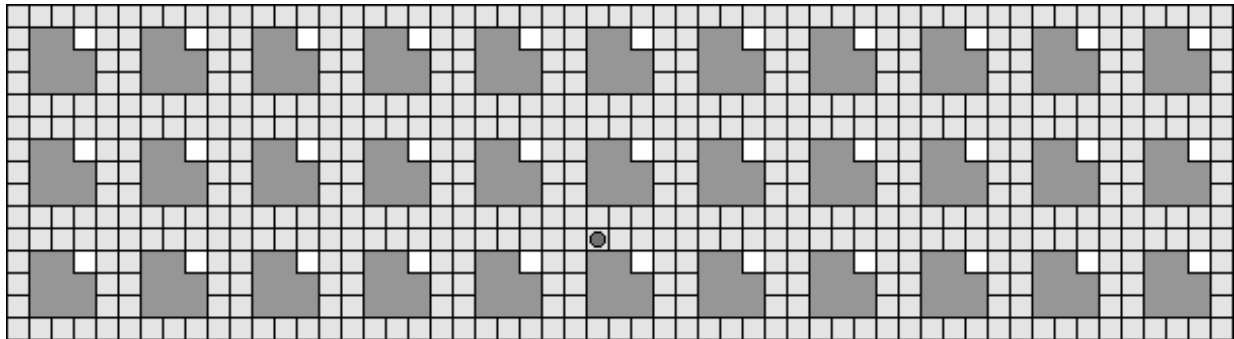


FIG. 1 – Environnement 2D « Woods1 ». L’agent (disque situé vers le centre) doit apprendre à rejoindre le point de nourriture (cases blanches) le plus proche, où il obtient une récompense, en évitant les obstacles (parties foncées).

Les règles de comportement des LCS sont appelées «classeurs». Chaque classeur est composé au moins d’une partie [Condition], d’une partie [Action] et d’une valeur sélective (voir figure n° 2). L’agent recherche dans son ensemble de règles si une ou plusieurs [Condition]s s’apparient avec sa perception courante. S’il en trouve, il choisit de réaliser l’[Action] qui correspond au classeur qui possède la plus forte valeur sélective (celle qui lui apportera potentiellement la plus grande récompense). Sinon, une nouvelle règle est créée pour cette situation et on réalise une action au hasard. La valeur sélective représente la capacité du classeur à résoudre un problème.

Condition	Action	Valeur Sélective
[00011000]	[↓]	0.8

FIG. 2 – Représentation minimale d’un classeur.

- L’architecture générale d’un LCS, illustrée par la figure n° 3, est composée de quatre éléments :
- l’interface d’entrée qui formate les perceptions de l’environnement en messages pouvant être interprétés par le système,
 - l’interface de sortie qui traduit les messages en actions effectives sur l’environnement,
 - la liste des messages permettant de stocker tous les messages d’entrée, de sortie et internes,
 - la liste des classeurs représentant la politique de l’agent.

À chaque pas de temps, les messages sont appariés aux classeurs. Les messages mis en correspondance disparaissent alors de la liste. Les messages d’actions, choisis parmi les classeurs activés par le mécanisme d’appariement, sont postés sur la liste. Dans notre exemple de la figure n° 3, on peut remarquer un message $M0$ qui n’est pas un message de sortie. C’est en fait un message interne qui sera apparié aux classeurs au pas de temps suivant.

Une fois que l’agent est arrivé à la case de nourriture, il reçoit une récompense de la part de l’environnement. Celle-ci est rétropropagée à toutes les actions qui ont mené à cette récompense par un algorithme comme le *Bucket Brigade* [Ger02].

La base de règles doit évoluer tout au long de l’interaction de l’agent avec son environnement. Pour cela, le système utilise généralement des algorithmes génétiques. Pour favoriser l’exploration de

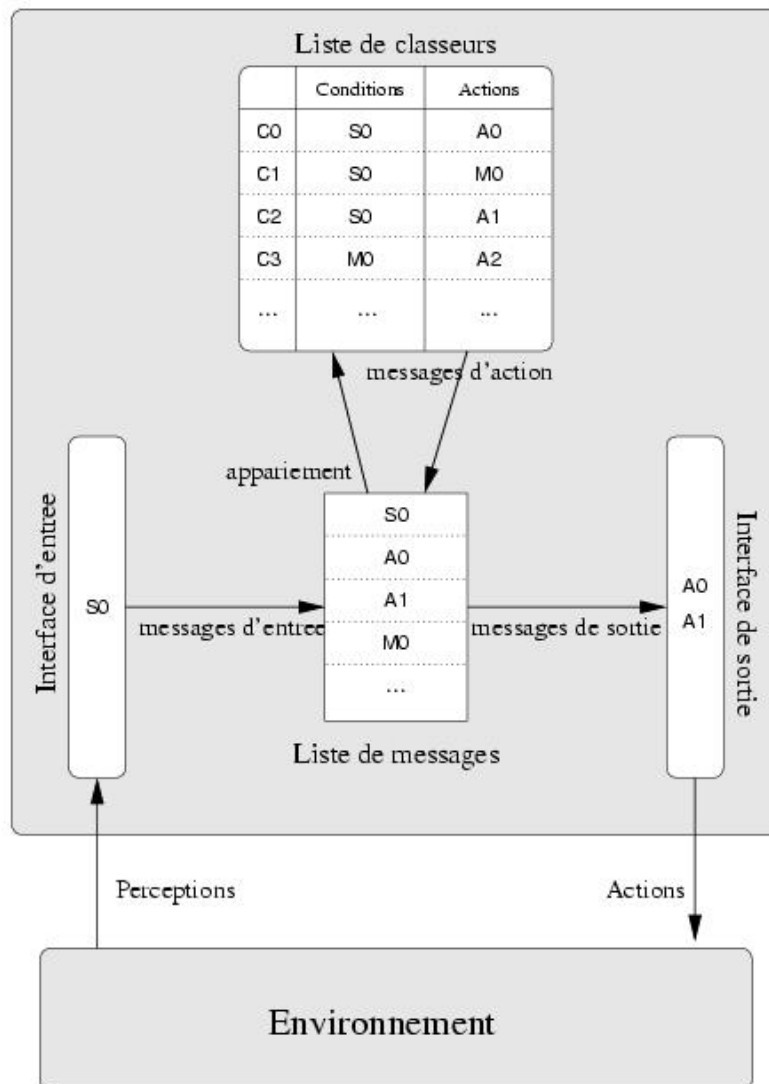


FIG. 3 – Architecture générale des systèmes de classeurs

l'environnement par l'agent, le LCS élimine un certain nombre de classeurs les moins bien adaptés à chaque pas de temps et les remplace par d'autres. Ces nouveaux classeurs sont créés par des opérateurs de croisements et mutations des classeurs qui ont les plus fortes valeurs sélectives. Les «gènes» considérés ici sont les attributs de la [Condition], ou la valeur de l'[Action].

Intéressons nous maintenant aux propriétés de généralisation et d'anticipation dans les LCS.

2.3 Généralisation

Par rapport aux algorithmes d'apprentissage par renforcement de la famille Q-learning, les LCS ont l'avantage de posséder un mécanisme de généralisation qui exploite les régularités dans la dynamique d'interactions entre l'agent et l'environnement.

Dans la partie [Condition] d'une règle, chaque symbole spécifie la valeur de l'attribut correspon-

dant pour que le classeur soit choisi. Le symbole #, appelé «peu importe» (don't care), exprime le fait que l'on peut ignorer cet attribut dans le processus d'appariement d'un classeur avec la situation courante de l'agent. Un classeur dont la partie [Condition] contient des symboles # est plus général que ceux qui n'en ont pas car il correspond à plusieurs situations de l'agent. Ainsi, un classeur contenant [11#0011#] peut être associé à quatre situations différentes de l'agent : [11000110], [11000111], [11100110], [11100111].

Le mécanisme de généralisation réalise un groupement de plusieurs classeurs. Les classeurs en question possèdent la même action et la même valeur sélective. On généralise en ne gardant dans la partie [Condition] que les attributs identiques. Les autres symboles sont remplacés par un #. On obtient ainsi, à la fin de cette opération, un unique classeur qui convient à plusieurs situations.

Différentes architectures de LCS bénéficiant de ce mécanisme de généralisation tels que ZCS⁴ et XCS⁵ ne se distinguent que par leur modalité de calcul de la valeur sélective des classeurs.

2.4 Anticipation

Si un animat considère les prédictions des différents gains qu'il peut obtenir en effectuant certaines actions afin de décider quel comportement il va adopter, il possède déjà une forme réduite d'anticipation⁶. On peut donc dire que même un classeur simple comme XCS ou ZCS dispose déjà de cette forme d'anticipation rudimentaire, car limitée à une seule valeur, l'anticipation de la récompense.

Des formes plus élaborées d'anticipation (i.e. où l'on anticipe plusieurs valeurs) peuvent être mises en œuvre en intégrant au LCS, la notion d'apprentissage latent.

Le rôle de l'anticipation dans la psychologie animale est pour la première fois conceptualisé par le psychologue Edward Tolmann en 1932 [Tol32] qui pensait que le stimuli-réponse behavioriste classique alors à la mode était trop limité pour expliquer certains comportements animaux. Il introduit donc la notion de *SRE*-units (Situation-Reaction-Effect) qui représente la connaissance d'un organisme que dans la situation *S*, la réaction *R* produira la conséquence *E*.

Hoffman ([Hof93]) a proposé une théorie du comportement animal, appelée «contrôle anticipatif du comportement» où l'animal forme constamment une prédiction des conséquences de ses actions. Hoffmann a montré comment l'anticipation peut être apprise et contrôler le comportement, ce qu'il formule de la manière suivante :

«un comportement intentionnel (*R*) est toujours accompagné de l'anticipation des effets (E_{ant}) escomptés par rapport à une expérience précédente dans la situation (*S*). L'anticipation des effets (E_{ant}) est toujours comparée à l'effet réel (E_{real}). Les anticipations correctes doivent provoquer le renforcement de la relation entre la situation (*S*) et les effets anticipés (E_{ant}) alors que les anticipations incorrectes doivent provoquer au contraire une différenciation des conditions liées à la situation.» (voir figure n° 4).

Cette théorie a ensuite servi de base pour Stolzmann ([Sto98], [But01]) pour concevoir des classeurs anticipatoires (ACS). Les classeurs d'ACS possèdent en plus de ceux des autres LCS, une

⁴Zeroth level Classifier System, c'est-à-dire classeur de niveau zéro, où l'on n'a gardé que le strict minimum du fonctionnement d'un classeur (pas de mémoire notamment).

⁵L'originalité de XCS est de distinguer la force d'un classeur de sa valeur sélective.

⁶Anticipations payantes ou Payoff Anticipations selon Butz, Sigaud, Gérard ([BSG03]).

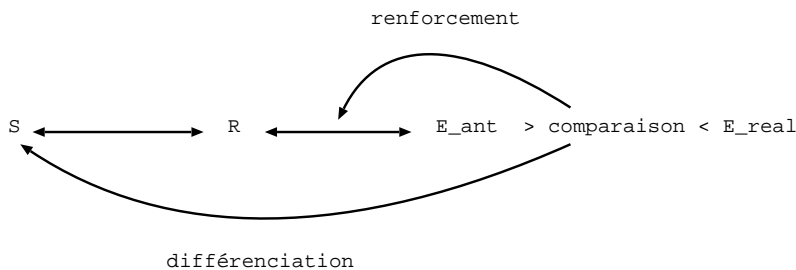


FIG. 4 – Contrôle anticipatif du comportement

partie [Effet] qui anticipe la situation future de l’agent si l’[Action] du classeur est réalisée. L’agent apprend donc la dynamique de ces interactions avec son milieu.

Dans la partie [Effet], la future situation de l’agent est décrite avec les mêmes attributs que pour la [condition]. Le symbole #⁷ («don’t change») est utilisé dans la partie [Effet] du classeur pour exprimer le fait qu’un attribut reste inchangé une fois l’action réalisée.

Un classeur ACS représente donc bien une unité *SRE* selon Tolman :

- une partie condition *S* qui contient des informations sur des attributs des états de l’environnement, qui vont déclencher le classeur,
- une partie action *R* qui contient des instructions pour les effecteurs,
- une partie attente ou conséquence C^{ant} qui spécifie la prochaine anticipation de l’état de l’environnement,

De plus, à chaque classeur *c* sont associées deux forces : la force de récompense s_c , évaluation de la récompense attendue et la force d’anticipation s_c^{ant} décrivant la qualité de la correction des conséquences anticipées.

Les règles produites permettent à l’agent d’anticiper dans n’importe quelle situation : le système peut déterminer à l’avance la séquence qui lui permet d’atteindre son but. De part son origine liée à des théories psychologiques, ACS à la différence des systèmes de classeurs précédents n’utilise pas d’algorithmes génétiques, mais des heuristiques.

À priori, l’apprentissage latent permet une convergence plus rapide que l’apprentissage par renforcement, puisque l’agent n’est pas obligé d’attendre la récompense qui peut arriver longtemps après le choix d’une action.

3 Méta-apprentissage dans les systèmes de classeurs

Notre objectif est d’utiliser les systèmes de classeurs dans un contexte multi-agents. Les travaux sur l’utilisation des LCS dans des environnements non-markoviens ⁸ s’intéressent essentiellement au problème où l’agent ne peut pas distinguer des situations différentes du fait de l’absence d’informations globales. Ceci est résolu généralement en ajoutant une mémoire temporaire au LCS. Les systèmes multi-agents sont des environnements non-markoviens plus complexes car un agent n’a pas accès à l’état interne des autres agents. Parmi les rares travaux sur l’adaptation des classeurs

⁷Le symbole est le même que pour la condition mais la sémantique diffère.

⁸Un environnement est dit markovien si chaque entrée perceptive correspond à un état distinct de l’environnement.

en environnements multi-agents, on peut citer ceux sur OCS (Organizational Classifier System) ([TRS00]).

Nous proposons une nouvelle façon de résoudre les difficultés liées à un environnement non markovien en utilisant une technique de méta-apprentissage due à Jürgen Schmidhuber. Nous présentons maintenant l'adaptation que nous en avons faite aux LCS et allons discuter les choix qui ont été effectués.

3.1 Accélération du renforcement au cours du temps

Le méta-apprentissage selon Jürgen Schmidhuber [SZW96] [ZS96] [Sch96] consiste à permettre au système d'apprentissage de modifier par lui-même la politique de comportement qu'il apprend, indépendamment de l'environnement. Schmidhuber introduit plusieurs notions permettant la réalisation d'un ML que nous définissons dans ce paragraphe.

Cette méthode est applicable quelque soit l'algorithme d'apprentissage par renforcement. Dans [SZW96] par exemple, le ML est conjugué au *Q-learning*. De plus, le ML permet d'adapter l'apprentissage par renforcement aux applications multi-agents.

L'idée est de permettre à l'agent d'améliorer par un apprentissage la façon dont il apprend un comportement en se basant sur la notion d'accélération de la récompense acquise. Cette accélération est mesurée à l'aide du rapport renforcement/temps. Entre deux instants de la vie de l'agent t_1 et t_2 où $t_2 > t_1$, il est possible de calculer l'accélération du renforcement :

$$Q(t) = \frac{R(t_2) - R(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Les directives imposées par le ML, pendant ce laps de temps, à la politique apprise par l'algorithme de RL classique sont validées grâce à ce critère si elles assurent l'accélération du renforcement.

Pour que le système puisse appliquer ces directives, il doit pouvoir réaliser, en plus des actions sur son environnement, des actions sur son propre comportement. Ces dernières sont appelées actions auto-modificatrices (AAM).

De plus, le système doit pouvoir vérifier si les modifications qu'il réalise sont intéressantes pour le reste de la vie de l'agent. Pour cela, Schmidhuber propose un algorithme avec «backtrack» nommé «Success-Story Algorithm» (SSA) qui assure l'accélération de l'apprentissage.

3.2 Actions auto-modificatrices

Les AAM sont des actions qui modifient la politique que l'agent construit à l'aide d'un algorithme d'apprentissage par renforcement. La particularité principale de ces actions, dans la proposition de Schmidhuber, est qu'elles sont du même niveau que les actions sur l'environnement. C'est une seule et même politique qui permet d'effectuer les actions sur l'environnement et les AAM. Ainsi les AAM sont auto-référentielles puisqu'elles agissent sur la politique qui les engendre et donc potentiellement sur elles-mêmes.

Généralement les modifications réalisées sur la politique sont des actions d'incrémentatation ou de décrémentation de la valeur discriminante qui détermine le choix d'action de l'agent suivant une situation.

Un processus de modification de la politique (PMP) commence lorsque l'une de ces AAM est effectuée. Il s'arrête lorsqu'une AAM particulière est choisie : l'action d'arrêt de mode auto-référentiel

(ESM pour *End Self Mode*). Une deuxième phase du ML se déclenche alors. Elle se terminera lorsqu'une autre AAM modifiante sera exécutée.

Cette période peut être comparée à une phase d'exploitation du ML avant que ce dernier soit validé par l'algorithme SSA. Il est important de souligner que la durée de ces deux phases est variable et choisie également par le système puisque l'occurrence des AAM est déterminée par la politique de l'agent.

Les actions permettant d'apprendre à apprendre doivent pouvoir faire évoluer la politique de l'agent indépendamment de l'environnement. Dans le cas des LCS, la prise de décision de l'animat se fait au moyen de la valeur sélective des classeurs. C'est donc sur cet élément des classeurs que les AAM doivent agir. Nous avons introduit trois types d'AAM :

- incrémentation de la valeur sélective,
- décrémentation de cette même valeur,
- arrêt du mode auto-référentiel.

Dans l'architecture de Schmidhuber, les AAM modifient une politique par un pourcentage variable suivant un paramètre. Dans notre proposition, nous avons choisi de ne pas avoir ce pourcentage de modification variable mais constant. La valeur de ce pourcentage est à définir expérimentalement. Le choix d'un pourcentage fixe permet de ne pas alourdir la représentation des classeurs. Cependant, cette restriction peut impliquer une perte de performance car les possibilités d'exploration du ML sont réduites. Toutefois, le fonctionnement global de l'algorithme est conservé.

Condition	Action	Paramètre	Valeur Sélective
[#011#0##]	[r]	∅	0.8
[10#100#1]	[l]	∅	0.3
...
[11#0#100]	[i]	[#00100#1]	0.6
[011##10#]	[f]	∅	0.4
↓	↓	↓	↓
[#011#0##]	[r]	∅	0.8
[10#100#1]	[l]	∅	0.6
...
[11#0#100]	[i]	[#00100#1]	0.6
[011##10#]	[f]	∅	0.4

FIG. 5 – Exemple d'une population de classeurs avec une action auto-référentielle i incrémentant la valeur sélective du classeur (le second) pouvant être appariée au motif [#00100#1]. Le valeur du pourcentage de modification est ici 100%. Les actions f , r et l sont environnementales.

Pour qu'une AAM s'applique à un classeur, il est nécessaire de disposer d'un moyen de le sélectionner dans la population de classeurs, c'est-à-dire d'avoir une représentation d'un classeur ou d'un ensemble de classeurs dans le LCS (voir la figure n° 5). Ses différentes composantes sont définies ainsi :

- une condition (situation de l'animat),

- une action (sur l’environnement ou sur la politique de l’agent),
- un paramètre (vide pour les actions environnementales) désignant un pattern de classeurs sur lequel se porte la modification.
- les différentes valeurs permettant de calculer la valeur sélective du classeur (suivant ZCS, XCS, ACS) et cette dernière.

Le choix d’utiliser un motif de condition pour associer une AAM à des classeurs s’explique par le problème du renouvellement de la population de classeurs. En effet, les classeurs sont constamment évalués par le système et les plus faibles sont éliminés. Cette élimination engendre un problème potentiel pour les AAM si celles-ci ne concerne qu’un unique classeur. Ces AAM deviendraient obsolètes et devraient être supprimées à leur tour. Grâce au pattern, les AAM du ML peuvent perdurer indépendamment du mécanisme de suppression des classeurs inadaptés à l’environnement.

3.3 Adaptation de l’algorithme «Success-Story»

Cet algorithme permet d’assurer une accélération des performances du système au cours du temps. La notion de temps est déterminée ici par le nombre d’actions réalisées (y compris les actions auto-modificatrices).

L’idée directrice de cet algorithme avec «backtrack» consiste en la sauvegarde de la politique courante avant la modification de celle-ci par une AAM. Si les modifications réalisées lors d’un PMP se révèlent inefficaces à accélérer le renforcement, elles seront invalidées et les anciens classeurs seront restaurés. Pour sauvegarder toutes les modifications m correspondant aux PMP $_i$, on utilise une pile S contenant les informations suivantes :

- le renforcement : $S(m).R$,
- le temps : $S(m).t$,
- l’ancien classeur avant modification : $S(m).old$,
- la position dans la pile de la première modification du PMP : $S(m).f$.

La validation d’un PMP se fait à chaque fin de la phase d’exploitation du ML. SSA calcule l’évolution du renforcement donné par l’environnement à l’aide du rapport renforcement/temps $Q(t)$.

L’algorithme vérifie si le PMP $_i$ courant a été bénéfique par rapport aux précédents à l’aide du critère «Success-Story Criterion» (SSC) défini par les deux inégalités suivantes :

- $Q(i, t) > \frac{R(t)}{t}$, le rapport renforcement/temps de l’unique PMP existant dans la pile est supérieur au renforcement moyen depuis la «naissance» de l’agent.
- $Q(i, t) > Q(k, t)$, avec $k < i$, le rapport renforcement/temps du PMP courant est supérieur à celui du PMP précédent dans le cas où au moins deux PMP existent dans la pile.

Cet algorithme peut être décrit par l’itération suivante :

Algorithme SSA

Tant que ($sp \neq 0$) **et**

$$\left(\frac{R(t) - S(S(sp).f).R}{t - S(S(sp).f).t} \leq \frac{R(t) - S(S(S(sp).f - 1).f).R}{t - S(S(S(sp).f - 1).f).t} \right)$$

Alors $sp = sp - 1$;
 $P \leftarrow S(sp).old$;

Le premier élément de la pile, qui selon l'algorithme ne peut être dépilé, est une modification fictive. L'utilisation de cette modification fictive est utile pour n'avoir qu'un seul algorithme pour la validation des deux inégalités du SSC. Au début de sa vie, l'agent a les valeurs d'attributs suivantes :

- $S(0).t = 0$,
- $S(0).R = 0$ car la récompense est nulle à la naissance de l'agent,
- $S(0).f = 0$,
- $S(0).old$ non initialisé.

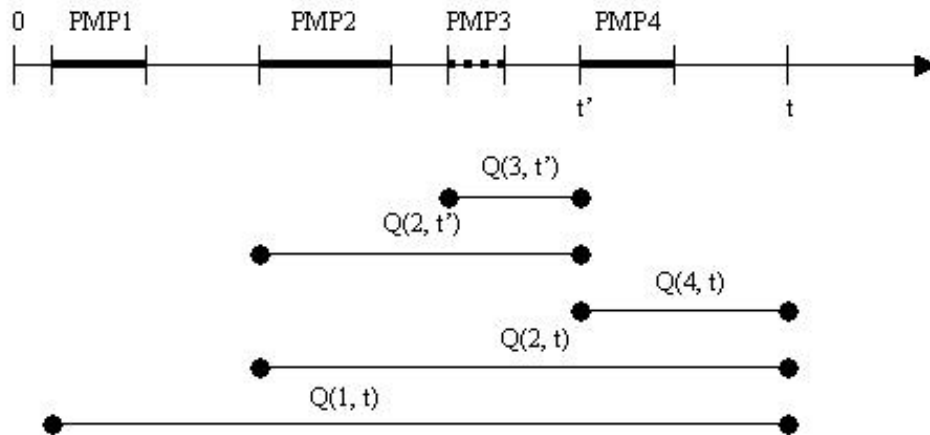


FIG. 6 – Exemple de fonctionnement de l'algorithme SSA

La figure n° 6 illustre le fonctionnement de SSA par un exemple. Dans celui-ci, lorsque le PMP2 commence, l'algorithme valide le PMP1 avec la première inégalité. Au début du PMP3, la seconde inégalité valide le deuxième processus. Ensuite, au temps t' , on obtient $Q(3, t') \leq Q(2, t')$. Le PMP3 s'est révélé inefficace, la politique obtenue par le PMP2 est alors restaurée. Les modifications de ce dernier sont conservées car $Q(2, t') > Q(1, t')$. Enfin, au temps t , le PMP4 est conservé car $Q(4, t) > Q(2, t) > Q(1, t)$.

4 Conclusion

Pour valider ce travail, une librairie complète de classeurs (anticipatoires ou non) et d'environnements d'expérimentation nommé LCSTalk⁹ a été développée au sein de notre équipe. Cette

⁹<http://www.iut3.unicaen.fr/serge/LCSTalk>

plate-forme nous permet d'évaluer notre architecture d'apprentissage dans diverses configurations (markoviennes ou non, mono ou multi-agents). Cette plateforme écrite en Smalltalk sera prochainement disponible librement.

L'algorithme de méta-apprentissage que nous proposons a été implémenté avec LCSTalk et les résultats d'expérimentations sont en cours d'analyse. Le problème qui se pose à nous est celui des critères de comparaisons à utiliser entre les différentes approches de classeurs? comment mesurer les performances d'un classeur et ce qu'il apprend? Quel est l'apport de l'anticipation et de son apprentissage? Comment paramétrer convenablement le LCS? Ces interrogations rejoignent celles soulevées récemment dans la communauté des classeurs par T. Kovacs ([Kov02]). Les paramètres définis dans CLRI¹⁰ par Jose Vidal ([VD03]) sont peut-être une voie pour résoudre ce problème.

Nous envisageons de mettre en œuvre prochainement les algorithmes de meta-apprentissage décrit dans ce papier sur des applications plus concrètes que celles que nous avons utilisé jusqu'à présent pour nos tests (de type labyrinthe en 2D). Une des applications envisagée est celle de la reconfiguration de robots modulaires du projet MAAM¹¹ financé par Robea et dans lequel, notre équipe participe. L'idée est également de tester ces algorithmes en ligne dans un contexte embarqué (i.e. où le robot dispose de ressources limitées de calcul et de mémoire).

D'un point de vue théorique, une possibilité fructueuse de poursuite de ce travail serait d'utiliser des classeurs anticipatoires plus performant qu'ACS comme ceux introduit récemment par Pierre Gérard dans sa thèse ([Ger02]) : YACS (Yet Another Classifier System) et MACS (Modular Anticipatory Classifier System).

Références

- [BGS99] Martin BUTZ, D. E. GOLDBERG, et Wolfgang STOLZMANN. New challenges for anticipatory classifier system : Hard problems and possible solution. Rapport technique 99019, ILLiGAL, 117 Transportation Building, 104 S. Mathews Avenue, Urbana, IL 61801, 1999.
- [BSG03] Martin V. BUTZ, Olivier SIGAUD, et Pierre GÉRARD. Internal models and anticipations in adaptive learning systems. Dans Martin V. BUTZ, Olivier SIGAUD, et Pierre GÉRARD, éditeurs, *Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems*, volume 2684 de *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 86–109. Springer-Verlag, 2003.
- [But01] Martin BUTZ. An implementation of the anticipatory classifier system ACS2 in C++. Rapport technique 2001026, ILLiGAL, 117 Transportation Building, 104 S. Mathews Avenue, Urbana, IL 61801, 8 2001.
- [Dav96] Paul DAVIDSSON. A linearly quasi-anticipatory autonomous agent architecture : Some preliminary experiments. Dans *Distributed Artificial Intelligence Architecture and Modelling*, numéro 1087 dans *Lecture Notes in Computer Science*, pages 189–203. Springer Verlag, 1996.
- [Ger02] Pierre GERARD. *Systèmes de Classeurs : Étude de L'apprentissage Latent*. Thèse de doctorat, spécialité informatique, Université Pierre et Marie Curie Paris 6, 2002.
- [Hof93] Joachim HOFFMANN. *Vorhersage und Erkenntnis*. Hogrefe, 1993.

¹⁰C : Change rate, L : Learning rate, R : Retention rate, I : Impact

¹¹MAAM signifie Molécule = Atome ou (Atome+Molécule). On trouvera un descriptif complet du projet à cet URL : <http://www.iut3.unicaen.fr/serge/ProjetMAAM>

- [Kov02] T. KOVACS. What should a classifier system learn and how should we measure it? *Soft Computing*, 6 :171–182, 2002.
- [MH94] Dorigo MARCO et Bersini HUGUES. A comparison of Q-learning and classifier systems. Dans *Proceedings of From Animals to Animats, Third International Conference On Simulation of Adaptive Behavior*, 1994.
- [RA03] Gabriel ROBERT et Guillot AGNÈS. MHiCS, a modular and hierarchical classifier systems architecture for bots. Dans Q. MEHDI, N. GOUGH, et S. NATKIN, éditeurs, *Game-on 2003*, pages 140–144, 2003.
- [Ros85] Robert ROSEN. *Anticipatory Systems*. Pergamon Press, Oxford, 1985.
- [Sch96] Jürgen SCHMIDHUBER. A general method for incremental self-improvement and multi-agent learning. Dans X. YAO, éditeur, *Evolutionary Computation : Theory and Applications*. Scientific Publishing Company, 1996.
- [Sew49] John P. SEWARD. An experimental analysis of latent learning. *Journal of Experimental Psychology*, 39 :177–186, 1949.
- [Sti03] Serge STINCKWICH. L’anticipation dans les systèmes complexes. conséquences pour la simulation. Dans *Le statut épistémologique de la simulation (10ième Journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels)*, pages 261–277, 2003.
- [Sto98] Wolfgang STOLZMANN. Anticipatory classifier systems. Dans John R. KOZA, Wolfgang BANZHAF, Kumar CHELLAPILLA, Deb KALYANMOYM, Marco DORIGO, David B. FOGEL, Max H. GARZON, David E. GOLDBERG, Hitoshi IBA, et Rick RIOLO, éditeurs, *Genetic Programming 3 : Proceedings of the Third Annual Conference, University of Wisconsin, Madison*, pages 658–664. Morgan Kaufmann, 1998.
- [Sut91] R. S. SUTTON. Reinforcement learning architectures for animats. Dans Meyer J.-A. et S.W. WILSON, éditeurs, *From animals to animats : Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pages 288–296. MIT Press, 1991.
- [SZW96] Jürgen SCHMIDHUBER, J. ZHAO, et M. WIERING. Simple principle of metalearning. Rapport technique 69-96, IDISIA, Corso Elvezia 36, CH-6900-Lugano, Switzerland, 6 1996.
- [Tol32] Edward TOLMAN. *Purposive Behavior in Animals and Men*. Appletown, New York, 1932.
- [TRS00] K. TAKADAMA, T. RERANO, et K. SHIMOHARA. Learning classifier systems meet multi-agent environments. Dans L. LANZI, W. STOLZMANN, et S.W. WILSON, éditeurs, *Third International Workshop on Learning Classifier Systems (IW LCS-200)*, pages 192–210, 2000.
- [VD03] José M. VIDAL et Edmund H. DURFEE. Predicting the expected behavior of agents that learn about agents : the CLRI framework. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 6(1) :77–107, 1 2003.
- [Wat89] C. WATKINS. *Learning from Delayed Rewards*. Thèse de doctorat, University of Cambridge, England, 1989.
- [ZS96] J. ZHAO et Jürgen SCHMIDHUBER. Incremental self-improvement for life-time multi-agent reinforcement learning. Dans Pattie MAES, Maja MATARIC, Jean-Arcady MEYER, Jordan POLLACK, et Stewart W. WILSON, éditeurs, *From Animals to Animats 4 : Proceedings*

of the Fourth International Conference On Simulation of Adaptive Behavior, Cambridge, MA, pages 516–525. MIT Press, Bradford Books, 1996.

Le temps, dans les dépêches de presse

Nadine Lucas
GREYC CNRS Université de Caen
Nadine.Lucas@info.unicaen.fr

Résumé: Le rapport entre le temps et l'étude de la langue est omniprésent, mais nous connaissons surtout le temps des verbes et leur relation à un récit simplement chronologique. En étudiant un corpus particulier, les dépêches de presse en anglais et en japonais, on s'aperçoit que le temps est un des indices stylistiques d'une mise en scène discursive à laquelle le lecteur participe. D'autres indices sont nécessaires pour appréhender la logique de l'exposition ou celle de l'explication. Les mesures de temps, les inversions d'épisodes en sont des exemples. Enfin, la caractéristique des dépêches est de s'inscrire dans le temps avec une certaine périodicité. Les relations d'événements de longue durée, les dépêches boursières présentent ainsi des caractéristiques particulières.

Mots-clefs: temps, linguistique de discours, repérage énonciatif, journalisme, étude contrastive, anglais, japonais

1. Introduction

Quel est le rapport entre le temps et l'étude de la langue? On connaît bien sûr le temps des verbes, qui fait partie de l'apprentissage scolaire. Mais on connaît parfois aussi le temps du récit. En linguistique, le temps est un concept omniprésent.

Le temps est un des axes de référence caractérisant une situation d'échange. Nous étudierons comment la référence au temps s'inscrit dans les dépêches de presse, un sous-genre du genre journalistique. Plutôt que de présenter un échantillon des différences, dont le catalogue n'a pas de fin, nous voudrions ici présenter des procédés communs dans la lecture d'une dépêche.

Comme leur nom l'indique, les dépêches sont écrites dans l'urgence et classées suivant des grilles d'immédiateté, depuis la brève jusqu'à la dépêche élaborée. Les dépêches sont datées, elles sont aussi, au moment de l'émission, annotées en heure et minute. Nous prendrons donc en compte tous les procédés de repérage sur l'axe du temps, puisque la référence au temps est partout présente. Le cadre théorique de Jakobson permet de tenir compte de la situation de communication, donc des moments de présentation d'une information (l'énoncé) sous la forme d'une dépêche, avec éventuellement différentes versions de celle-ci.

2. Le temps de l'exposition

Les dépêches rapportent des événements, des actions du monde. Il s'agit le plus souvent d'exposés, sans jugements à la charge du journaliste. Il faut cependant distinguer la chronologie des actions relatées (qui appartiennent à la sphère de l'énoncé) et les procédés de présentation de ces événements. Différentes stratégies énonciatives se retrouvent ainsi dans les dépêches. On peut donc s'interroger sur les

moyens discursifs disponibles pour exprimer des relations chronologiques d'une part, des relations logiques et des niveaux de saillance d'autre part.

2.2 Les ruptures de temps et de plan

On peut observer dans les exemples 1 et 2 ci-dessous que le présent est utilisé dans les titres, ce qui les met en vedette, alors que le corps de dépêche reprend la même information, au passé. Le titre constitue ainsi ce qu'on appelle un premier plan. Nous l'appellerons enveloppe. Le temps verbal le plus commun dans les textes est le passé (de narration) qui s'inscrit dans le présent de l'actualité. Le passé de narration est aussi un "emballage", il constitue une enveloppe distincte de celle du titre, et on dira donc que le texte est au second plan par rapport au titre.

En s'appuyant sur ces contrastes, des linguistes se sont intéressés au temps du verbe, l'une des marques communément utilisées dans les langues indo-européennes pour créer un premier plan et un arrière-plan (Weinrich, 73; Karlgren, 00 entre autres). Cette description est plus simple que la théorie de l'énonciation de Jakobson (Jakobson, 57, repris dans 63). On sait que toutes les langues n'ont pas les mêmes moyens pour créer des contrastes, en revanche la création de contrastes est essentielle à la compréhension. Jakobson propose d'imaginer deux pôles sur une échelle coulissante entre l'information centrale qui parle platement des faits (l'énoncé) et ce qui permet de maintenir la communication (l'énonciation). En pratique, les deux sont liés. Il souligne que les indications de temps et de lieu ne sont jamais absolues, mais que par exemple *today* implique un ajustement plus grand de la part du lecteur que *le 2 décembre 2003*. Les indications de temps sont ainsi plus ou moins relatives.

Pour montrer un exemple de ce qu'on rattache à l'énonciation, voici un décalage entre la date mise au début du texte et la date d'émission superposée au-dessus du titre avec les minutes □ la mention "eds adding info" attire l'attention. On voit bien par là que le repérage n'est pas direct, entre des protagonistes distants dans le temps et l'espace, l'auteur et le lecteur, mais médiatisé par le message lui-même.

Exemple 1. Double date, dépêche internationale (ADJ 115)

Sep 20, 2003 updated 01:38

Koizumi, Bush confirm cooperation on Iraqi reconstruction

TOKYO, Sept. 19, Kyodo - (EDS: ADDING INFO)

Prime Minister Junichiro Koizumi and U.S. President George W. Bush confirmed Friday that Japan and the United States will cooperate on the reconstruction of Iraq, Japanese government officials said.

...

2003 Kyodo News (c) Established 1945.
All Rights Reserved

Ce qui est intéressant dans cet exemple est le processus d'explication devant une contradiction, que le lecteur aura remarquée ou non.

Dans les dépêches, la date est toujours mentionnée quelque part. Il est difficile de ne tenir compte que du temps, puisqu'il ne s'agit que d'un des axes de référence du modèle de Jakobson, mais tentons le pari. Pour le cas le plus simple, en anglais, on observe une rupture de temps, entre le titre et le corps de texte. Entre les deux, la date du "titre en ligne" (encadré) renseigne sur le présent de l'énonciation □ la date à laquelle la dépêche est émise. L'exemple 2 est très banal, il s'agit d'une dépêche relatant une déclaration, avec unité de temps, de lieu et de personne, représentant une unité d'action.

Exemple 2 Unité d'action (AJD 123)

Blair calls for international push on N. Korean issue

LONDON, Oct. 23 Kyodo - British Prime Minister Tony Blair called **Thursday** for a "concerted international push" to deter North Korea from developing nuclear weapons.

Speaking at his monthly press conference, Blair praised attempts by the international community, including Japanese Prime Minister Junichiro Koizumi, to try and find a solution to the North Korean nuclear problem and said Britain was willing to assist in any way it could.

"I think it's a very dangerous thing for the world if they (North Korea) get a long-range nuclear weapons capability," Blair said.

L'enveloppe qui caractérise le corps de dépêche est celle du discours rapporté, au passé. Le discours non médiatisé au présent est celui du journaliste, il se limite au titre. Il existe une relation de co-référence entre la date d'émission de la dépêche *Oct. 23* et le jour du discours de Blair *Thursday*. C'est une façon banale de mettre le lecteur à l'unisson du journaliste et de l'événement rapporté. Comme il n'y a pas d'autre indication de temps, on considère que cette nouvelle s'inscrit dans le présent.

L'unité d'action est en somme la constance du lieu, du temps et des acteurs de l'événement rapporté. On voit que l'emploi des temps grammaticaux relève d'un procédé de présentation. La saillance est un effet de contraste. Elle est souvent marquée en français par l'opposition entre phrase nominale du titre et phrases verbales dans le texte pour des dépêches comparables. En japonais les phrases nominales ne sont pas exceptionnelles, mais les titres sont des phrases nominales en deux morceaux. Avec des moyens différents, l'effet est le même.

Il n'empêche que le lecteur peut se repérer par rapport au temps du monde. Dans l'exemple suivant en japonais, une opposition est créée entre deux perspectives, le présent (qui englobe le titre) et le futur. Cette opposition est visible sur des phrases marquées par des mentions de date.

Exemple 3. Dépêche japonaises, Kyodo (JDJ 73). Deux temps d'action

2003年（平成15年）10月24日

魚の種類は1万5000種以上 初の海洋生物国勢調査

【ワシントン **23日** 共同】地球の海にいる魚の種類は確認されただけで約1万5300種、生物全体では21万種に上る。日本、米国など53カ国の科学者グループが **23日**

、国連などの資金で3年がかりでまとめた初の「海洋生物国勢調査（センサス）」の結果を発表した。

研究グループは「さんご礁などの生息地の破壊や漁業による乱獲で、生存が脅かされている海洋生物も多い」と指摘。海の生態系の研究と保護活動強化を提言した。

調査に参加した科学者300人以上の研究成果などを集めた結果、3年間で600種近くの新種の魚が確認され、センサスのデータベースに記録された種は1万5304種に達した。新発見の種は今後も増え続け、2010年までにさらに2000_3000種は増える可能性があるという。

Plus de 15 000 espèces de poissons Premier recensement int'l de la faune marine

[Washington 23 Kyôdô] Les espèces de poissons présentes dans les mers du globe viennent seulement d'être dénombrées, elles s'élèvent à 15 300, contre 210 000 pour toutes les espèces animales. Le 23, un groupe de scientifiques de 53 pays, dont le Japon et les Etats-Unis, a publié les résultats d'un recensement "Census international de la faune marine", le premier du genre, qui a pris 3 ans et a été financé entre autres par les Nations unies.

...

Suite à l'accumulation des résultats de recherche de plus de 300 scientifiques ayant participé au recensement, en trois ans, près de 600 espèces ont été nouvellement recensées et les espèces enregistrées dans les bases de données du recensement s'élevaient à 15 304. Le [nombre] d'espèces nouvellement découvertes devraient aller croissant à l'avenir, et il est possible que d'ici à 2010 ce nombre atteigne 2 à 3 000 espèces.

On voit ici que la répétition de la date, *le 23*, institue un ancrage temporel objectif en début de dépêche. La dernière phrase est particulière, elle est prospective. Le futur n'est pas marqué sur le verbe, il n'y a que deux temps en japonais (passé ou non-passé). La phrase porte un adverbe temporel relatif (*à l'avenir*), une date dans le futur (*d'ici à 2010*) exprimée en année, et une marque de distance **to iu** (discours indirect impersonnel, traduit par le conditionnel *devraient*). En effet, la prédiction n'est pas assumée par le journaliste, qui se doit de rapporter des événements attestés, or le futur est un irréel. Nous retrouverons cette particularité dans l'ensemble du corpus.

Au-delà de cette particularité, on voit que le discours progresse du présent vers le futur, ce qui est l'ordre le plus naturel dans le récit ordinaire.

2.2 Le paradoxe de l'explication

Lorsque les événements rapportés sont conflictuels ou bizarres, ce qui est souvent le cas, il devient nécessaire d'élaborer leur présentation. Le cours naturel du récit est donc interrompu. Le procédé d'explication est fondé sur la rétrospective. Un événement passé explique un événement actuel. Pour séparer un événement principal de l'événement explicatif, on a recours à un procédé, par exemple le passif marque l'événement relatif. Mais encore faut-il signaler la transition. Dans l'exemple 4 le journaliste reprend le présent simple, tandis que les faits sont relatés au passé. Mais les dates permettent de se repérer par rapport à l'antériorité de l'événement explicatif. Ici une seule date en année singularise l'événement relatif.

Exemple 4. Événement relatif (site Ananova) (ADJ 119)

Thursday 9th October 2003

Hunters find 140 shoes filled with butter

A Swedish couple hunting on a remote mountain in Sweden's far northern province of Jaemtland have found 70 pairs of shoes, all filled with butter.

There were 140 shoes of all kinds - trainers, high heels, boots and tap shoes - each stuffed with half a kilo of butter and spread out in the landscape.

The find is similar to one done by artist Yu Xiuzhen's in 1996.

His exhibit "Shoes With Butter," was laid out in the Tibetan mountains surrounding Lhasa, China.

"If we knew who had done this we could make them clean this mess up," Alf Kjaellstroem, a province spokesman said.

"It's not going to be pretty when the butter starts to rot. And we have to wait for the snow so we can get up there with the snowmobile."

© Associated Press

La référence explicite au temps permet de donner un rythme, de mettre en jeu des échelles de temps différentes, avec des mesures différentes. Normalement, un événement est rapporté tel jour. Le jour est donc la mesure partagée entre le lecteur et le journaliste. Dans la dépêche ci-dessus, *il n'y a pas* de mention de jour. Cela met la puce à l'oreille. L'événement énoncé principal (la découverte en Suède) est par défaut rattaché à 2003, l'événement énoncé relatif (la découverte en Chine) est explicitement rattaché à un passé 1996. Nous sommes donc invités à prendre en compte une épaisseur de temps qui se mesure en années et à construire une unité de discours plus grande que d'habitude. Il y a trois mouvements dans la dépêche, qui correspondent au présent (la découverte actuelle), au passé explicatif (la découverte en 1996) et à un jugement orienté vers le futur (ce qu'on peut faire). Notons que le commentaire des faits attestés est dans une enveloppe de discours rapporté □ les supputations et les projections sur le futur sont déléguées à un personnage médiateur. Notons aussi que l'épaisseur de temps choisie souligne que l'événement n'est pas banal.

Dans la dépêche japonaise ci-dessous, l'événement rapporté est plus banal, il s'inscrit dans l'ordre des jours. Le premier plan est construit par l'interrogation dans le titre, l'interrogation étant imputable au journaliste. L'exposé des événements est dirigé par une succession de réponses à des "pourquoi". Dans le corps de texte on retrouve aussi trois mouvements □ un présent, un passé, un futur. Le présent concerne l'action immédiate □ il est lui-même organisé en récit chronologique. Le passé (impersonnel inactif) est suivi par le **présent** (actif) et le futur (avec adverbe relatif). L'antériorité de l'événement explicatif est marquée par l'aspect. La prospective est marquée lexicalement dans la dernière phrase (*mezasu*: viser, prévoir).

Exemple 5. Dépêche explicative Kyodo (JDJ 69)

2003年（平成15年）9月20日

元留学生 2 人の身柄拘束か 福岡・一家殺害で中国公安当局

福岡市の一家4人殺害事件で、実行犯とみられ事件直後に出国して姿を消した中国人元留学生、王亮容疑者(21)＝別の詐欺事件で逮捕状＝と、元私立大生、楊寧容疑者(23)＝同＝の2人が、中国公安当局に身柄を拘束されている可能性の高いことが19日、分かった。

福岡県警東署捜査本部は、拘束されている2人の確認を急ぐ。

調べでは、2人の詐欺容疑は、事件で使われた携帯電話を他人名義で購入した疑い。捜査本部は死体遺棄などの容疑で逮捕状を取る方針も固めており、警察庁との協議を進め、中国公安当局に捜査協力を要請。近く捜査員を派遣し、事情聴取などを求める。

実行犯の1人とされる魏巍容疑者(23)＝強盗致傷容疑で再逮捕＝は、王容疑者から報酬目的で犯行を誘われたことなどを供述している。県警は王、楊両容疑者に犯行を依頼した人物がいるとみており、中国での事情聴取などで、事件の全容解明を目指す。

Arrestation des 2 ex- étudiants étrangers ? La police chinoise sur le meurtre de Fukuoka

Dans l'affaire de meurtre de Fukuoka où une famille de 4 personnes a été assassinée, le fait est devenu clair le 19 qu'il est très probable que les 2 Chinois anciennement étudiants au Japon, qui sont présumés coupables, le suspect O Lin (21 ans) — actuellement arrêté pour une autre affaire — et le suspect Yang Ming (23 ans), anciennement étudiant dans une université privée — idem — qui ont quitté le pays et disparu juste après les faits, ont été arrêtés par les autorités civiles de sécurité en Chine.

Le bureau d'enquêtes criminelles de la préfecture de Fukuoka se hâte de vérifier l'identité des 2 personnes arrêtées.

Lors de l'enquête, [on s'est] douté que les 2 suspects avaient acheté les téléphones portables utilisés pendant les faits sous une fausse identité. Le bureau d'enquêtes criminelles a la ferme intention d'inculper les suspects sous le chef d'avoir fait disparaître les corps et en accord avec la police nationale [a déposé une] demande officielle auprès des autorités chinoises de sécurité civile pour une coopération dans la procédure judiciaire. [Le bureau d'enquêtes] envoie prochainement des enquêteurs et demande l'audition des inculpés.

Le suspect Wei Wi (23 ans) — arrêté pour la seconde fois pour violences graves — qui est présumé faire partie des coupables, a fait effectivement une déposition, dont le fait [qu'il aurait] été poussé au crime par O, contre rétribution. La police préfectorale considère que quelqu'un a commandité le crime aux deux suspects O et Yang, et s'attend à une prompte résolution de toute l'affaire, grâce aux auditions en Chine.

Ce qui manque dans cette dépêche, par rapport à l'exemple 3, est la mention de temps explicite exprimée en semaines, mois ou années dans le dernier mouvement pour entraîner le lecteur dans la prospective. C'est donc le récit qui est saillant, l'action présente de la police qui est mise en valeur. La logique n'est pas appuyée.

2.3 Les échelles de temps □ le temps de la réflexion

La mesure du temps sert souvent à donner une importance relative à l'événement. Dans les situations complexes, plusieurs mesures de temps sont utilisées. Elles permettent de donner plusieurs points de vue, ou de construire des arguments. Dans les dépêches suivantes, trois mesures de temps, les heures, les jours et les années sont proposées. Chaque mesure correspond à un cadre d'interprétation.

Exemple 6. Dépêche explicative avec trois ordres de temps (ADJ 63)

Israel Fires Rockets on Lebanon

Friday, July 31, 1998; 9:43 p.m. EDT

MARJAYOUN, Lebanon (AP) -- Israeli planes fired rockets at guerrilla routes in southern Lebanon Friday, hours after a roadside bomb killed a pro-Israeli militiaman, Lebanese security officials said.

At least two Israeli fighter-bombers fired four missiles at guerrilla infiltration paths in a valley near Jezzine in the Israeli-occupied zone, the officials said.

Less than three hours before the raid, a bomb, apparently detonated by remote control, went off on a road outside Jezzine as a pickup truck was passing.

The driver, Nabil Iskandar, a member of the South Lebanon Army militia, was killed instantly and his sister Salam, 12, who was sitting next to him, was wounded, the officials said. There was no immediate claim of responsibility for the bombing.

Jezzine is 13 miles north of Marjayoun, the main town in the security zone that Israel set up in 1985 to protect its northern territory from guerrilla attacks.

On Thursday, one Israeli soldier was killed and five others were wounded in an ambush by the Iranian-backed Hezbollah.

The guerrillas are trying to oust 1,500 Israeli soldiers and 2,500 allied militiamen from the security zone.

© Copyright 1998 The Associated Press

Dans cette dépêche, l'ordre chronologique des événements n'est évidemment pas respecté. La disposition favorise l'exposé des causes, sous la forme d'antécédents temporels□ quelques heures avant, un jour avant, se sont produits des événements expliquant le raid israélien, du point de vue israélien. Le présent associé à un argument distant dans le temps (1985) permet de comprendre qu'il ne s'agit pas d'un événement isolé, mais d'un épisode d'une longue guerre.

Il y a également prise de position. Une enveloppe de discours rapporté établit un contraste entre les faits et leur mise en perspective. Un ancrage est proposé par rapport au raid israélien (*after/before*) dans cette enveloppe. Lorsque le journaliste ajoute des explications géopolitiques, il sort de ce point de vue en instaurant une nouvelle échelle de temps. Pourtant toutes les mesures de temps ont pour référent Israël, l'effort d'objectivation n'est pas convaincant.

L'exemple 7 montre une dépêche relatant un épisode dans un événement de plus grande durée, une éruption volcanique en cours, avec mention d'heure, de demi-journée, de jour et une date en année. Le cadre donné au début est la demi-journée.

Exemple 7. Dépêche avec quatre ordres de temps Kyodo (JDJ 37)

Kyodo 2000/03/31 18:58

5つの火口で割れ目噴火 泥流を警載

噴火した北海道・有珠山（七三二メートル）は三十一日午後、断続的に噴煙を上げ続けた。噴火場所は北西山ろくの国道230五に近い標高約二〇〇メートル地点。北西―南東方向に五つの火口ができた「割れ目噴火」で、マグマが地下水に触れて起こる水蒸気爆発とみられる。住民は非難しており、けが人などの報告はない。

火山噴火予知連絡会は（会長・井田喜明東大地震研究所教授）「今後も噴火活動が続くと考えられ、噴火場所が移動する可能性がある」との統一見解を出し、厳重な警戒を呼び掛けた。火砕流発生の可能性は低いが、火山活動は長期化する恐れがあるとしている。

有珠山の山腹には八〇―三〇センチの積雪があり、同日夜から天気が崩れるため、札幌管区気象台は泥流が発生しやすいとしている。

政府は、自然災害では一九九五年の大阪地震以来となる「有珠山噴火非常災害対策本部」（本部長・中山正暉国土庁長官）を設置、同日午後三時すぎから初会合を開いた。

気象庁などによると、噴煙は一時、高さ約三千二百メートルまで上がり東に流れた。虻田町方面では火山弾、火山れきも確認、虻田町や壮瞥町、大滝村などで降灰があった。虻田町内では午後四時すぎから強い硫黄のにおいが漂った。

Éruption explosive par cinq cratères Détection de soufre

Le volcan Usu (732 m) qui est entré en éruption à Hokkaido continuait l'après-midi du 31 à produire une épaisse fumée sans interruption. Le lieu de l'éruption [est situé] sur une hauteur à 200 m de la route nationale 230, sur le flanc ouest. C'est une éruption par 5 cratères disposés dans la direction nord-est à sud-ouest, et comme le magma touche à des nappes d'eau souterraines, il s'agit d'explosions de vapeur d'eau. La population a été évacuée et on ne signale aucun blessé.

Le comité de prévision et de liaison pour les éruptions volcaniques (président: Kichiaki Imai, professeur au laboratoire de sismologie de l'Université de Tokyo) a livré un avis unanime: "L'activité éruptive devrait se poursuivre, et il est probable que le lieu de l'éruption se déplace". Il a issu un avis d'alerte redoublée. Le risque de coulées de pierres est faible, mais il est à craindre que l'activité volcanique dure longtemps, estime le comité.

Le flanc du volcan Usu est recouvert d'une couche de neige de 30 à 80 cm, et comme le temps devrait se dégrader ce jour, à partir de la soirée, la station météorologique du district de Sapporo estime que des coulées de boue risquent de se produire.

Le gouvernement a établi un "quartier général pour coordonner les mesures d'urgence pour les dégâts du volcan Usu", (président : Tadaaki Nakamura, directeur de l'Agence du Territoire national), c'est la deuxième fois pour une catastrophe naturelle depuis le tremblement de terre d'Osaka en 1995. La première réunion s'est tenue à partir de 3 heures de l'après-midi ce jour.

Selon l'agence météorologique et d'autres sources, la fumée s'est élevée jusqu'à environ 3 200 m de haut et s'étendait vers l'est. Dans la direction de la ville d'Abuta, on a observé des projections de lave et de pierres incandescentes et la cendre est tombée sur les villes d'Abuta, Sôbetsu et le village d'Ôtaki. Dans la ville d'Abuta, à partir de 4 heures de l'après-midi, il s'est répandu une forte odeur de soufre.

Lorsque les indices temporels débordent du jour, ils permettent de construire une durée pour l'événement et une perspective pour le lecteur. Ici, le récit progresse de l'après-midi au soir, dans l'immédiateté de l'événement. Les explications sur la durée probable de l'éruption sont enfouies dans des passages citatifs. Pour évaluer l'importance de la catastrophe, un repère est donné par la date en année. Cette évaluation (encadré pointillé) est saillante, car elle rassemble tous les repères temporels ponctuant la dépêche. L'événement récapitulé est inscrit dans le temps, il a un passé, un présent et un futur. Cependant, la narration ne s'arrête pas là. Le second thème porte l'information nouvelle. La relation entre le journaliste et le lecteur s'établit par les mentions d'heures, qui ramènent à un présent "L'agité décrit au temps passé.

3. Le temps de l'action : les informations boursières

Il existe d'autres dépêches en feuilleton, dont les nouvelles boursières. Dans ce cas, la périodicité est conventionnelle (3 par jour au moins). Mais il existe aussi des nouvelles ponctuelles. Lorsque le texte précise uniquement un pas de temps inférieur au jour, la dépêche ne couvre pas l'intégralité de l'événement. La mention d'heure est un indice "l'agitation", la mention d'heure et de minutes a fortiori.

Exemple 8. Dépêche ponctuelle en anglais (AJD 16)

TOTAL BOOSTED BY SALES RISE.

PARIS, Aug 19 (Reuter) - Shares in oil group Total SA were boosted by a general market recovery and a rise of 19.4 percent in first half sales, dealers said.

At 0813 GMT, Total was up 2.74 percent at 601 francs while the CAC-40 index was up 1.25 percent at 2,905.92.

-- Paris newsroom +33 1 4221 5452

(c) Reuters Limited 1997

REUTERS NEWS SERVICE

Les nouvelles boursières sont complexes parce qu'elles décrivent des événements liés à des jugements sur la situation financière. De plus, elles forment elles-même la base de jugements. Contrairement à une idée reçue, ces dépêches sont très argumentées. Elle sont très denses.

Les exemples 8 et 9 sont des nouvelles brèves qui seront insérées plus tard dans une synthèse. Il n'y a pas de contraste entre le titre et le corps de texte et pas de progression temporelle. Dans ces deux dépêches, on voit bien un contraste, entre des faits (encadré) marqués par la mention d'heure et une explication. Mais cette symétrie est trompeuse, l'ordre des arguments ne correspond pas aux marques attendues. C'est le signe que le discours est incomplet.

Exemple 9. Dépêche boursière d'ouverture en japonais Kyôdô (JDJ 64)

2003年(平成15年) 9月20日

NY株式市況(午前) 小動き、新規材料乏しく

【ニューヨーク19日共同】19日のニューヨーク株式市場のダウ工業株三十種平均は小動き。午前10時現在はは小幅続伸の前日比4・42ドル高、9663・55ドルで取引された。ハイテク株主体のナスダック総合指数は7・63ポイント安の1901・92と反落した。

新たな米経済指標などの手掛かり材料に乏しく、朝方から前日水準をはさんだ狭い範囲での値動き。米景気回復の加速期待から前日、大幅高となったため上げ一服感が強い。

Bourse de NY tendance (matinée) Stable, peu d'indicateurs nouveaux

[New York, 19, Kyôdô] L'index Dow [Jones], moyenne de 30 actions industrielles, de la bourse de New York le 19, stable. À 10 h actuellement il était en faible hausse de 4,42 dollars sur la veille, à 9663,55 dollars. L'index Nasdaq des valeurs technologiques tombait de 7,63 points à 901,92.

Les indicateurs disponibles sur l'économie américaine étant rares, valeurs stables comprises dans une étroite fourchette comparable aux niveaux de la veille, depuis le matin.

Comme hier la bourse a beaucoup monté car on s'attendait à une accélération de la reprise aux Etats-Unis, [on a] le fort sentiment qu'on souffle dans la montée.

Le propre des premières dépêches, émises peu après l'ouverture des marchés est d'être des discours suspendus comme dans l'exemple 8. Au fil de la journée, elles s'étoffent ou s'empilent. Les dépêches boursières de synthèse reconstituent un discours complet sur le sujet en établissant une hiérarchie, une explication générale et une prospective. Les exemples sont trop longs pour être cités, nous donnerons donc les titres mouvants du 19 août 1997 sur les marchés européens pour indiquer comment les fluctuations du monde se reflètent dans les versions successives de la dépêche.

Exemple 10 Le flux de dépêches de synthèse de Reuters sur les marchés boursiers

08/19/97 UK: FOCUS-EURO SHARES GAIN, GERMAN MONEY NEWS AIDS DLR.

08/19/97 UK: FOCUS-EURO SHARES CONSOLIDATE GAINS, DLR UP PRE-FOMC.

08/19/97 UK: FOCUS-EURO STOCKS MAKE SOLID GAINS, DOLLAR HIGHER.

4. Conclusion

La progression la plus courante dans le récit ordinaire est globalement chronologique, allant du passé au présent et au futur "du monde". Mais, dans le genre journalistique, les auteurs sont censés rapporter des faits réels, or le futur n'est pas attesté. Le futur est donc exprimé par procuration.

D'autre part, les événements rapportés dans les dépêches sont ou conflictuels ou inattendus. Cela implique une problématisation, la primauté de la logique sur le déroulement chronologique. On pourrait même dire que la reconstitution d'un fil chronologique est le défi principal posé au lecteur, qui s'appuie souvent sur des indices autres que le temps des verbes. Néanmoins, les repères proposés forment des jalons dans le temps. L'épaisseur de la mesure de temps est un des procédés de hiérarchisation des événements rapportés. L'ordre du discours crée ainsi à travers différents moyens des scènes, des mouvements, des arguments, que nous, lecteurs, mettons en relation avec notre perception du monde.

Le changement d'échelle temporelle est un des critères stables de l'organisation du discours journalistique. Que la perspective s'ouvre par mention d'un cadre plus général, un futur ou une période (passée ou présente) plus vaste, ou bien qu'elle se referme, par mention d'un instant particulier, la dépêche est close lorsque l'événement rapporté est inscrit dans un temps relatif.

Les dépêches de presse ont la réputation d'être platement descriptives et neutres. Elle ne le sont pas, ou plus si elles l'ont jamais été. On y observe au contraire une sophistication très grande des moyens rhétoriques mis en œuvre pour exposer, expliquer, rendre compréhensible des situations complexes. L'axe du temps reste primordial, mais il est exploité surtout dans la relation auteur-lecteur, le temps d'instaurer une connivence. Le temps de l'énoncé est souvent bouleversé, inversé dans les explications, détourné par l'argumentation. Les dépêches sont didactiques et elles sont aussi engagées.

Références bibliographiques

- ADAM, J.-M. (1997). Unités rédactionnelles et genres discursifs □ cadre général pour une approche de la presse écrite. *Pratiques* (94).
- CICUREL, F. (1992). Pré-visibilité des discours journalistiques: à propos d'un événement-catastrophe. *Carnets du Cediscor*, (1), 55-78.
- Van DIJK, T. (1985). *Handbook of discourse analysis*. New York, Academic Press, 2 vol.
- GOSSELIN, L. (1988). Les circonstanciels, de la phrase au texte. *Langue française*, 77 (février 1988), 37-45.
- JAKOBSON, R. (1960). Linguistics and Poetics. In Sebeok (ed), *Style in Language* New York, Wiley, 350-77.
- JAKOBSON, R. (1963). *Essais de linguistique générale*. Paris, Editions de Minuit.
- JAKOBSON, R. (1973). *Questions de poétique*. Paris, Seuil.
- KARLGREN, J. & JÄRVINEN, T. (2002). Foreground and background text in retrieval. In Karlgren, J., Gambäck, B. Kanerva, P. (eds) *Acquiring (and Using) Linguistic (and World) Knowledge for Information Access*, Menlo Park, spring 2002, The American Association of Artificial Intelligence.
- KARLGREN, J. (2000) Stylistic Experiments for Information Retrieval.
- LUCAS, N. (2000) Le rôle de la citation dans la structuration des articles de presse. In Murakami-Giroux, S. & Séguy, C. (eds), *Actes du premier colloque d'études japonaises de l'Université Marc Bloch*, Strasbourg, Université Marc Bloch Strasbourg, 215-244.
- LUCAS, N. (2003) The enunciative structure of news dispatches, a contrastive rhetorical approach, *Language, culture, rhetoric, ASLA Conference*, Örebro (Suède), 6-7 novembre 2003.
- NIEL, A. (1979). *L'analyse structurale des textes: littérature, presse, publicité*. Paris, Jean-Pierre Delarge Editions universitaires, 187.
- PETÖFI, J. S. (1988). *Text and Discourse Constitution*. Berlin/New York, De Gruyter.
- POLANYI, L. & SCHA, R.J.H. (1983). The syntax of discourse. *Text*, (3), 261-270.
- WEINRICH, H. (1973). *Le Temps: le récit et le commentaire*. (Poétique), Paris, Seuil, 334.

L'itinéraire comme outil de lecture de l'expérience du mouvement du sujet à la fois dans le temps et l'espace

Sylvie MIAUX

en doctorat de géographie à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour,
laboratoire SET (CNRS UMR 5603)
IRSAM, Domaine Universitaire, 64000 PAU
e-mail : s.miaux@etud.univ-pau.fr

Résumé

De nos jours, la problématique de la mobilité est centrale, dans cette optique nous avons choisi de nous intéresser tout particulièrement à l'expérience du sujet lors de son déplacement à la fois dans le temps et dans l'espace. Ainsi, s'est imposé à nous l'idée de proposer un nouveau concept. Il s'agit de l'itinéraire comme révélateur d'expérience évolutive, dans le temps, du sujet le long des lieux parcourus. Pour cela, nous avons eu recours à l'étude de deux terrains très différents : l'itinéraire des chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle et la ville de Rio-de-Janeiro. Le premier permet une analyse générale de l'itinéraire, le second teste la présence d'indicateurs qui influenceraient l'existence d'un itinéraire.

Mots-Clefs : itinéraire, expérience évolutive, sujet, lieu, temps, pèlerinage, ville, mouvement, approche culturelle

1 Introduction

Actuellement, si l'on considère la relation espace/temps, il semble que la notion de durée l'emporte de façon déterminante. « La lutte contre la distance, qui fut l'une des grandes affaires de l'histoire de l'humanité, semble belle et bien gagnée¹ ».

La distance ne jouant plus, les relations de l'individu à l'espace ont profondément changé. Les déplacements quotidiens pour le travail ainsi que les loisirs, se sont multipliés et les distances parcourues ont considérablement augmenté. D'une part, la proximité géographique n'est plus un facteur déterminant dans l'organisation des relations de l'individu à l'espace : « *ce n'est pas en général la proximité géographique de résidence qui construit le groupe mais une proximité de goûts, de pratiques communes ...on ne construit pas un groupe simplement avec les gens qui*

¹ p.32. PIERRET Christian. Les mobilités géographiques d'aujourd'hui. Dans *Planète « nomade » : les mobilités géographiques d'aujourd'hui*, Rémy Knafou (dir.), Paris : Belin, 1998, p.27-35.

*résident à côté*² ». D'autre part, nous faisons partie de l'ère de l'automobile et des transports en commun où la passivité de notre corps nous fait perdre contact avec le monde qui nous entoure. Comment à partir d'une nouvelle gestion de l'espace et du temps redonner sa dimension au corps notamment dans la ville ? De quelle façon, en adoptant une démarche ancrée dans la géographie culturelle et centrée sur le temps appréhender les problèmes de déplacement, de perception, de pratique de l'espace de l'individu ?

Lorsqu'on analyse les déplacements, les parcours, les trajets, on se réfère à la fois à l'espace et au temps. On note une idée d'évolution du sujet dans son expérience. Une expérience qui se développe à la fois dans le temps et l'espace. Cette dernière est souvent étudiée en géographie sur un instant donné à partir d'un point statique. Les humanistes et phénoménologues en réaction au structuralisme, ont privilégié l'analyse de l'expérience vécue. Néanmoins, il s'agit d'une expérience où on accorde peu d'attention au temps. Seules les impressions, les sentiments recueillis à un moment donné sont retenus. Cependant, l'expérience d'un individu n'est pas fixe elle change au fur et à mesure qu'il avance. C'est pourquoi, nous avons aussi choisi de présenter le concept d'expérience en l'associant à l'idée de progression dans le temps. C'est au travers du concept de lieu mis en relation avec le sujet, vu qu'ils « fonctionnent comme deux primitives de l'expérience humaine »³ que nous étudierons l'expérience. Ils sont alors les supports de l'expérience humaine du fait de leur étroite imbrication. Mais qu'en est-il lorsqu'on intègre le temps dans la compréhension du lieu ?

Le lieu peut-être considéré comme une pause dans le mouvement, comme le suggère Tuan, ce qui ne veut pas dire que le lieu est intemporel, mais au contraire que le lieu dénote une relation inséparable entre l'espace et le temps. « *La pause permet la localisation, elle se transforme en un pôle structurant de l'espace, ce qui implique l'établissement d'une distance, qui donne un concept en même temps temporel et spatial* »⁴. Malgré tout, il semble que le lieu ne permet pas d'apprécier l'épaisseur du temps, vu qu'il ne correspond dans la progression d'un individu qu'à une étape.

Quel concept peut alors être susceptible d'incorporer la notion de temps dans le but de mieux comprendre l'expérience du sujet dans le mouvement ?

² p.6. PIOLLE Xavier. Proximité géographique et lien social, de nouvelles formes de territorialité ? *Espace géographique*, 1992. p.4-9.

³ P.118. Vincent Berdoulay et J.Nicholas Entrikin. Lieu et sujet : perspectives théoriques. *L'espace géographique*, 1998, n°2, p.111-127.

⁴ TUAN Yi-FU. *Espaço e lugar : a perspectiva da experiência*. Sao Paulo : Difel. 250p.

2 Intérêt du concept d'itinéraire en géographie

2.1 De l'itinéraire spatial à l'itinéraire existentiel

Notre choix s'est ainsi porté sur la notion d'itinéraire qui dans un sens courant se définit comme « *un chemin à suivre ou suivi, d'un lieu à un autre*⁵ ». Celui-ci a donc pour fonction de faire le lien entre les différents lieux qu'il traverse. En ressort aussi des idées de pauses, d'arrêts successifs qui scindent le chemin en étapes. Ces dernières marquent des arrêts dans la progression spatiale et temporelle. L'itinéraire est à la fois spatial par le parcours dans l'espace qu'il détermine avec ses étapes mais il est aussi existentiel par l'expérience qui en découle, qui se vit tout le long de celui-ci des rencontres, échanges, questionnement, relation vis à vis des lieux traversés.

- La durée paraît alors être un des facteurs important de décision. Le plus souvent, l'homme moderne porte son choix sur la facilité qui implique une durée moindre.

Néanmoins, plus le parcours de l'itinéraire s'inscrit dans un temps long, plus la perception du monde environnant semble forte. En effet, un randonneur ou un pèlerin qui part durant des mois sur un chemin coupé de la modernité avec pour seul moyen de locomotion son corps va développer un rapport au monde différent. La marche sur ce parcours, qui s'inscrit dans l'espace et la durée, va offrir une ouverture du sujet au monde par la découverte des différents lieux qui jalonnent le parcours. La notion de durée semble être liée, d'après Bergson à l'expérience : « *la durée toute pure est la forme que prend la succession de nos états de conscience quand notre moi se laisse vivre, quand il s'abstient d'établir une séparation entre l'état présent et les états antérieurs*⁶ ». Dans le rapport à l'espace et plus particulièrement au parcours d'un itinéraire, la durée a un rôle important dans l'expérience de l'individu, car tout son être va ressentir par la marche l'effet de l'évolution dans le temps. La durée permet l'évolution du sujet dans le temps. C'est pourquoi, nous avons remarqué dans l'histoire, un changement de priorité avec autrefois une place de second plan accordée au temps, alors qu'Heidegger et d'autres ont privilégié celui-ci par rapport à l'espace. La sensibilité du sujet à travers son expérience de l'itinéraire va se décupler. La durée va alors donner d'autant plus d'intensité à cette progression.

De plus, l'itinéraire prend aussi souvent le sens de chemin de vie : par exemple un individu peut raconter son itinéraire professionnel ou privé...

En effet, ce n'est pas seulement sur le sol qu'il foule que l'homme peut s'égarer ou chercher sa direction. Nous parlons aussi de « voie facile, rude, droite », des « étapes » de la vie, d'égarements, de déviations, de caps à franchir, de « se remettre sur la bonne voie ».

- Toutes ces expressions semblent bien répondre à une spatialisation qui « déborde l'espace pour le corps, à ce que Minkowski appelle l'espace primitif où se meuvent

⁵ BRUNET Roger. *Les mots de la géographie*. p.285

⁶ BERGSON Henri. *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Paris : PUF, 1889. p74-75.

nos pensées, nos désirs, notre volonté⁷ ». Il s'agit d'un espace où se déploie l'existence car elle est par essence extension, qu'elle cherche un horizon, des directions, des existants à rapprocher d'elle, que la vie lui offre des parcours à suivre, faciles ou accidentés, sûrs ou incertains.

- L'itinéraire spatial correspond aussi à un chemin de vie où l'individu veut se retrouver à travers ce tracé qui peut s'apparenter à l'existence faite d'étapes, de rencontres, de difficultés, de remise en question. Il semblerait aussi qu'il organise la progression en ponctuant le parcours d'étapes.

- La durée qui donne sens à l'itinéraire permet un travail sur lui-même du sujet. Elle le plonge, dans une introspection, le fait évoluer dans le temps et l'espace. Son expérience va être rythmée par le tracé du parcours, ses étapes, ses rencontres.

Approfondir l'itinéraire comme nouvelle notion en géographie est liée à l'importance que cette dernière donne à l'expérience du sujet dans le mouvement, la progression. Notre objectif est à présent d'étudier ce nouveau concept comme révélateur et support d'expérience en mouvement de l'individu, en insistant sur le lien logique qui unit le sujet durant son évolution, aux lieux qu'il parcourt, découvre. Sans oublier de privilégier dans l'expérience du déplacement, l'épaisseur temporelle de l'itinéraire.

2.2 *L'itinéraire du corps*

L'individu sur lequel notre étude va porter est le piéton. Pourquoi se consacrer à l'itinéraire du piéton ? Dans un premier temps la marche nous a semblé le meilleur élément d'analyse du rapport du sujet au lieu. Celle-ci permet de développer une expérience particulière, vu qu'on ressent énormément d'émotions, au cours de cette évolution lente, que se soit au niveau physique, psychologique, sensoriel. Il s'agit d'une « *expérience qui se vit d'abord par le corps et les sens avant de se penser intellectuellement*⁸ ».

A travers l'itinéraire qui se dessine, se développe l'expérience en tant « *qu'ensemble des connaissances que l'on acquiert dans le temps et dans l'usage* »,⁹ effectivement, les marcheurs vont acquérir de nouvelles connaissances des lieux qu'ils vont parcourir, des gens qu'ils vont rencontrer et d'eux-mêmes, tout cela dans le temps et l'usage de la marche.

« *A travers la marche, on plonge dans une forme active de méditation sollicitant une pleine sensorialité.* »¹⁰

⁷ DARDEL Eric. *L'homme et la terre*. p. 17

⁸ p.33. Gilles RAVENEAU. L'expérience comme aménagement social et culturel de l'existence. *Sociétés*, n° 64, 1999/2. P.33-41.

⁹ *Dictionnaire de philosophie*. Jacqueline RUSS. Paris, Bordas, 1991. p.102.

¹⁰ LE BRETON David. *Eloge de la marche*. Paris, Ed. Métailié, 2000. p.11.

La marche mène à la découverte du monde, elle en est une expérience pleine laissant à l'homme l'initiative de sa démarche. On retrouve l'idée développée dans la définition de l'expérience en philosophie :

« il s'agit d'une connaissance acquise par les sens, impression sensible non élaborée : synthèse des sensations. »¹¹

En effet, la marche ne privilégie pas le seul regard. Tous les sens sont en exergue de par ce corps qui évolue dans l'espace, *« à la différence du train, de la voiture qui induisent la passivité du corps et l'éloignement du monde.¹² » « La marche est une méthode tranquille de réananchement de la durée et de l'espace »¹³*. Les parcours que l'on réalise à pied, permettent de prendre le temps nécessaire à l'appréhension du monde. Le fait que notre corps évolue à travers la marche fait de la même façon évoluer la pensée : *« ...c'est non seulement avec notre corps que nous pensons, mais bien notre corps qui pense ; et cela non point comme s'il était isolé, mais nécessairement en relation avec son environnement physique et social. ...la pensée relève de la corporéité »¹⁴*. C'est pourquoi tout ceci équivaut à dire *« que nous prédiquons le monde à partir de notre corps ; ce qui correspond, littéralement, à l'idée merleau-pontienne que le réel est chargé de prédicats anthropologiques, donnant ainsi naissance à la réalité¹⁵ »*.

De plus, l'Histoire montre que ce « corps des gens », sous l'influence des idées occidentales, est devenu moins sensible ; *« ce qui confirme que la modernité, quelle que soit la société en question, est adverse au corps médial¹⁶ (c'est la trajection de l'humain dans son environnement) »*. On se rend compte qu'aujourd'hui il reste *« des corps qui vont et viennent dans les territoires illimités du quotidien urbain, les uns sont pressés, actifs, agités, d'autres semblent au repos¹⁷ »*. Le corps se fait de plus en plus pénible à assumer que se restreint la part de ses activités sur l'environnement. *« Cet effacement entame la vision du monde de l'homme, limite son champ d'action sur le réel, diminue le sentiment de consistance du moi, affaiblit sa connaissance des choses¹⁸ »*. Comme le pointait déjà Paul Virilio *« l'humanité urbanisée devient une humanité assise¹⁹ »*. Hormis les quelques pas qu'ils font pour se rendre à leur voiture ou en sortir, aller à leur travail et rentrer, une majorité d'individus demeurent assis à longueur de journée, sans autre mobilisation physique. C'est pourquoi, de nos jours nous constatons de plus en plus de problèmes de santé liés au manque d'exercice, de

¹¹ Dictionnaire de philosophie. p.103

¹² LE BRETON David. *Eloge de la marche*. p.14

¹³ LE BRETON David. *Eloge de la marche*. p.18

¹⁴ BERQUE Augustin. *Ecoumène, introduction à l'étude des milieux humains*. Paris : Belin, 2000. p.191

¹⁵ *Ibid.* p.192

¹⁶ *Ibid.* p.196

¹⁷ p.31. Thierry PAQUOT. Redonner de l'espace au corps. *L'urbanisme*, juillet-août 2002, n°325. P31-38

¹⁸ p.37. David LE BRETON. Redonner de l'espace au corps.

¹⁹ VIRILIO Paul. *Essai sur l'insécurité du territoire*. Paris : Stock, 1976. p132

mouvement du corps. « *Le corps paraît un anachronisme dans le monde où règne l'homme pressé*²⁰. » Il semble que le corps a été oublié comme unité de mesure de l'espace des villes. A travers, le concept d'itinéraire il nous reste à montrer l'importance des déplacements piétons dans l'appréhension de l'espace et du temps par l'individu. Pour cela nous avons choisi de centrer notre méthodologie sur la réalisation d'entretien, avec des pèlerins, dans le cadre du pèlerinage à Saint-Jacques-de-Compostelle. Puis sur la mise en place de questionnaires relatifs à la pratique des déplacements à Rio de Janeiro, en relation au problème d'insécurité, associé à la réalisation de carte d'itinéraire, afin de repérer les indicateurs susceptibles d'expliquer le choix de l'itinéraire. Enfin, pour ce qui est de l'influence de la religion Candomblé, nous avons choisi de réaliser quelques entretiens avec des adeptes, mais aussi avec un anthropologue spécialisé en culture afro-brésilienne.

3 Mise à l'épreuve du concept d'itinéraire à partir de deux exemples : le pèlerinage à Saint-Jacques-de-Compostelle et la ville de Rio de Janeiro

Notre réflexion portant sur l'analyse des aménagements relatifs aux déplacements, nous souhaitons mettre à l'épreuve le concept d'itinéraire comme révélateur de fonctionnement, de perception, de pratiques de l'espace qui permettrait de mieux cerner les logiques de déplacements. Pour cela nous avons tenter de repérer l'existence d'itinéraires différents suivant les pratiques des individus à partir de deux exemples : le pèlerinage à Saint-Jacques-de-Compostelle afin de mettre en évidence l'épaisseur du temps, le découpage en temps (de marche, de repos, de discussion...) mais aussi l'expérience particulière du temps durant l'itinéraire. Puis, nous verrons de quelle façon l'insécurité et la religion Candomblé influencent le choix de l'itinéraire.

3.1 Le pèlerinage à Saint-Jacques-de-Compostelle : un chemin de vie inscrit dans le temps

Le pèlerinage à Saint-Jacques-de-Compostelle est à l'origine de la création d'un itinéraire que l'on peut qualifier d'historique, qui s'inscrit dans la durée. Les siècles ont dessiné, tracé, défini cet itinéraire, les hommes qui l'ont foulé en sont les créateurs. Les marques du temps s'inscrivent dans l'espace tout le long du chemin. Les paysages, le patrimoine gardent précieusement les traces de ce pèlerinage. Ainsi, l'expérience du pèlerin va s'enrichir des expériences passées, il va puiser dans les traces laissées par ses ancêtres la force de continuer.

L'itinéraire des chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle offre aux individus le temps nécessaire, durant la marche, de développer leur propre expérience. Il leur permet aussi d'adhérer au groupe des pèlerins, durant les temps de pause dans les

²⁰ P.38. David LE BRETON. Redonner de l'espace au corps.

gîtes d'étape : « *notre vie est rythmée par les étapes qui nous permettent de nous retrouver après de longues heures de marche solitaire.* ²¹ »

En fait, la progression est solitaire et les moments de repos privilégient les rencontres et les échanges.

De plus, suivant la démarche du pèlerin, la vision de l'itinéraire sera différente. L'itinéraire du croyant et celui du sportif ne correspondent qu'à une partie des attentes des individus. Seuls les éléments religieux pour les premiers et topographiques pour les autres sont privilégiés. L'itinéraire est considéré comme un chemin linéaire permettant de se rendre d'un lieu à un autre. En quelque sorte, entre l'ici et l'ailleurs, ceci se traduit dans le pèlerinage par « *la construction de deux pôles : le lieu profane du vécu habituel et le lieu saint d'un surplus salutaire mythifié. Entre les deux se situe la pérégrination, série de lieux, mais plus encore faisceau de situations vécues (ou à vivre)* ²² ».

Par contre le parcours de « l'aventurier » est beaucoup plus ouvert. Le pèlerin est alors davantage réceptif à tout ce qui l'entoure, les lieux de toutes sortes, les paysages, les dénivelés... les gens. On se situe alors dans le cas où l'itinéraire fait partie intégrante de soi. « *On vit à l'allure de la marche, c'est-à-dire à 4 km/heure. Le temps n'a plus la même signification, on est en quelque sorte « hors-temps »* ²³ ».

Enfin, nous avons constaté que ce dernier conditionnait en partie le rapport des individus aux lieux. D'une part, il organise la progression des individus dans le temps et l'espace à partir des étapes, d'autre part, son tracé limite la zone à parcourir et les lieux à traverser. Effectivement « *le trajet linéaire du voyage se différencie de toutes manières du trajet concentrique, repéré, reconnu, à partir d'un lieu de résidence et autour de lui, parce que l'itinéraire de pèlerinage implique des séries de moments d'exception, des changements temporaires de mode de vie, des seuils, des obstacles et des rêves de parcours* ²⁴ ».

Nous constatons que le pèlerinage est considéré comme l'inverse de la vie quotidienne ; on y observe des comportements prenant à contre pieds la vie de tous les jours. C'est pourquoi les perceptions changent et les intérêts aussi, donnant ainsi une autre épaisseur à la fois temporelle et spatiale à cet itinéraire.

3.2 Rio de Janeiro : violence et religion à l'origine d'itinéraires

Le phénomène de l'insécurité est omniprésent dans les rues de Rio de Janeiro, il influence considérablement le choix de l'itinéraire. Effectivement suite à une série d'enquête réalisée au mois de novembre 2003 qui reposait aussi sur la réalisation d'un dessin représentant l'itinéraire quotidien, nous avons remarqué tout d'abord le

²¹ Leslie, pèlerin rencontré sur le chemin du Puy-en-Velay en septembre 2000.

²² p.139. Claude RIVIERE. Représentation de l'espace dans le pèlerinage africain traditionnel. Dans, *Ethnographies*, Paul CLAVAL (dir.), Paris : L'Harmattan, 1995. p. 137-148.

²³ Hervé, pèlerin rencontré sur le chemin du Puy-en-Velay en septembre 2000.

²⁴ *Ibid.* p.139.

temps considérable passé dans les transports en commun, le choix de certains parcours plus longs mais surtout plus sûrs. La durée n'est pas toujours l'élément de choix d'un itinéraire, mais pour beaucoup la sécurité du parcours est plus importante, voire même la sécurité du transport. Certains pourraient se rendre à leur travail à pied car il n'y a que 10 à 15 minutes de marche, mais la mauvaise fréquentation de ce secteur de la ville va les obliger à prendre le bus voire un taxi. Le temps du parcours n'en sera pas plus court. Ainsi, le rapport au temps est souvent secondaire, les cariocas préféreront se lever plus tôt s'il le faut, afin d'éviter des situations de violence.

Enfin, en ce qui concerne l'influence de la religion Candomblé dans le choix de l'itinéraire, il y a deux choses à expliquer. Tout d'abord, il est important de signaler que cette religion est fortement liée à la nature comme on peut le voir dans la pratique des rituels, sacrifices, offrandes... « *beaucoup des rituels doivent être réalisés à l'extérieur des murs des « terreiros » (édifice religieux du candomblé), à des points où il y a une fontaine d'énergie mythique des dieux et qui, pour cela, sont tenus comme des autels ou scénarios propices à sa rencontre, ceci est situé au contact direct de l'homme avec le surnaturel.*²⁵ »

On se rend compte à quel point la localisation géographique des rituels dépend de l'aspect sacré de l'espace, à offrir un lieu propice de relation de l'homme à la sphère surnaturelle. Ainsi, les offrandes vont s'organiser à partir d'un système spatial bien défini. « *En général la remise des offrandes à Exu se réalise aux croisements de rues à la moitié de la nuit, parce qu'à cette heure ... les rues de la ville sont moins agitées. Les croisements doivent être en forme de X, parce que celle en forme de T sont de Pombagira, qualité féminine de Exu, très sollicitée pour résoudre les problèmes amoureux et sexuels.... Les lieux de passages et de limites aussi sont propices à la vénération de Exu...*²⁶ » La localisation des offrandes au cœur de l'espace public va donner à ce dernier une dimension sacrée. On peut alors penser que ceux qui appartiennent à ce type de religion, vont concevoir leur itinéraire en partie en relation avec les fondements de leur religion. Il s'agit en quelque sorte d'un itinéraire de communication avec l'au-delà. Les marques qu'ils laissent dans l'espace peuvent être considérées comme des indicateurs de leur itinéraire. Un itinéraire qui doit suivre les règles de leur croyance. Un itinéraire qui s'inscrit dans le temps par les marques, repères laissés lors des offrandes ou différents rituels. Par exemple, le rituel de la propreté qui se fait aux abords d'un lac, point d'eau « *prescrit que le fidèle ne retourne jamais à ce point, dans le cas contraire son efficacité serait compromise. Ainsi, il est important de savoir si à ce point, qui va devenir tabou pour le fidèle, s'il pourra être évité dans sa vie future, sur son chemin pour aller au travail, à l'école etc.*²⁷ ». Ainsi, le fidèle doit tenir compte de son itinéraire dans la pratique de sa

²⁵ p.103. Vagner GONCALVES DA SILVA. As esquinas sagradas. *Na metropole : textos de anthropologia urbana*. Sous la direction de José Guilherme C. Magnani. Sao Paulo : USP, 1996. 319p.

²⁶ *Ibid.* p. 111.

²⁷ *Ibid.* p. 104.

religion. Les points de repères sont en général des références à la nature ou à la géométrie dans le cas des croisements. La ville de Rio de Janeiro présente l'avantage de proposer à ces religions une nature omniprésente au cœur de l'espace urbain. Néanmoins, la religion Candomblé trouve ses limites au cœur de l'espace urbain. Les « terreiros », lieux de cultes où demeurent les pères ou mères de saints, se localisent à la périphérie de la ville dans ce qu'on pourrait qualifier de suburbain. Tout ceci est dû à l'importance de la nature dans la réalisation du culte qui nécessite la présence de certaines plantes, source, arbres.... C'est pourquoi, la majorité des adeptes de cette religion qui vivent pour la plupart au cœur même de Rio de Janeiro vont voyager pendant des heures en bus voire en voiture pour accéder au « terreiro ». Ce temps de transport est normalement prévu pour le recueillement, pour se mettre en condition, il nécessite normalement un certain calme. Mais ceci est souvent difficile dans les autobus surchargés, où il fait très chaud, où la route est chaotique... Le temps nécessaire pour accéder au lieu de culte est long et souvent insupportable, les adeptes du Candomblé font réellement preuves de patience et de conviction. Tout ceci confirme les inconvénients que connaissent les grandes métropoles en matière de déplacements qui deviennent parfois de véritables « parcours du combattant. »

4 Conclusion :

La complexité des déplacements de nos jours, nous amène parfois à perdre le sens du temps. La multiplication des moyens de transports, l'agrandissement des villes, le « congestionnement » des centres villes, augmentent la difficulté de se déplacer, d'évoluer dans un espace où chacun a du mal à trouver sa place, comme dirait Isaac Joseph à « prendre place ». C'est pourquoi, le concept d'itinéraire que nous venons de présenter pourrait, en amont, dans une certaine mesure permettre de mieux comprendre les perceptions et pratiques de l'espace des individus en ce qui concerne leurs déplacements afin de proposer, en aval, un outil de lecture de l'espace prenant en compte le temps comme facteur de détermination, de développement de l'expérience du sujet durant son déplacement. Au regard des exemples développés précédemment, nous avons pu constater à quel point le temps avait une autre dimension le long de l'itinéraire des chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle. Pouvoir prendre le temps, devient le maître mot de cet itinéraire. On ne cherche plus à courir après le temps, au contraire on désire l'apprécier. Dans une autre optique nous avons pu constater l'importance du temps passé dans les transports en commun dans une grande métropole où les distances ont du mal à se réduire, où l'insécurité va réduire les parcours piétons. Le choix ne semble pas déterminé par rapport à un gain de temps éventuel, mais il dépend le plus souvent de la sécurité du trajet. Enfin, pour ce qui est des adeptes de la religion, ils ne bénéficient pas des mêmes conditions de recueillement que les pèlerins de Compostelle, ils doivent faire face aux limites qu'offre la ville en matière de qualité de vie.

L'itinéraire peut-il offrir une meilleure lecture de la ville, en donnant à la fois de l'épaisseur temporelle et spatiale à l'expérience du déplacement du sujet ?

Modélisation du discours sur le temps et simulation

Jean-Pierre Müller¹ & Cédric Ratzé²

CIRAD TA6/15

73, av. Jean-François Breton

34398 Montpellier cedex 5

{jean-pierre.muller,ratze}@cirad.fr

Résumé La modélisation et la simulation des systèmes complexes passe par la multi-modélisation afin de prendre en compte la multiplicité des regards que l'on peut porter sur l'objet complexe. Dès lors, on ne peut plus compter ni sur l'uniformité des discours sur l'objet (et donc des formalismes utilisés) ni sur l'uniformité des discours sur l'évolution de l'objet, et donc sur le temps. Dans ce papier, nous proposons une ontologie sur le temps qui permet (et même oblige) au modélisateur de spécifier avec les différents modèles le discours sur le temps qui leur est associé. Cette spécification permet ensuite d'articuler les modèles entre eux en assurant leur cohérence temporelle globale.

Mot-clés simulation, multi-modélisation, ontologie du temps

Introduction

L'objectif du projet MIMOSA [1] est de spécifier les outils permettant au modélisateur de décrire son modèle ainsi que les simulations de celui-ci. La plupart des plateformes de modélisation et de simulation définissent les concepts dans lesquels le modèle est exprimable (STELLA [2], CORMAS [3], etc.) ou laissent partiellement la liberté de définir ces concepts, mais en donnant l'accès direct au langage de programmation sous-jacent (SWARM [4], MadKit [5]). Nous partons du principe, en suivant Maturana [6,7]

- Qu'un modèle est un discours sur l'expérience, que cette expérience soit produite par les canons de la science ou la vie quotidienne
- Que ce, ou plutôt ces, discours se donnent les moyens pour le dire variables, champs, objets, agent et que ces moyens sont très variés.

En conséquence, un outil générique de modélisation doit permettre de définir à la fois les moyens du discours et le discours lui-même. La modélisation d'un système complexe, par exemple un éco-sociosystème, nécessite la multiplication des points de vue (écologique, agronomique, sociologique, économique, etc.) qui sont autant de discours ayant chacun sa spécificité mais qu'il s'agit

¹ Chercheur associé au LIRMM, 161, rue Ada, 34000 Montpellier

² Doctorant à l'Université de Neuchâtel (Suisse), financé par le projet FNRS no 2153-63958.00

d'articuler les uns avec les autres. En passant, nous insistons sur l'articulation plutôt que l'intégration qui supposerait ou imposerait un discours universel et ultime dans lequel tout pourrait s'exprimer.

La modélisation introduit également un discours sur le temps (de même que sur l'espace, les objets, les processus, etc.), mais lorsqu'on passe de la modélisation à la simulation, ce discours prend une importance particulière [7]. En ce qui concerne le temps, nous faisons également l'hypothèse qu'il n'existe pas de temps en soi mais seulement des discours sur le temps (cyclique, subjectif, irréversible ou non, continu ou discret), chacun d'entre eux étant une mise en cohérence d'expériences distinctes du temps. Cette posture est mentionnée par le [15] quand il est dit dans l'article sur le temps□

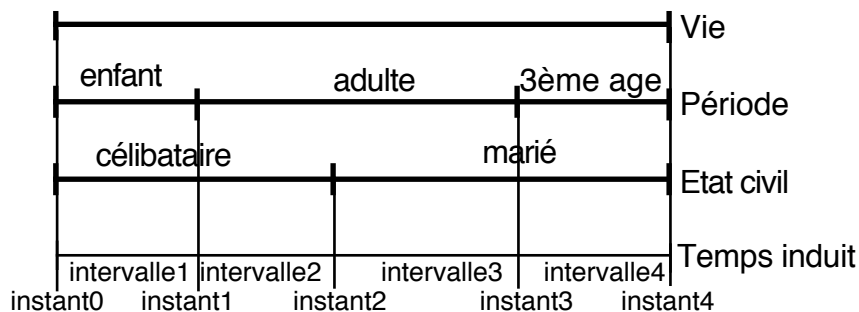
«Or, il est permis de s'émanciper de ces conceptions simples [temps linéaire et univoque], en postulant que le temps, s'il possède une dimension de facteur de limitation biologique de l'existence individuelle, n'en est pas moins intégralement produit par les sociétés. Au sein de celles-ci, plusieurs temps coexistent, souvent de façon conflictuelle□, posture que nous reprenons à notre compte. En conséquence, nous avons choisi d'imposer au modélisateur d'exprimer explicitement son discours sur le temps et de s'en servir pour décrire les processus à simuler. Des modèles différents reposeront donc éventuellement sur des modèles du temps distincts qu'il s'agira d'articuler pour pouvoir simuler un système complexe.

Dans la section suivante, nous allons introduire un ensemble de définitions sur les différents types de temps, à la suite de quoi nous introduirons une spécification d'architecture de modélisation et de simulation dont nous pensons qu'elle permet de résoudre le problème de l'articulation de modèles distincts et donc basés sur des temps distincts. En conclusion, nous résumerons notre contribution et ouvrirons quelques perspectives.

Quelques définitions

Dans cette partie, nous introduisons les définitions permettant de définir un *discours sur le temps* et ce qui se passe dans le temps. Très rapidement dit, notre expérience première sur laquelle se construit notre discours sur le temps est basée sur les notions duales d'*événement* et d'*état*. Nous vivons individuellement une succession d'évènements (qui délimitent autant d'états), ou une succession d'états (dont les transitions constituent autant d'évènements). A noter que nous appelons bel et bien *événement* ce qui sépare deux états successifs (donc considérés comme distincts d'un certain point de vue), et non pas ce qui a provoqué ce changement d'état. Ce qui a provoqué un changement d'état et donc l'évènement de ce changement, nous l'appellerons *influence*, suivant en cela la proposition de [11].

De la même façon, toute simulation est d'abord un calcul produisant des successions d'évènements et d'états. Sous réserve d'observabilité (ce qui pose problème dans les systèmes distribués), on peut donc en principe observer et décrire cette séquence ou découper l'état global en un ensemble d'états locaux produisant ainsi des ensembles de séquences. De la même façon qu'il n'est pas toujours nécessaire de découpler le lieu de l'objet qui s'y trouve (par exemple, Paris du lieu où se trouve Paris), il n'est pas non plus nécessaire dans un premier temps de découpler l'intervalle de temps de ce qui s'y est passé (la vie d'un homme de l'intervalle de temps entre sa naissance et sa mort) où la date de l'évènement (ou de l'influence) qui s'y est produit(e). Que ce soit l'observation de la réalité ou par simulation, nous appellerons ces successions observées d'états et donc d'évènements, le *temps construit* car les processus réels ou simulés construisent dynamiquement les successions. Dans le cas particulier où le temps construit est engendré par simulation, nous parlerons de *temps du calcul*.



Nous n'allons pas ici explorer l'ensemble des raisons qui peuvent amener la distinction entre, par exemple, un évènement et le temps de cet évènement. Une de celles-ci est de devoir articuler un ensemble de perspectives (comme dans la figure qui précède). En effet, dire que des états se sont passés en même temps fait émerger un temps sur lequel l'un et l'autre se sont produits et pourtant distinct de l'un et de l'autre état. Nous appelons ce temps le *temps induit*.

Sur la base du temps induit, on introduit les notions *d'instant*s associés aux évènements et *d'intervalle de temps* (que nous appellerons simplement *intervalles* puisque ce papier se limite au temps) associés aux états. On peut alors décrire les relations fort complexes qui articulent instants et intervalles (avant, après, simultanément pour les instants, avant, après, contient, se superpose (de différentes façons), etc. pour les intervalles), donnant lieu aux algèbres de Allen [8] qui, soit dit en passant, ont été justement élaborées pour rendre compte du temps dans le discours. En particulier, il n'est pas possible ni nécessaire d'y introduire la notion de date, ni de durée.

Pour introduire la notion de *date* et de *durée*, il faut introduire des *horloges* qui engendrent également des évènements et des états (donc rien de différent

d'autres processus) mais sont considérées comme références pour les autres évènements et états. C'est une façon naturelle pour passer d'un temps ordinal à un temps cardinal. Nous appelons *horloge* n'importe quel processus à partir du moment où il est pris comme référence pour parler des états et évènements d'autres processus.

A partir du moment où nous nous donnons des instants et intervalles (temps qualitatif) ou des dates et des durées (temps quantitatif), nous sommes passé d'un *temps induit* (dans la mesure où il semble s'écouler indépendamment des états et évènements) à un *temps représenté* (ou formalisé). Dans la section suivante, nous décrirons les structures proposées pour le temps représenté. La notion de temps indépendant que les horloges mesureraient (alors qu'elles en produisent un \square) et sur lequel se rangeraient les évènements et les états se trouve être une abstraction commode pour articuler des successions différentes selon le point de vue (et donc l'expérience) que l'on prend en compte pour construire son temps ordinal. C'est ensuite un choix que ce temps soit cyclique ou linéaire, discret ou continu selon les besoins et les facilités d'expression.

Disposant d'un temps représenté, il est alors possible d'annoter le temps construit, c'est-à-dire les successions d'évènements et d'états par le temps représenté dans la mesure où chaque événement peut être associé à un instant et/ou à une date et chaque état à un intervalle et/ou une durée. Nous appellerons cette correspondance entre temps construit et temps représenté, le *temps construit représenté* (et le *temps du calcul représenté* pour le cas de la simulation).

Le temps représenté est l'articulation entre le temps du calcul de la simulation et le temps construit du processus réel que la simulation est censée représenter. Plus exactement, une simulation *représente* un processus réel si leurs temps construits représentés sont identiques, nous parlerons alors de *représentation forte*. On peut avoir une version plus faible de la relation de représentation en découplant le temps représenté de la simulation du temps représenté de l'observation de cette simulation (comme c'est le cas de la réalité vis-à-vis de laquelle seul le temps de l'observation nous est accessible \square). Dans ce cas, une simulation représente un processus réel si le temps construit représenté de l'observation de la simulation est identique au temps construit représenté du processus réel. Nous parlerons alors de *représentation faible*. Elle est faible puisqu'il suffit que l'observation coïncide indépendamment de ce qui se passe entre deux observations. A noter que la simulation forte est simplement le cas où le temps représenté du calcul est le même que le temps représenté de l'observation à la fois de la simulation et du processus réel.

Génération du temps et simulation

Le discours sur le temps dont nous avons essayé d'explicitier les nuances est distinct du discours décrivant la production des événements et des états, or, pour la simulation, il s'agit dans un premier temps de décrire comment les événements et les états sont produits et non pas comment, une fois produits, ils sont articulés entre eux. Dans cette direction, les fonctions de transitions (comment on passe d'un événement et d'un état à un autre état en générant des influences ce qui est le cas aussi bien de la structure d'automate classique que des équations différentielles) sont les briques de bases que nous proposons. Nous pourrions en rester là si on ne décrivait qu'un seul processus (lié à un seul modèle) ce qui n'est pas le cas. Si nous avons au moins deux processus (deux modèles) qui interagissent, il ne suffit pas de décrire comment ils produisent et réagissent à des influences mais aussi comment l'observateur produit son discours sur le temps de ces processus pour pouvoir les articuler entre eux. Le relais par le discours est ici indispensable car il s'agit néanmoins de produire des processus compatibles avec le discours déjà construit par ailleurs sur une «réalité». Si ce n'était pas le cas, il ne s'agirait pas de la simulation de quelque chose mais de la production d'un autre réalité mais virtuelle celle-là comme dans Oris [9]. Nous n'abordons pas ici la simulation comme réalité virtuelle (comme dans les jeux) aussi «réaliste» soit-elle, mais comme déploiement d'un modèle.

Le modèle d'un processus élémentaire est représenté par un n-uplet $M = \langle E, S, Q \rangle$ où

- E est l'ensemble des influences qu'il reçoit
- S est l'ensemble des influences qu'il envoie
- Q est l'ensemble des états observables possibles.

A ce stade, nous n'avons pas besoin de faire d'hypothèses sur son fonctionnement, ni sur la nature des influences et la structure des états. En faisant fonctionner ce processus élémentaire, il va produire un temps construit sous la forme d'une séquence d'états (q_0, q_1, \dots) , q_i dans Q .

Il nous faut nous donner un temps représenté sous la forme d'une structure $T = \langle D, R \rangle$ où

- D est un ensemble d'entités temporelles (instants, intervalles, dates, etc.),
- R une famille de relations sur E définissant a minima la relation de contiguïté (notée $\langle \square \rangle$) qui doit être une relation anti-symétrique, non réflexive et non transitive.

Dans le cas où D est qualitatif, le processus élémentaire doit être décrit par des fonctions de transitions qualitatives ou générer des transitions discrètes (via des seuils ou n'importe quel mécanisme similaire). Si D est isomorphe à \mathbf{N} , le processus élémentaire peut être décrit soit par des fonctions de transitions

qualitatives, soit par des équations aux différences (de la forme $q(t+1) = F(q(t))$). Finalement, si D est isomorphe à \mathbf{R} , on peut décrire le processus élémentaire par des équations différentielles ou des équations du temps.

Pour obtenir un temps construit représenté, il nous faut conjoindre M et $T \sqcap MT = \langle M, T \rangle$ de telle sorte à produire d'une façon non ambiguë, la séquence $(\langle q_0, i_0 \rangle, \langle q_1, i_1 \rangle, \dots)$ où q_i dans Q et i_i dans D et telle que $i_i < \mathbb{I}_{i+1}$. Nous avons ainsi la génération d'un temps construit représenté à l'aide d'un processus de calcul dont nous n'avons pas besoin de connaître les détails, offrant ainsi la possibilité d'une multiplicité de formalismes concrets de description de processus (y compris les équations différentielles si nous introduisons la possibilité d'avoir un temps continu mais nous n'approfondirons pas ce cas dans ce papier).

Une machine composée MC est un ensemble de machines élémentaires MT_i chacune munie de son temps représenté T_i . Pour avoir un temps représenté au niveau de MC (noté T_{MC}) on peut envisager deux cas de figure \square

- Construire dynamiquement une structure de temps qui serait constituée des entités temporelles les moins fines telles que toutes les entités de chaque machine soient, soit une entité de T_{MC} , soit une combinaison d'entités de T_{MC} . Ce n'est rien d'autre que la construction du *temps induit* \square
- Associer une structure de temps arbitraire à MC ainsi que les façons de référencer la structure temporelle de chaque MT_i à partir de celle-ci (des simples transformations de repères mono-dimensionnels).

Dans tous les cas, on obtient une structure de temps T_{MC} de la machine composée ainsi que la façon de traduire le temps représenté de chaque machine élémentaire dans le temps représenté de chacune des autres machines élémentaires³. L'interaction entre les machines élémentaires doit dès lors être gérée comme suit \square

- Toute influence engendrée par une machine MT_i à destination d'une machine MT_j doit voir son annotation temporelle traduite de la structure temporelle de MT_i dans la structure temporelle de MT_j , en passant éventuellement par T_{MC} \square
- Si l'état courant d'une machine élémentaire MT_i est annoté par une entité temporelle i , cette machine ne recevra jamais plus une influence annotée par une entité temporelle j telle que $j < i$ (lire j avant i).

La première condition assure la localité du temps (à charge de MC d'assurer les traductions indispensables). La dernière condition préserve le principe de causalité, à savoir que le futur ne doit pas influencer le passé. Il existe de

³ Il reste bien sur à définir proprement les conditions sur les structure du temps $T = \langle D, R \rangle$ pour lesquelles ces transformations d'un temps dans l'autre sont possibles (et descriptibles).

multiples algorithmes dans la littérature pour assurer cette dernière condition (voir dans [13,14]).

A partir de là et en spécifiant les influences entrantes et sortantes de MC, il est possible de considérer MC comme étant un nouveau modèle dynamique qui devient dès lors combinable avec d'autres machines élémentaires assurant ainsi récursivement la construction de modèles dynamiques arbitrairement compliqués. Cette proposition n'est pas sans lien avec DEVS [12] mais y généralise la notion de temps. En effet, dans DEVS on suppose l'existence d'un seul temps global pour l'ensemble du système⁴, hypothèse que nous levons dans notre cas.

Conclusion

En conclusion, nous sommes partis d'une posture épistémologique pour proposer un environnement de modélisation et de simulation basé sur la modélisation du discours sur les choses plutôt que des choses elles-mêmes (quelque soit ce que les choses elles-mêmes sont...ou représentent□). En ce qui concerne le temps sur lequel nous avons, pour faire de la simulation un double discours□celui de sa description et celui de sa génération. Nous en déduisons le principe de conception qui consiste□

- A séparer soigneusement les deux discours, car le discours sur la génération des évènements n'est pas le même que celui de leur articulation□
- A imposer au modélisateur de décrire explicitement l'un et l'autre comme faisant partie explicitement du modèle (ainsi qu'il est suggéré dans [10]) et non pas implicitement comme sur la plupart des simulateurs dans lesquels les ordonnanceurs (schedulers) sont prédéfinis et, en général, sur temps représenté unique.

Finalement, nous montrons comment il est possible d'offrir un cadre temporel à la multi-simulation dans laquelle chaque modèle est muni de son propre temps. Les perspectives sont nombreuses et parmi lesquels□

- La prise en compte du continu alors que l'architecture proposée ne traite que du temps discret, des états et des influences discrètes, pour cela nous nous inspirerons de GDEVS [16] en généralisant notamment la notion d'influence (appelé *évènements* dans DEVS)□
- Articulation avec l'observation et notamment le temps de l'observation (dont nous rappelons qu'il peut être distinct du temps de la simulation). L'idée est de considérer la spécification de l'observation (donc de comment on donne à voir un modèle) comme partie intégrante du modèle (à l'instar du temps)□

⁴ Les temps locaux sont produits comme des artefacts de la distribution de la simulation sur plusieurs machines, alors que pour nous la localité du temps est premier.

- Validation par une plate-forme opérationnelle avec notamment des algorithmes assurant la cohérence causale et la combinaison de modèles temporellement hétérogènes□
- Extension de cette plate-forme à la simulation distribuée ce qui ne devrait pas poser de problèmes majeurs puisque la multiplicité des temps locaux est traitée comme parti prenante des modèles et non pas comme un artefact de la distribution.

Références

- [1] <http://www-lil.univ-littoral.fr/Mimosa/>
- [2] Bob Tilideske, Modeling and Simulation using STELLA, Charleston Southern University, archives.math.utk.edu/ICTCM/EP-13/C37/pdf/paper.pdf
- [3] <http://cormas.cirad.fr/>
- [4] <http://www.swarm.org/>
- [5] <http://www.madkit.org/>
- [6] Humberto Maturana, Ontology of observing□the biological foundations of self-consciousness and the physical domain of existence, American society for Cybernetics Conference, 1988
- [7] Humberto Maturana, The Nature of Time, november 1995
- [8] Allen, James F. Maintaining knowledge about temporal intervals , Communications of the ACM 26, 1983
- [9] Harrouet F., oRis : s'immerger par le langage pour le prototypage d'univers virtuels à base d'entités autonomes , Thèse de doctorat en Informatique, Université de Bretagne Occidentale, Brest (France), 8 décembre 2000
- [10] MICHEL Fabien, GOUAICH Abdelkader, “Interaction forte et interaction faible”, 10 ièmes Journées de Rochebrune, Rochebrune, France.
- [11] Ferber J. & Müller J.-P.□ Influence and reaction□ a Model of Situated Multiagent Systems, ICMAS'96, Kyoto, Décembre 1996
- [12] Zeigler B.P., Praehofer H., Kim T.G., Theory of modeling and simulation. Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems, Academic Press, 2nd edition, 2000
- [13] Déguénon Pontien, Modèle d'agent pour la simulation répartie par évènements discrets, Thèse de l'Université de Neuchâtel, 1996
- [14] Misra, J., Distributed Discrete Event Simulation, ACM Computing Surveys 18(1), pp. 39-65, 1986
- [15] Lévy J. & Lussault M., Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés, Belin, 2003
- [16] Giambasi N., Escude B., Gosh S., GDEVSE□A Generalized Discrete Event Specification for accurate modeling of dynamic systems, Transactions of SCS, Vol. 17, No 3, pp. 120-134, 2000

LES DISTANCES ENTRE LES HOMMES : UNE STRUCTURE NON-GEOGRAPHIQUE

Jean-Claude Muller
Geographisches Institut
Ruhr Universität Bochum
44780 Bochum, Allemagne
émail: jcmll@t-online.de

Résumé

On considèrera ici les problèmes de représentation et de communication des informations liées aux structures non-géographiques des espaces virtuels. Ces espaces sont définis par des distances mesurées en unités de temps ou en unités monétaires selon les applications. Après avoir discuté les tendances générales et la complexité géométrique qui caractérisent de telles espaces, on envisagera différentes méthodes pour résoudre le problème de visualisation. Trois alternatives sont retenues : 1) l'approche mathématique, 2) l'approche algorithmique, 3) l'approche multimédia sur un support à trois dimensions. On conclura qu'aucune des solutions ne sont pleinement satisfaisantes, mais que l'approche multimédia, du point de vue de la communication, s'avère la plus prometteuse.

Mots clefs

Accessibilité, distances géographiques, distance-temps, distance-coûts, distances psychologiques, Euclide, Riemann, Minkowski, carte, échelle, métrique, structure spatiale, espace virtuel.

Introduction

Nous sommes habitués depuis l'école à associer les distances terrestres aux cartes bien connues de notre planisphère (carte du monde en couleur accrochée au mur de la salle de classe). Mais cette planisphère ne représente qu'un type de distance : les distances géographiques et cela de manière approximative puisque la sphère est projetée sur un plan à l'aide d'une projection cartographique, ce qui cause nécessairement des distorsions. Les distances entre les hommes, ce qui est le sujet de notre discussion, ne sont pas équivalentes aux distances terrestres. Celles-ci sont le produit d'une combinaison de facteurs où certes les distances terrestres jouent un rôle fondamental, mais auxquelles s'ajoutent d'autres types de distances telles que les distance-temps, les distance-coûts, les

distances psychologiques, etc. Il en résulte une structure complexe qu'il est difficile de quantifier et de représenter. C'est pourtant celle-ci, la distance entre les hommes, qui est déterminante dans les échanges économiques, sociaux et culturelles. Comment la saisir, comment la représenter sur des cartes conventionnelles ? Le problème n'est pas simple, d'autant que le géographe est confronté à des nombres et des relations qui échappent au cadre rigide de la géométrie euclidienne (pour le plan) ou riemannienne (pour la sphère). Faire des cartes où la métrique de l'échelle est le temps ou le coût conduit à des écarts significatifs par rapport aux distances géographiques, ce qui aboutit souvent à des cartes incompréhensibles, impossibles à communiquer au lecteur. C'est sans doute la raison pour laquelle ces types de cartes sont souvent rejetés par le grand public. Faut-il ignorer pour autant cette géographie virtuelle, cette structure de l'espace qui est sous-jacente à l'espace physique et qui influence nos décisions et nos relations avec les autres ?

Théorie des échanges et types de distances

Selon Bunge, "The central problem in geography is to place interacting objects as near to each other as possible" (William Bunge, 1962). On sait que la probabilité d'une relation entre objets varie selon la distance. Plus les objets sont proches, plus la probabilité est élevée, et inversement (distance infinie égale probabilité zéro). La courbe de cette probabilité varie selon les théories (exponentielle ou gaussienne). Cette courbe peut changer selon la direction (une relation Nord-Sud plus intense qu'une relation Est-Ouest, par exemple). On aura donc des courbes différentes pour des directions différentes. Elle peut aussi varier selon le type de distances : géographique, temporelle, économique, sociologique, etc. Les unités adoptées pour exprimer ces distances sont multiples : kilomètres, heures, unités monétaires, unités d'énergie (kilowatts), fréquence des contacts culturels etc.

Les distances temporelles sont parfois assimilées à des distances effort, c'est à dire à la quantité de temps, objective ou subjective, requise pour franchir un obstacle (s'exprimant soit par une distance physique ou une barrière géographique). Les distances sociologiques, culturelles ou psychologiques sont de nature plus métaphorique, se référant aux échanges entre les personnes (Falk et Abler, 1980). Ces dernières peuvent être influencées par les distances effort.

Géographiquement le monde a peu changé, tout du moins à l'échelle historique (il faut attendre longtemps pour observer une dérive des continents). Les distances géographiques sont donc des éléments stables. Cependant, ce qui détermine la distance entre les hommes, ce n'est pas seulement la distance géographique, mais d'autres facteurs liés aux technologies, aux temps de

déplacement, aux échanges économiques ou culturelles qui ont pour effet de diminuer ou d'augmenter l'accessibilité entre les lieux et les personnes.

Quelques tendances générales

Globalement le monde rétrécit car les communications s'améliorent. Objectivement d'abord, grâce aux transports plus rapides (TGV, autoroutes, transports aériens), la baisse relative des coûts de transport (forfaits, dumping etc.), les nouvelles technologies de télécommunication (téléphone, portables, email, Internet, dans ce dernier cas la barrière de communication s'amenuise au point de pratiquement disparaître). Subjectivement aussi, grâce au brassage des populations, des cultures (réseaux des chaînes de télévision, connections par satellite, CNN par exemple, un monopole culturel et médiatique qui se propage sur toute la planète) ; c'est la mondialisation des échanges. On parle donc d'un monde qui tend à devenir un « global village ».

Le monde ne rétrécit pas de la même manière partout, ce phénomène varie suivant les régions (localisation à proximité des axes de communication, localisation rurale, hinterland), suivant l'infrastructure des pays et des continents (pays développées, pays en voie de développement). Dans certains cas on peut même parler du contraire : la pauvreté relativement croissante d'une partie de la planète peut créer des obstacles nouveaux (conflits, guerres qui empêchent les populations de se déplacer, avec pour conséquence une baisse du tourisme pour les zones considérées comme dangereuses). Le développement des intolérances, des communitarismes peuvent créer de nouvelles barrières culturelles. Cette évolution différentielle provoque des déchirures dans le tissu géographique, aboutissant à un espace « chiffonné » où certains lieux se rapprochent très rapidement, d'autres au contraire se rapprochent plus lentement, et donc sont perçus relativement plus éloignés.

Analyser et comprendre

Le défi majeur des géographes est de passer de la conceptualisation à la pratique. Intuitivement on peut faire des généralisations, dire qu'il y a une convergence de l'espace temps, dire qu'il y a des disparités dans cette convergence. Là tout le monde est d'accord. Le problème est de savoir quelles sont les implications de tels phénomènes dans la vie pratique, comment de tels phénomènes structurent les échanges économiques et les relations culturelles, par exemple. Ici nous faisons face à deux difficultés majeures : d'une part, pour comprendre comment varie l'accessibilité des lieux et des personnes, il faut pouvoir la mesurer. Il nous faut des données. D'autre part, une fois en

possession des données, il faut pouvoir les digérer, les transformer en information utile.

Les seules données de distance qui nous soient vraiment disponibles, ce sont celles des distances géographiques. Essentielles pour la navigation terrestre, elles ont été mesurées très tôt et constituent aujourd'hui la base de nos connaissances géographiques. Curieusement, tout se passe comme si ces données, certes utiles pour le développement régional des infrastructures et la planification urbaine, étaient dans la majorité des cas les seules en jeu, alors que leur pertinence diminue à mesure que s'imposent d'autres types de distance pour structurer les relations entre les humains. Ces autres distances sont malheureusement souvent mal connues ou en tout cas sont rarement formulées de manière objective, encore que nous en subissons les effets tous les jours, soit dans l'implantation d'une nouvelle entreprise, les conditions de travail (rapport entre le lieu de résidence et le lieu de travail), la finance, la santé, le tourisme etc. En fait, il faudrait créer un nouveau corps de géomètres responsables de la levée des données de temps, de coûts, ou des rapports sociaux pour définir la proximité économique et sociale entre les individus et les groupes sociaux. En l'absence de données, que faire ? Certes on peut trouver des données sur le temps de parcours ou les coûts de déplacement, mais elles sont dispersées, parcellaires et exigent un effort plus ou moins considérable pour les rassembler (auprès des services responsables du ferroviaire, des compagnies aériennes, des services de la poste, etc.). Les données reliées aux distances sociales et culturelles sont encore plus difficiles à acquérir. Il y a là d'abord un problème de méthodologie : comment mesurer une distance « sociale » ? Mais il y a aussi un problème d'intérêt et d'engagement politique. Qui voudra débloquer les fonds et les énergies nécessaires pour collecter des données relativement abstraites et qui apparemment n'intéressent que la recherche universitaire ?

En admettant que ces données soient disponibles, encore faut-il pouvoir les interpréter et produire une information qui soit communicable aux acteurs politiques et industriels. Là se pose un problème de représentation. S'agissant de distances, il serait souhaitable de pouvoir les visualiser sous forme de cartes qui indiquent la proximité ou l'éloignement des lieux et des personnes selon les différentes métriques envisagées (heures, dollars, calories, fréquence des contacts sociaux, etc.). Bunge (1962) voit deux alternatives, soit de montrer « des distances compliquées sur une carte simple, soit de montrer des distances simples sur une carte compliquée ». Les cartes simples, ce sont les cartes bien connues de notre planisphère qui préservent de manière approximative les distances terrestres. Cette simplicité n'est d'ailleurs qu'apparente, puisque ces cartes mettent en œuvre un appareil mathématique compliqué qui permet de projeter la sphère sur un plan avec un minimum de distorsion. Elles ne sont simples que dans la mesure où elles nous sont familières (nous avons grandi avec !). Les cartes compliquées, ou tout du moins qui nous apparaissent ainsi, ce sont les cartes de l'espace-temps, de l'espace-coût ou de l'espace social, qui

chiffonnent l'ordre géographique traditionnel jusqu'à le rendre incompréhensible. Ceci est dû au fait que les chemins les plus rapides ou les moins coûteux ne correspondent généralement pas aux chemins géographiquement les plus courts. Les métriques du temps, du coût ou des relations sociales structurent un réseau dont les proximités entre points, c'est à dire entre les hommes, sont différentes de celles de la carte routière classique. C'est de ce sujet, celui de la cartographie de métriques non-géographiques, que nous voulons maintenant nous entretenir.

La cartographie des espaces virtuels

S'il y a de nombreuses solutions analytiques pour projeter la surface terrestre sur un plan, nous ne disposons d'aucune formule mathématique qui permette de transformer l'espace physique en un espace-temps ou un espace-coût. Doit-on nécessairement adopter une transformation homéomorphique ? Ou peut-on aussi concevoir une transformation topologique ? L'objet traditionnel de la géographie, limité à la description et l'explication des paysages, c'est à dire d'un espace « visible » localement euclidien, a incité les géographes à utiliser une métrique dérivée strictement des concepts d'Euclide. Malheureusement, le schéma euclidien « colle » rarement à la réalité économique ou sociale. Les modèles de Von Thünen, Christaller et Lösch, par exemple, simplifient à outrance l'espace économique, en imaginant un plan euclidien où les densités géographiques (population, etc.) sont uniformes. Il n'est donc pas étonnant d'observer une grande différence entre la prédiction des modèles et la réalité géographique.

Du point de vue du cartographe, la représentation graphique d'une surface géographique se déduit des règles adoptées pour mesurer les distances et du système de projection. Nous sommes habitués à mesurer la distance en kilomètres mais les espaces économiques, énergétiques, sociaux ou culturels suggèrent de nouvelles unités de mesure telles que l'unité monétaire (distance-coût dans l'envoi d'un colis, par exemple), le litre d'essence (énergie consommée pour atteindre un point donné), la minute (distance-temps), les échanges téléphoniques ou la fréquence du courrier entre deux points géographiques (un exemple de distance culturelle). Le choix de l'unité est matière à convention. Dans le cas des distances psychologiques, on pourrait mesurer la fréquence des associations entre noms et villes. À l'opposé de l'espace physique aux distances immuables, ces autres types d'espaces ne sont pas invariants, ce qui complique les calculs de distances. Imaginons une carte des distances-temps. Les conditions de transport et de circulation varient d'un point à un autre. Théoriquement, il est donc nécessaire de calculer une intégrale de p à q pour calculer la distance-temps $t(p,q)$, puisque la vitesse $v = F(\Delta)$ change constamment entre les points p et q . Le choix d'un système d'unités et la

mesure des distances entre une série de points devraient permettre de formuler la fonction-distance (c'est à dire la formule qui permette de les calculer, comme dans la géométrie euclidienne). En principe cette fonction reflète les caractéristiques géométriques de la surface étudiée. Connaître la géométrie signifierait qu'on connaît la fonction, ce qui pour le géographe serait riche d'enseignement. En général, cependant, il est pratiquement impossible de déterminer la géométrie qui permette de calculer une distance corroborant précisément la distance induite des données (les espaces auxquels nous avons affaire sont trop complexes). De même, et pour les mêmes raisons, les équations de la transformation qui permettraient de calculer, à partir des coordonnées originales (disons celles de l'espace géographique) les nouvelles coordonnées dans l'espace-temps ou l'espace-coût ne nous sont pas données. Ces équations sont d'ailleurs pratiquement impossibles à formuler, excepté dans le cas de géométries relativement simples et bien connues, comme celui de la projection des points de la sphère sur un plan. Le cartographe pourra cependant adopter une démarche alternative, en essayant d'obtenir approximativement les formules de la transformation d'un modèle linéaire.

Soit une transformation

$$u = F(x,y)$$

$$v = G(x,y)$$

selon le système

$$u_j = A_{11} x_j + A_{12} y_j + A_{13}$$

$$v_j = -A_{12} x_j + A_{11} y_j + A_{23}$$

et un ensemble de points de positions (u^* , v^*) dans le nouvel espace, trouver les paramètres A 's de la transformation, en minimisant, par la méthode des moindres carrés, l'erreur calculées de la manière suivante :

$$\sum_{j=1}^n [(u_j^* - u_j) + (v_j^* - v_j)]$$

On peut s'attendre à ce que l'inadéquation du modèle linéaire, de même que la structure métrique des données à représenter, influent largement sur la qualité des résultats. Ce dernier aspect, la métrique des données, est une autre source de difficulté. L'espace-temps, par exemple, satisfait rarement les quatre postulats de la métrique :

$$1) p = q \rightarrow pq = 0$$

$$2) p \neq q \quad pq \neq 0$$

$$3) pq = qp$$

$$4) pq + qr \geq pr$$

Dans l'espace-temps, on peut très bien avoir $pq + qr < pr$ (dans le cas d'un détour plus rapide) ou $pq = qp$ (le voyage retour requiert plus de temps que le voyage aller). Il est important de noter que la représentation graphique à deux

dimensions ne peut se faire que si l'espace à cartographier est métrique. Il faudra donc éventuellement « métriser » les distances non-métriques au préalable, avant de pouvoir les visualiser sur un plan.

En l'absence de modèle mathématique, on peut également envisager une solution pragmatique où l'on obtient des visualisations à l'aide d'approximations. C'est l'approche algorithmique. L'espace géographique est peu à peu « chiffonné » jusqu'à obtenir une bonne approximation des distances correspondant au nouvel espace. Enfin il existe une troisième possibilité, celle d'une carte à trois dimensions. Dans ce cas les deux premières dimensions sont les coordonnées de l'espace géographique, et la troisième dimension représente les distances-temps ou les distances-coûts. Nous discuterons ici d'abord deux solutions, l'une utilisant un modèle mathématique, l'autre un modèle algorithmique. Nous terminerons par les cartes à trois dimensions.

Le modèle mathématique

À défaut de connaissance préalable de la géométrie des données observées, dont le principal caractère est l'inadéquation des distances au schéma euclidien, il s'agit de postuler un modèle de distances a priori comprenant un nombre suffisant de paramètres pour approximer de manière optimale les relations de distances qui gouvernent l'espace étudié. Nous nous cantonnerons ici aux modèles métriques ou semi-métriques. Parmi ces modèles nous avons les modèles de Riemann et de Minkowski (en fait le modèle euclidien est un cas particulier de ces deux modèles). On a adopté ici le modèle de Minkowski, dont un autre cas particulier, outre la distance euclidienne, est la distance de Manhattan ou distance de Hamming (correspondant aux distances calculées sur le plan en damier des villes américaines) :

Soit :

$$D(m,n) = \left\{ \sum_{i=1}^2 |X_i^{(m)} - X_i^{(n)}| \right\}^{1/p}$$

où D est la distance entre les deux points m et n, les indices 1 et 2 sont les deux dimensions du plan, et p définit la géométrie. On sait que, dans le cas euclidien (p = 2), le lieu géométrique des points équidistants à un centre est un cercle. Dans le cas de Manhattan (p = 1), c'est un carré. Ces lieux géométriques prennent donc des formes variées, selon la valeur de p. Pour augmenter la généralité du modèle, on peut inclure des paramètres produisant des courbes asymétriques (par exemple une ellipse peut devenir le lieu des points équidistants), ce qui donne :

$$D(m,n) = \{ a | X_1^{(m)} - X_1^{(n)} |^p + b | X_2^{(m)} - X_2^{(n)} |^p \}^r$$

Les coefficients a et b contrôlent l'asymétrie, p définit la géométrie, et l'exposant r permet une variation non linéaire de l'échelle des distances ; ce type de variation n'est pas rare en géographie : la distance-coût, par exemple, est rarement une fonction linéaire de la longueur de parcours.

Le problème est le suivant : trouver la valeur des paramètres a, b, p et r telles que l'écart entre les distances observées et les distances calculées par la fonction suivante soit minimum :

$$\text{MIN} = ((a | X_1^i - X_1^j |^p + b | X_2^i - X_2^j |^p)^r - d_{ij})$$

pour toutes les paires (i,j)

L'impossibilité pratique de trouver la dérivée de MIN conduit à rejeter les méthodes de minimisation basées sur le calcul des variations. On a donc recours au fameux procédé de minimisation d'une fonction à plusieurs variables modifiant les valeurs de chacun des paramètres l'un après l'autre. L'hypothèse de convergence est la suivante : si une fonction varie lentement selon une direction donnée, le processus converge nécessairement vers un minimum (ou maximum) dans cette direction. On changera une variable à la fois dans des directions opposées, maintenant toutes les autres variables constantes. Chaque itération inclut une recherche sur n directions linéairement indépendantes. La méthode ne permet pas à la fonction de s'accroître, et les changements opérés sont aussi petits que possible jusqu'à ce qu'on détecte les directions où la fonction décroît (Powell, 1964).

Chaque distance d entre les points i et j définit une fonction MIN, et c'est la somme des fonctions successives pour i, j = 1, ..., n, soit (n - 1) n / 2 équations qu'il s'agit de résoudre. Le système comporte 2n + 4 inconnues (les coordonnées des points et les paramètres de la fonction distance). Puisque n (n - 1) / 2 s'accroît beaucoup plus vite que 2n + 4, il y a plus d'équations que d'inconnues. Aucune solution ne pourra donc satisfaire toutes les équations, ce qui conduit à des approximations.

Les cartes que l'on obtient correspondent à la première catégorie de Bunge : des distances compliquées sur une carte simple. En effet, le fond géographique de la carte est préservé (aucune distorsion n'est visible). Par contre, l'échelle des distances est compliquée, variant selon la forme, la direction et l'éloignement. Donc nous avons des échelles compliquées à manipuler et à interpréter (un peu comme les échelles abaquées d'une projection de Mercator sur une planisphère).

Le modèle algorithmique

La plupart des anamorphoses publiées dans la littérature utilisent une approche algorithmique. On peut citer ici l'échelonnement multidimensionnel, les approximations par triangulations successives et les interpolations itératives. Dans ce cas on obtient une carte qui correspond à la seconde catégorie de Bunge : des distances simples sur une carte compliquée. La carte est compliquée puisque son fond géographique est chiffonnée au point de devenir parfois non-reconnaissable.

Soit un ensemble de points géographiques pour lesquelles on a calculer les distance-temps. Dans le cas le plus simple, selon la méthode de Tobler (1971), on observera les différences entre la distance géographique et la distance-temps d'un point par rapport à tous les autres points. Ces différences sont des vecteurs de force dont on calculera la résultante. Cette résultante sert à calculer la nouvelle position du point en question. On fera ce calcul pour tous les points. C'est la première itération. À partir de la nouvelle position des points, on observe à nouveau les différences entre les distances géographiques et les distance-temps. Ces différences sont les nouveaux vecteurs de force dont la résultante sert à déterminer la nouvelle position des points. C'est la deuxième itération. On répétera ces itérations autant qu'il le faudra, c'est à dire aussi longtemps qu'il y a convergence vers une limite où l'on observe que les écarts entre distances géographiques et distance-temps se stabilisent et deviennent incompressibles. On obtient ainsi une nouvelle configuration des points selon leurs distance-temps (cette configuration, dans la plupart des cas, n'est qu'une approximation). Admettons que les déviations géographico-temporelles soient corrélées, c'est à dire que ces déviations se ressemblent lorsqu'elles sont spatialement proches. D'après cette hypothèse, on peut déterminer les déviations en n'importe quel autre point de la carte par interpolation. On obtient ainsi une transformation continue de l'espace géographique en espace-temps. Le résultat est une anamorphose. Parmi d'autres méthodes algorithmiques on peut mentionner, par exemple, l'échelonnement multidimensionnel de Spiekermann et Wegener (1993). Le groupe de recherche sous la direction de Cauvin (1997) a aussi adopté un procédé algorithmique pour visualiser l'espace-temps du réseau ferroviaire français.

L'anamorphose montre une image de l'espace qui souvent est déroutante, ce qui explique en partie la difficulté de les interpréter. C'est pourtant ce dépaysement en face d'une structure qui chiffonne la géographie qui est le message, en révélant les vraies proximités des lieux et des cultures que le carte classique tend à cacher. C'est d'ailleurs cette confrontation entre les formes révélées par l'anamorphose et celles de la carte classique qui est porteuse d'information. On

a pu dire que l'anamorphose, en tant qu'image et outil de communication, a du mal à s'imposer au grand public. Mais les faiseurs d'anamorphose sont en partie responsables de cette situation : ils se sont « amusés » à produire des images que personne ne voulait ou ne comprenait. C'est pourquoi Antoni et Klein (2003) suggèrent un nouveau type de visualisation profitant des techniques de l'animation. C'est à dire qu'on représentera, de manière dynamique, toutes les étapes de la transformation pour aller de l'espace réel (la géographie) à l'espace virtuel (par exemple l'espace-temps). On accompagnera le lecteur, donc. Ce n'est plus une image, mais une multiplicité d'images que l'on représente sous forme de film, allant de l'image départ à l'image d'arrivée. Les auteurs ajoutent à cette technique de l'animation la possibilité de « naviguer » à l'intérieur du film, c'est à dire, grâce à l'interactivité, de fixer une séquence, de revenir ou de sauter sur une autre scène, afin d'analyser plus finement les étapes de la transformation.

Les cartes à trois dimensions

Elles ont été récemment suggérées par L'Hostis (2003). Je cite : la carte en relief de l'espace-temps est construite comme la réalisation d'un graphe représentant un réseau de transport multimodal. Trois règles président au principe de réalisation : 1) la position des sommets du graphe correspond à leur position géographique, 2) la longueur des arcs du graphe est proportionnelle à leur longueur effective (mesurée en heures, en unités monétaires, etc.), 3) afin d'assurer la proportionnalité des longueurs, les arcs s'inscrivent dans la troisième dimension. Le résultat est donc une carte de l'espace-temps en trois dimensions, encore que dans ce cas la troisième dimension n'est pas stricto sensu le temps, simplement la troisième dimension sert à aménager la représentation de la longueur des arcs proportionnelle à la distance-temps. Sur une telle carte, les lieux joints par des liaisons peu performantes apparaissent séparés par une montagne qui est d'autant plus haute que la vitesse de parcours est faible. Inversement, les grands axes rapides qui traversent le territoire apparaissent au fond des vallées. Cette représentation est discrète, c'est à dire elle se limite aux points d'un réseau de transport, et les contractions ou gonflements des distances-temps ne se propagent pas de manière isotrope sur le territoire. La structure tridimensionnelle est relativement complexe et difficile à interpréter, surtout pour les sommets qui cachent les vallées ou d'autres sommets moins élevés (le désavantage de toute représentation en relief). L'Hostis propose des techniques d'animation pour aider la lecture du relief (rotation, élévation de la perspective etc.).

Il serait intéressant de poursuivre et pousser plus loin cette idée d'une représentation à trois dimensions. On pourrait imaginer une perspective où les coordonnées x et y représentent la longitude et la latitude, et la coordonnée en z

l'inverse de l'accessibilité. Nous aurions une surface continue, sur laquelle la hauteur d'un point serait proportionnelle à la distance-temps en ce point par rapport à tous les autres points. Son avantage serait qu'elle préserve l'espace géographique. Le point le plus élevé serait le point le moins accessible. Le point d'élévation minimum au contraire serait le plus accessible. Nous aurions des montagnes pour les lieux isolés, des plateaux pour les lieux d'accessibilité moyenne ou uniforme, et des vallées en couloirs pour les autoroutes. La difficulté réside dans le mode de calcul pour mesurer les distance-temps en chaque point de l'espace. C'est un problème de données, mais aussi de méthode. Il faudrait pouvoir calculer l'intégrale de la courbe des vitesses de déplacement de tout point à tout autre point de l'espace !

Conclusion

Mesurer et de surcroît représenter les distances entre les hommes n'est pas chose facile. Nous avons soulevé le problème de la saisie des données, aussi bien que des difficultés que nous avons pour comprendre la géométrie des réseaux induits par ces données. Il est vrai que cette géométrie soulève des concepts inusités qui bouleversent nos manières de concevoir l'espace. C'est sans doute l'une des raisons majeures qui expliquent que le discours géographique se cantonne souvent aux distances physiques, ignorant les structures virtuelles temporelles, économiques, culturelles ou psychologiques qui pourtant jouent un rôle non-négligeable dans nos comportements et nos décisions. Surtout à une époque caractérisée par une mobilité croissante et universelle, et l'apparition de nouvelles technologies de transport (TGV) et de communication (portable, Internet) qui tendent de plus en plus à ignorer les obstacles physiques traditionnelles.

C'est une lapalissade d'affirmer que l'espace se rétrécit, que ce soit du point de vue temporel, économique ou culturel. Globalement c'est vrai : un kilomètre carré recouvre un espace fixe, tandis qu'une heure « carrée », par exemple, recouvre de plus en plus de territoire. C'est pourtant un phénomène mal compris, surtout si l'on constate que ce rétrécissement ne se produit pas de manière homogène et varie selon la direction ou l'éloignement. Pour saisir le phénomène, l'analyser, le communiquer, on a besoin d'images, une manière de visualiser qui soit intuitivement à la portée du grand public. Les premières tentatives sérieuses de représentation géométrique des espaces virtuels (c'est à dire non-visibles, non-palpables) sont apparues au début des années soixante (Blome, 1963). Jusque-là on s'était limité aux cartes isochrones traditionnelles, une représentation conventionnelle qui est pratiquée encore aujourd'hui et qui n'est pas si mauvaise, mais qui est limitée (les isochrones sont calculées à partir d'un seul point). Cependant, toutes les solutions qui sont apparues depuis, et qui proposent une substitution de l'espace virtuel à l'espace physique en opérant

une transformation plus ou moins compliquée, à l'aide de formules mathématiques ou d'algorithmes, certes soulèvent la curiosité, mais ne sont pas vraiment populaires. Les anamorphoses, pour la plupart, n'apparaissent que dans des revues spécialisées à l'intention d'un public réduit. La question est de savoir s'il faut continuer sur cette route, ou s'il faut réorienter la recherche vers des solutions qui évacuent le problème de la géométrie au profit de représentations qui exploitent les nouvelles possibilités du multimédia. On peut espérer que les technologies multimédia, grâce à l'animation et à l'interaction, améliorent la situation. C'est dans ce sens que s'inscrivent les efforts de L'hostis (2003), mais il faut encore aller plus loin : c'est à dire revenir au fond géographique, mais en inventant de nouvelles techniques de représentation dans la troisième dimension.

Bibliographie

Antoni J.-P., O. Klein (2003), L'animation d'anamorphoses, Revue Internationale de Géomatique, Vol.3, 1, 81-92

Blome D.A. (1963), A Map Transformation of the Time-Distance in the Lansing Tri-County Area, Michigan State University

Bunge W. (1962), Theoretical Geography, Lund, Gleerup

Cauvin C. (1997), Au sujet des transformations cartographiques de position, Cybergeog, No. 15

Falk T., R. Abler (1980), Intercommunications, distance, and geographic theory, Geografiska Annaler Series B Vol.62, 59-67

L'Hostis A. (2003), De l'espace contracté à l'espace chiffonné, Revue Internationale de Géomatique, Vol.3, 1, 69-80

Powell M.J.D. (1964), An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives, Computer Journal, Vol.7, 155-162

Tobler W.R. (1971), Illustrating Surveying Adjustments, manuscrit, 5 pages

Spiekermann K., M. Wegener (1993), Zeitkarten für die Raumplanung, IRPUD, Institut für Raumplanung, Universität Dortmund

Temps et processus

Anne NICOLLE
GREYC-ISLanD UMR CNRS 6072 & Pôle Modescos de la MRSH
Université de Caen – CNRS
14032 Caen Cedex
Mail : anne.nicolle@info.unicaen.fr

*Avec le temps,
Avec le temps,
Va, tout s'en va
...
Léo Ferré*

*Dis, quand reviendras tu ?
Dis, au moins le sais tu ?
Car tout ce temps qui passe
Ne se rattrape guère,
Car tout ce temps perdu
Ne se rattrape plus.*

Barbara

Résumé :

Les processus informatiques sont dans des rapports variés au temps : temps compté, temps représenté, temps social, temps propre. Ils sont dans le temps présent de leurs usagers lorsqu'ils gèrent une interaction à but pratique. Ils sont dans un temps passé lorsqu'ils simulent des processus passés à partir d'un modèle pour tester ce modèle. Ils sont dans des temps futurs lorsque la simulation a pour but de faire des prévisions, ou lorsqu'ils ont pour objectif de faire un plan d'action. Ils sont dans un temps imaginaire quand il s'agit d'un jeu. Mais ces temps s'entrecroisent, se rencontrent, se superposent. Les rapports des processus au temps servent à les classer : fonctions, processus cycliques, processus gérés par les événements, agents, processus apprenants, et à donner des caractérisations originales de certains types de processus interactifs comme les systèmes multi-agents par leurs rapports aux différentes sortes de causes.

2. Introduction

Bergson présente le temps matériel comme la détente d'un élan et le temps mental comme le déploiement en éventail d'une mémoire. La mémoire des machines, comme espace de stockage a peu de points communs avec la mémoire d'un être vivant. La mémoire des humains est à la fois une mémoire d'être vivant et une mémoire sociale. La mémoire sociale est instrumentée par des objets techniques et sémiotiques dont les machines informatiques sont un aspect récent. Nous avons déjà présenté la mémoire comme un processus plutôt que comme un lieu [Nicolle & al., 2001] et montré comment ce point de vue s'applique aux agents logiciels. La présente étude sur les rapports des processus informatiques au temps tient compte principalement du temps comme « détente d'un élan » et contribue à la construction d'une théorie des processus interactifs de durée indéfinie (PII). Le but de cette théorie est de rendre compte de la pratique informatique qui conçoit et met en route des PII

qui transforment notre société en instrumentant tous les rapports sociaux.

L'informatique s'est d'abord intéressée à des processus terminatifs, aux fonctions calculables par les ordinateurs, en référence à une théorie du calcul. Le temps de calcul prime alors sur le temps du calcul. En parallèle, elle s'est intéressée à des processus périodiques, pour gérer les données des entreprises en suivant des rythmes journaliers, hebdomadaires, mensuels ou annuels. Elle a mis alors l'accent sur la constitution, l'utilisation et la mise à jour des données. Le temps du calcul est articulé sur le temps social et le temps de calcul doit être compatible avec les échéances. Le paradigme objet a permis de voir ces deux points de vue de manière unifiée en considérant les types d'objets comme comportant à la fois une structure de données et des procédures de manipulation de ces données. Il réunit ainsi le paradigme du calcul, sans effets de bord, et le paradigme des données persistantes et de leurs transformations, en structurant le logiciel par la notion de type de données. S'il prend en compte deux rapports au temps : le temps de calcul et le temps du calcul, il réifie le temps dans des classes pour en faire un élément observable des logiciels par eux mêmes (par exemple, les classes `Time`, `Date` et `Calendar` en Java¹).

Actuellement, les ordinateurs mettent en route et font tourner en parallèle des processus interactifs de durée indéfinie qui communiquent entre eux et avec des êtres humains : les systèmes d'exploitation des ordinateurs d'abord, et de nombreuses applications : traitements de texte, tableurs, gestionnaires de bases de données ou de mails, butineurs Web. La théorie du calcul, la théorie de l'information et la cybernétique ne rendent compte que très partiellement des processus interactifs de durée indéfinie : les deux premières parce qu'elles ne s'intéressent qu'à la structure des processus, la deuxième parce qu'elle voit les processus comme des boîtes noires. Le paradigme objet ne résout pas actuellement de manière convaincante la modélisation des processus interactifs informatiques. Pour en rendre compte, il a introduit des objets actifs : applets Java ou *threads* par exemple, qui exécutent une boucle de comportement de durée indéfinie, et la notion d'événement, qui permet de rendre compte des interactions entre processus, ou entre processus et usagers. Mais la distinction entre fonction et processus n'est pas explicite car les deux notions sont implantées par des méthodes. Le paradigme objet n'apporte pas assez d'attention à la dynamique des calculs, des actions et des interactions qui sont faits par les machines dans le temps réel, les objets actifs communiquant tout en ayant des temps propres différents.. « The dynamic semantics are described using natural language, although in a precise way so they can easily be understood. Currently, the dynamic semantics are not considered essential for the development of tools; however, this will probably change in the future. » *OMG-Unified Modeling Language, v1.4* 2001, p. 2-7² La modélisation des processus, des objets actifs, des agents, est donc un champ ouvert de théorisation.

Un processus interactif indéfini est par nature spatio-temporel et événementiel : il capte et lance des événements dans le temps et l'espace. Chaque processus a un rapport particulier au temps et à l'espace en fonction de sa situation. L'objectif de cet article est de répertorier et d'analyser les différentes formes des processus dans leur

¹ <http://java.sun.com/>

² <http://www.uml.org/>

rapport au temps. Le rapport à l'espace, espace du réseau, localisation des machines, mériterait une étude semblable. Cette question des processus interactifs indéfinis vaut pour les processus artificiels (PIIA) mais vaut aussi pour les processus naturels comme les êtres vivants (PIIV). Cette ressemblance n'est pas considérée ici comme une analogie, mais comme un principe de modélisation :

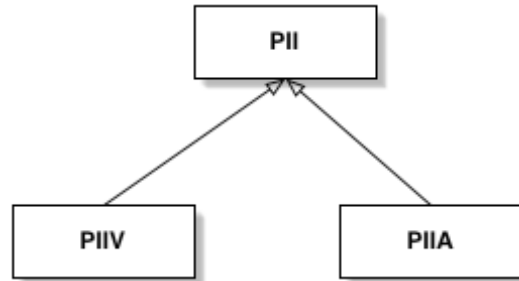


Figure 1 : Les classes de PII en UML

3. Le temps et les processus

Les processus interactifs sont perçus dans le temps des processus avec lesquels ils interagissent : autres processus informatiques, physiques, ou usagers. Pour décrire ce phénomène, on introduit la notion de « temps propre » d'un processus, par analogie avec la notion de « monde propre » en éthologie. Trois façons d'appréhender le temps sont envisagées ici : 1) le temps physique ou temps réel, qui est continu, 2) le temps social donné par les horloges et les calendriers, 3) le temps propre d'un processus, ou d'un usager d'un système informatique, pour qui le temps compte parce qu'il a des objectifs propres. C'est ce temps propre qui est en jeu dans les deux citations en exergue de cet article et c'est celui dont le modèle est le plus problématique. Le temps propre est structuré par la simultanéité, la succession et les rythmes des événements. La question de la durée relativement au temps propre, s'exprime par comparaison des durées de deux processus simultanés, par les pulsations propres (respiration, battements du cœur), ou par les rythmes produits ou perçus. Pour repérer les durées, on doit faire appel à des processus de référence ou à des appareils (sabliers, bougies, horloges). Le temps propre perçu permet de comparer des durées, pas de les mesurer, car il n'y a mesure que par l'action : si on n'a pas de réveil, on ne peut pas savoir combien de temps on a dormi, ni depuis combien de temps on a pas mangé.

Les processus informatiques sont dans le temps physique du processeur et de la mémoire des machines sur lesquelles ils s'exécutent. Leur temps est rythmé par le cycle de base du processeur, correspondant au temps de la plus petite opération exécutable. Ils sont dans un temps social car l'horloge des ordinateurs se règle sur une horloge de référence quand on accède au réseau. Il est à noter que ce temps social est discontinu puisqu'il s'exprime par un nombre décimal [Nicolle, 2003a]. Ce temps est accessible de l'intérieur des logiciels et permet de dater les documents, de calculer le temps utilisé par une fonction, d'appeler certaines fonctions à des heures ou des jours déterminés.

Le temps physique ou social est d'abord une ressource, un temps compté. Le temps de calcul des fonctions s'étudie par la complexité des algorithmes. Définir des fonctions et calculer leur complexité nécessite une notation pour les fonctions et une

notation pour le temps. Le temps noté t dans les fonctions des physiciens est un temps continu alors que le temps compté en complexité des algorithmes est un temps discret : $O(n)$, $O(n^2)$. C'est un temps abstrait qui se projette sur le temps concret en fonction de nombreux paramètres : cycle de base du processeur, efficacité de la compilation, choix de sécurité.

L'articulation entre le temps propre d'un processus et le temps physique de la machine sur lequel il tourne est complexe car plusieurs processus tournent en même temps sur une machine et se partagent le temps physique. Dans un processus, certaines fonctions comme les accès aux mémoires externes, les entrées et sorties, sont réalisés par des processus parallèles au processus principal, souvent sur des processeurs dédiés. Un processus peut avoir des sous processus du fait de sa programmation et l'attribution du temps aux divers sous processeurs n'est pas sous le contrôle du programmeur. Il peut juste fixer des priorités. Le temps physique est donc impropre à rendre compte du temps propre des processus, puisque les processeurs feuilletent le temps physique où les processus s'exécutent. En conséquence, calculer le temps d'exécution d'une fonction est du ressort du système d'exploitation, ni des usagers, ni du programme lui-même. Le temps de processus qui font des effets de bord, comme la lecture ou l'écriture dans des bases de données partagées est un temps qui doit s'articuler avec celui d'autres processus à cause des verrous posés par les processus sur les accès aux données pendant les modifications. Ce partage des ressources dans le temps ne nécessite pas la connaissance des processus concurrents et ils n'interagissent que de manière passive. Il s'agit encore d'un temps compté où les priorités prennent en compte l'urgence des différents travaux. Pour le partage des ressources physiques, il y a donc un transfert des raisonnements sur le temps vers des calculs de priorité qui évite de poser effectivement la question du temps réel.

Un processus qui capte des événements produits par d'autres processus est dans le temps car il ne peut capter qu'un événement à la fois et les événements non captés sont perdus. Être dans le temps est dit lorsque le rapport au temps ne se réduit pas à compter le temps ou à le représenter par une notation ou un mécanisme d'horlogerie. C'est un temps où des événements ont lieu, un temps qui compte, un présent, où le passé n'est plus là et ne peut pas être rejoué, et où le futur n'existe pas encore. Lorsque le temps compte, le déroulement d'un processus ne peut pas être identique d'une exécution à l'autre, puisqu'il dépend des événements reçus. Si le calcul d'une fonction a été interrompu pour des raisons quelconques, comme une panne de courant, on peut le recommencer, il se déroulera à l'identique. Les processus s'exécutant en arrière plan, comme l'horloge, ou le système d'exploitation, peuvent être relancés. Le temps perdu compte pour l'observateur, pas pour ces processus en eux-mêmes. Les processus interactifs sont dans un rapport effectif au temps, dans leur temps propre et dans le temps propre des processus avec lesquels ils interagissent. Le moment où ils produisent leurs sorties est signifiant, ainsi que celui où ils captent leurs entrées. C'est important pour eux-mêmes car les événements peuvent arriver en permanence et ceux qui ne sont pas captés sont perdus. C'est important pour les processus avec lesquels ils sont en interaction, qui vont pouvoir prédire l'arrivée d'événements par comparaison entre leur temps propre et le rythme des arrivées précédentes. Précisons les différences de rapport aux temps des processus suivant le type de logiciel qu'ils exécutent.

4. Le rapport au temps des différents types de logiciels

Les processus naturels sont dans le temps réel et les processus périodiques servent de repères pour construire le temps partagé, ou temps social. Les théories du calcul sont de théories du temps compté (le temps de calcul). Les théories de l'information sont des théories qui ne tiennent pas compte du temps vécu, même si elle représentent le temps. Les temps linguistiques sont beaucoup plus riches que le temps vu comme position sur un axe. Ils distinguent non seulement le passé, le présent et le futur mais aussi le ponctuel et le duratif, le réel et l'imaginaire³ et rendent compte des places respectives des fenêtres temporelles [Gosselin, 96] évoquées par les récits. Ils servent de cadre à l'étude des rapports entre les processus informatique et le temps proposée dans cet article.

Les logiciels informatiques assurent plusieurs types de fonctions : 1) les systèmes d'information représentent « un état actuel du monde » et permettent de le gérer, 2) les systèmes de contrôle de processus physiques commandent le fonctionnement des appareils électroménagers, des véhicules ou des chaînes de production des usines, 3) les systèmes de contrôle de flux captent les événements produits par des phénomènes et les traitent en temps réel, 4) les systèmes de simulation cherchent à reproduire ou à anticiper des états du monde passés ou futurs en faisant tourner un modèle du monde initialisé sur un état connu ou supposé, 5) les mondes virtuels décrivent et font exister des mondes imaginaires. Examinons le rapport au temps de chacun de ces types de logiciels.

4.1. Les systèmes d'information

Les systèmes d'information ou SI sont des moyens de représenter et d'organiser des connaissances pour manipuler, traiter, conserver et présenter l'information sous toutes ses formes, comme par exemple les SI des entreprises (bulletins de salaire, bons de commandes, factures, états). Ils assurent le partage des bases de données, présentent des interfaces unifiées pour s'adapter aux habitudes des usagers, échangent des flux d'information en interne et avec l'extérieur. Les SI font partie du monde social, ils sont situés dans l'espace et dans le temps. Ils représentent l'état d'un monde actuel et ils doivent conserver une correspondance entre ce monde et sa représentation tant au niveau conceptuel qu'au niveau historique, puisqu'ils doivent produire des documents qui vont y jouer un rôle. Ils sont dans le temps social, où chaque chose doit arriver à son heure et où les retards doivent être négociés. Les SI stratifient le temps en gardant en archive des états antérieurs des bases de données. Ils sont donc « le déploiement en éventail d'une mémoire ».

4.2. La commande de machines physiques

La commande de machines physiques est faite maintenant par des systèmes informatiques. Les usines, les équipements scientifiques comme le Ganil⁴, sont contrôlés par ordinateur. Les pilotes automatiques d'avion ou de métro peuvent remplacer le pilotage humain, et l'assistance au conducteur des voitures de

³ exemple : « Si j'étais riche, je ferais le tour du monde ! »

⁴ Grand Accélérateur National à Ions Lourds : <http://ganinfo.in2p3.fr/>

développe. Les machines physiques contrôlées par informatique sont dans le temps et l'espace physique. Les programmes informatiques contrôlent donc des processus qui sont dans le temps réel et elles doivent respecter les contraintes temporelles des machines. La mise à jour de la connaissance du monde actuel concerné par l'équipement est faite par des capteurs, en continu, sans intervention humaine. La commande logicielle est beaucoup plus souple et plus fiable que la commande mécanique, elle permet de faire de nombreux contrôles, des raisonnements sur le temps, sur l'état de l'environnement, sur les temps de réaction des acteurs humains. Elle traite les exceptions et prévient les erreurs. Avec les algorithmes *anytime*,⁵ elle s'adapte au temps disponible pour ajuster au mieux la précision des calculs en fonction du temps disponible alors même qu'il n'est pas connu à l'avance.

4.3. *Le contrôle de flux*

Les flux de données peuvent provenir d'appareils enregistrant des données visuelles, sonores, des mesures de température, de pression. Ils peuvent provenir d'un périphérique comme le clavier. Ils peuvent être transmis par le réseau : textes, musique, images animées, séquences vidéo. Les flux arrivent de manière continue, il faut les traiter dans le fil du temps. Le cas de la surveillance de flux est bien caractéristique du rapport de l'informatique au temps socio-technique. Les événements intéressants étant trop rares ou trop fréquents, les observateurs humains risquent de relâcher leur vigilance. En couplant l'observation humaine avec des systèmes automatiques, pour analyser en temps réel les enregistrements d'une caméra dans un lieu public, pour analyser les dépêches d'agences de presse ou les cours des bourses, le résultat est plus fiable. Le but de l'analyse automatique de flux est d'attirer l'attention des observateurs sur des événements intéressants. Il peut-être aussi de décider ce qu'il faut mémoriser et sous quelle forme, ou de faire des statistiques.

4.4. *La simulation*

Les logiciels de simulation représentent des états du monde⁶ non actuels, ils permettent d'expérimenter en étant hors du temps. Ils proposent une modélisation informatique qui est à la fois une description des phénomènes et une reproduction dynamique des processus par des moyens numériques. Les processus informatiques analogues aux processus physiques, biologiques ou sociaux, en changeant la substance des processus, conservent leur forme. Le but de cette modélisation est que leur description dans un matériau numérique explicite les raisons de leur fonctionnement et de leurs dysfonctionnements. Ils discrétisent le temps et l'espace, mais ils doivent assurer une correspondance entre le monde et sa représentation discrète. Cette correspondance au niveau des modèles n'implique pas une correspondance historique comme pour les SI puisqu'il s'agit de concentrer le temps

⁵ Un algorithme *anytime* réalise un calcul d'approximation avec une précision d'autant meilleure qu'il a plus de temps. Il organise ses calculs de façon à pouvoir donner une réponse dès qu'on lui demande et à continuer à améliorer les calculs tant qu'on ne lui demande pas de réponse.

⁶ ou plus exactement, d'un point de vue sur une partie du monde, dont on a fait un modèle qui doit être paramétré et validé par l'expérience.

pour pouvoir faire revivre des phénomènes ou prédire leur évolution. Ils peuvent servir à expérimenter les modèles en les comparant aux phénomènes observés dans le passé, et à prédire leurs évolutions futures lorsque le modèle est validé. Ils sont couplés à des systèmes de graphiques, de statistiques, de comptage où le temps est représenté par un axe. Ils concentrent le temps passé ou futur sur un temps présent beaucoup plus court, le temps de l'observateur, introduisant par là des discontinuités dans le temps vécu. Ils peuvent implanter des processus décrits par des formules mathématiques mais ils cherchent aussi à dépasser les difficultés qui se font jour avec la modélisation mathématique des phénomènes complexes lorsqu'elle aboutit à des équations insolubles, en déplaçant la description du tout sur les parties (systèmes multi-agents).

4.5. *Les mondes virtuels*

On construit des mondes virtuels, pour montrer des mondes passés, futurs ou imaginaires : des monuments, des maisons, des ponts ou des espaces organisés (espace urbain, espace de travail). On peut y entrer, s'y promener, se déplacer pour les voir sous d'autres angles. C'est un jeu sur l'espace et le temps. Les mondes virtuels ont le même rapport au monde, à l'espace et au temps que les fictions littéraires ou cinématographiques. Ils sont dans le temps de celui qui les regarde et qui interagit avec eux, mais le temps qu'ils présentent est un temps imaginaire. Ils n'ont pas de contraintes de validité sur la représentation du monde aussi fortes que les logiciels de simulation. Par exemple, dans les jeux vidéo la gravité n'est pas toujours prise en compte. Par rapport aux maquettes construites par des moyens analogiques, comme le plan de Rome de l'Université de Caen⁷, les maquette numériques dites virtuelles sont dynamiques. Elles peuvent montrer l'état du monde à des moments différents du temps historique. Comme les simulations, les mondes virtuels créent des discontinuités dans l'espace et le temps vécus.

4.6. *Récapitulation*

Tous les types de logiciels présentés ci-dessus sont des processus interactif de durée indéfinie⁸ ou PII. Certains ne s'arrêtent jamais, ceux qui contrôlent les systèmes bancaires ou les centrales nucléaires par exemple. Ces processus ne s'arrêtent pas même quand il faut changer de version du logiciel, ils migrent sur la nouvelle version sans interruption. Ils ne s'arrêtent même pas quand on change les machines qui les font tourner. Ils passent sur la nouvelle machine quand elle est prête sans interruption de fonctionnement, car elle les reprend en charge dans l'état où ils sont. Il y a donc une certaine indépendance des processus aux processeurs. Bien entendu, ces processus font du calcul et ils traitent des informations, mais ces deux points de vue en donnent une vision partielle. Leur nature commune est d'être des processus de durée indéfinie, en interaction avec des usagers et avec des processus physiques, biologiques, industriels. Ils sont dynamiques et en prise sur le temps

⁷ www.unicaen.fr/rome/

⁸ Il serait plus classique de parler de processus infinis, mais le terme de durée indéfinie est plus précis puisque tout processus informatique finit par d'arrêter soit par lui-même, soit en erreur ou par une action « Quitter » de l'utilisateur, soit parce qu'il est remplacé par un processus plus performant.

présent. Ils font des actions physiques (ouvrir une vanne) ou signifiantes (poser une question). Ils modifient le monde socio-technique humain en instrumentant ses communications. Que peut-on en dire comme fondement à une théorie ?

5. Un modèle des PII

Avant de faire une théorie des PII, il fallait les décrire, ce que nous avons fait dans la section 3. Il faut maintenant en construire un modèle, à la fois descriptif et pour les processus artificiels, un modèle de réalisation. Sur cette base, le rôle d'une théorie est de rendre compte du modèle et de ces propriétés indépendamment des instances particulières et des exécutions particulières.

5.1. Modèle objet des processus et des systèmes

Un modèle de PII est une abstraction d'un processus concret du point de vue de son fonctionnement de processus et de ses interactions avec les autres processus. On distinguera trois étapes dans le fonctionnement des processus : la mise en route, la fin et le cœur du processus. Le cœur du processus fait souvent alterner des phases où le processus est actif et des phases où le processus est endormi. On peut donc le représenter dans son environnement informatique par un diagramme états/transitions où les transitions entre états sont causées par des événements (Figure 2).

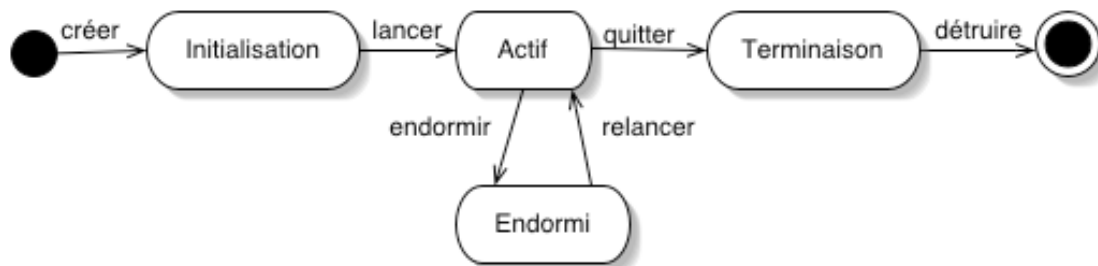


Figure 2 : les états d'un processus de durée indéfinie

Seul l'état actif du processus nous intéressera dans cette étude. Comme les changements d'état représentés dans ce schéma interviennent quand le processus capture des événements, ces changements d'état manifestent sa coopération avec les usagers et les autres processus, mais ni ses objectifs propres, ni les causes de son fonctionnement. Ce qui le caractérise en tant que PII particulier et ce qui détermine son rapport propre au temps est son fonctionnement dans l'état actif.

On peut distinguer deux classes de PII en fonction de leur fonctionnement dans l'état actif : 1) ceux qui traitent les événements (ou des flux) quand ils leur arrivent, comme les traitements de texte et les tableurs, et qui ne font rien si l'utilisateur ne fait rien. Ils sont dans le temps de l'utilisateur, dans le temps social en datant les objets qu'ils manipulent, mais ils n'ont pas de temps propre. 2) ceux qui ont des objectifs propres, qu'on appelle des agents. Ils exécutent une boucle de comportement : perception – délibération – action, avec rétroaction de l'action sur la perception. Ils filtrent dans les événements qui leur arrivent ceux qu'ils vont interpréter dans leur propre fonctionnement (c'est ce qu'on appelle la perception). Ils font des actions qui ne sont pas de simples réactions aux événements ou aux flux qu'ils ont reçus comme avec une table de transcoding. C'est pour ce type de processus que la question du temps se pose comme temps propre ou temps vécu.

Certains processus ont un temps propre rythmé par une ou des pulsations : temps nécessaire pour réaliser une action élémentaire, temps de capture d'un événement par exemple. On les appellera des processus pulsés. La pulsation provient de la substance qui réalise le processus : les êtres vivants ont des pulsations qui leur sont propres comme la respiration ou les battements du cœur. Pour les artefacts mécaniques, la pulsation provient de la machine, qui la réalise par les fonctionnements cycliques (moteur, balancier d'horloge, ressort). Pour les artefacts informatiques, la pulsation est donnée par le cycle de base ou les tops d'horloge du processeur [Nicolle, 2003b].

Lorsqu'on cherche à caractériser les processus interactifs infinis pulsés, il n'y a pas à priori de temps universel, mais seulement la prise en compte d'un temps propre pour chaque processus pulsé. Le temps propre est premier, le temps partagé va intervenir comme conséquence des interactions, car il permet les synchronisations. La théorie doit rendre compte de l'apparition du temps commun aux processus ou temps social à travers les interactions entre les processus. Le temps universel est construit socialement, il peut être acquis par des processus informatiques comme résultat des interactions homme-machine ou machines-machines via un réseau, mais encore faut-il le référer à un temps propre pour qu'il soit signifiant. Étudier les processus interactifs suppose l'existence d'un système de processus en interaction dans un environnement. Certains de ces processus peuvent être des processus matériels ou des processus biologiques. Ils seront considérés par les processus informatiques en tant qu'ils sont instance d'une classe de processus au sens décrit ici.

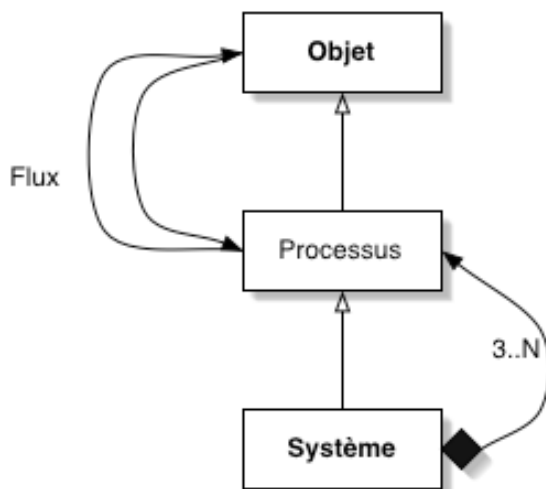


Figure 3 : relations entre les classes Objet, Processus et Système

5.2. Classement des processus interactifs en fonction de leurs causes

Aristote distinguait 4 types de causes : causes substantielle, efficiente, formelle et finale [Aristote]. John Stewart a proposé de réhabiliter la notion de cause en biologie [Stewart,] ; cette section propose de l'utiliser pour comprendre les opérations faites par les informaticiens dans la construction des logiciels.

Les causes substantielles relèvent de l'implantation d'un processus dans un processeur. La substance d'un processus est matière et n'est pas numérisable en tant

que telle, mais la forme l'est, elle peut être transformée en signal. C'est pour cela qu'une trace de pas dessinée sur un papier ou sur un écran est toujours une trace de pas, parce que c'est la forme qui compte. On ne peut pas fumer la pipe dessinée par Magritte, mais c'est bien une pipe, quoi qu'il écrive en dessous du dessin. On ne peut pas dessiner une odeur ou un goût parce que c'est une trace indétachable de son support, un effet de la substance. Il existe donc des contraintes qui permettent ou non la transformation de la cause substantielle d'un processus en numérique et la possibilité de la simulation tient à la possibilité de transformer la substance sans transformer la forme, en trouvant des analogues numériques pour les causes formelle, efficaces et finales.

Un processus interactif numérisable est caractérisé par sa forme : les actions qu'il fait, les événements qu'il capte et les relations entre les actions et les événements. Si toutes les actions sont possibles à tout moment et sont choisies aléatoirement, le processus est dit aléatoire. Ces processus obéissent seulement à une cause formelle qui est le tirage aléatoire. Les processus déterministes décident de leurs actions en fonction des événements qu'ils ont captés et des actions qu'ils ont faites précédemment de manière univoque. Ils obéissent donc à des causes formelle (la fonction) et efficace (les actions et événements passés). Ils n'ont pas de cause finale (but, objectif interne). Les agents sont des processus dont la fonction de transition entre le temps t et le temps $t+1$ renvoie plusieurs résultats. Elle contraint les actions possibles au temps $t+1$, mais n'en décide pas. La décision effective d'action dépend d'une deuxième fonction, la fonction de choix, qui peut être aléatoire ou dépendre d'une cause finale. La cause finale est un principe de viabilité, un but ou des objectifs hiérarchisés. Elle est implantée par une méthode de choix indépendante de la fonction de transition : méthode heuristique, oracle. Un observateur peut prédire ce qui est impossible de faire à chaque instant à cause des contraintes, il ne peut pas prédire ce qui sera effectivement fait car les raisons internes évoluent au fur et à mesure qu'on s'approche du but, où qu'on s'éloigne des conditions de viabilité.

Type de processus	Causes
Aléatoire	Formelle
Déterministe	Formelle et efficace
Agent	Formelle, efficace et finale

Figure 4 : Classement des processus actifs en fonction de leurs causes

Cette catégorisation à partir des causes permet de clore les catégories de processus pour des raisons générales, externes au fonctionnement des processus.

Tout logiciel a un but pour son commanditaire ou son acheteur. L'écriture d'un programme déterministe transforme le but, qui est une cause finale, en cause formelle et le lancement du programme active la cause efficace. L'écriture de cette cause formelle dans un matériau numérique permet de l'exécuter en activant une cause substantielle numérique. Pour les agents, la cause finale reste explicite, mais la planification est la transformation située des causes finales en causes formelles. Lorsque le processus planifie ses actions, c'est pour maîtriser le temps réel par un raisonnement qui a lieu dans un temps différé.

La question des causes finales est liée à la question du temps propre. Lorsque la

cause finale est transformée en cause formelle, il n'y a plus de temps propre du processus, parce que tous les déroulements possibles ont été prévus à l'avance. C'est un avantage pour les raisonnements théoriques sur les processus, mais aucun apprentissage n'est plus possible.

6. Conclusion

On peut distinguer plusieurs types de processus selon leur rapport au temps. Les processus terminatifs comme le calcul de fonctions ont un début et une fin inscrites dans leur déroulement. Leur but est implicite et ils s'arrêtent quand le but est atteint. Les processus non terminatifs ont une durée indéfinie parce que leur but implique qu'ils continuent à exister. Ils peuvent être opportunistes, attendant des événements pour les traiter, comme les traitements de textes. Ils peuvent être périodiques, cycliques comme une horloge s'ils se reproduisent périodiquement à l'identique. Le comportement des agents peut se reproduire périodiquement avec des modifications de comportement : adaptation ou apprentissage.

Tous les processus informatiques sont à la croisée du temps physique, parce qu'ils sont exécutés sur des processeurs ayant un cycle de base, du temps social parce qu'ils se synchronisent avec une horloge de référence et du temps propre des usagers avec lesquels ils interagissent. Ils utilisent le temps comme une ressource et comme un repère. Il y a rencontre entre le temps propre d'un processus et un autre temps : physique, social ou temps propre d'un autre processus, à la réception d'un événement. La plupart du temps, programmer, c'est gérer les causes finales d'un processus comme des causes formelles et par là même supprimer le temps propre du processus qui en résultera. Mais cette façon de faire supprime aussi les possibilités pour les processus d'évoluer à partir de leur expérience. Concevoir des logiciels plus sommaires et plus robustes, mais capables d'adaptation pourrait être une solution pour des applications trop complexes pour être totalement maîtrisées d'avance.

7. Références

Laurent Gosselin, 1996, Sémantique de la temporalité en français, Un modèle calculatoire et cognitif, Duculot, Louvain-la-neuve

Klaus Mainzer, 2002, The little book of Time, Copernicus Books, Springer-Verlag

Anne Nicolle, Pierre Beust, Vincent Perlerin, 2001, Un analogue de la mémoire pour un agent logiciel interactif, Revue In Cognito, n° 21, pp. 37-66

Anne Nicolle, 2003a, Le continu, le discontinu et le discret en informatique, Espace-Temps, Les cahiers, Association Espace-Temps, Paris, à paraître

Anne Nicolle, 2003b, Étude préliminaire à une théorie des processus interactifs infinis, Les cahiers du Greyc, n° 3, (18 p.)

John Stewart, La Modélisation en Biologie, in *Enquête sur le concept de modèle*, ed. Pascal Nouvel, PUF, 2002

Time, urban routines and New Information and Communication Technologies.

Some insights by means of a MAS model

Sylvie Occelli

IRES - Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte
Via Nizza 18, 10125 Turin, Italy.
Tel 039/116666462, e-mail, occelli@ires.piemonte.it

Abstract

Time has a major role in cities. It is argued that the kind of changes taking place in today societies involve a greater attention to time from both a substantial and methodological perspective. To support this argument some results of a MAS model are illustrated which deal with the impact of the introduction of New Information and Communication Technologies on urban routines. In the model different notions of time are included which reflect the intrinsic complexity of the role of time in cities.

1. Introduction

Time plays a manifold role in cities, i.e. it allows for urban morphology to be shaped, it imprints hallmarks on the architectural, physical and cultural components of urban landscapes, it is twin to the space dimension in the deployment of the trajectories in urban evolution.

Also because of the institutional, socio-economic, and cultural changes now occurring in most developed countries (see Castells, 1989, 1996), the ways cities understand and manage time are modifying. Space-adjusting technologies (the so-called New Information and Communication Technologies), in particular, are deeply influencing both the range and temporal organisation of activities offered in an urban setting and the ways individuals participate in them (Janelle and Hodge, eds. 2000, Graham and Martin, 1996, 2002), i.e. at an individual level, the spatial behaviour of households and businesses is becoming more heterogeneous and diversified, while, at the meso-level, more complex patterns of interaction and timing of activities are emerging. One major consequence, which is also particularly crucial from a planning perspective, is that several time-dependent urban phenomena, such as traffic congestion and the temporal ordering of activities are increasingly difficult to control (Occelli, 2000).

On a more general ground, the above features can be related to the more general topics accounting for the complexities of urban systems (Bertuglia and Staricco, 2000, Portugali, 2000, Pumain, Sanders and Saint-Julien, 1989). Although these are

not the subject of this note, the recognition of the role of time in generating these complexities is worth being given further attention.

In this respect, the following discussion is articulated into two main sections.

The first recalls some main perspectives of the treatment of time in the analysis of urban phenomena. A few city profiles are also mentioned which show how the differences between cities which can be identified according to socioeconomic features also imply different notions of time (and accessibility).

The second deals with urban routines and analyses how these may be modified by the introduction of NICT, i.e. by substituting physical interactions (i.e. time-consuming commuting) with virtual contacts (tele-working). Some results of the application of a MAS model which has been recently developed at IRES to deal with work related urban routines in an artificial environment are presented (Bellomo and Occelli, 2000, Occelli and Bellomo, 2003). In the model, several notions of time are included, which refer to its substantial and analytic components. Attention is focussed in particular, on how the consideration of the co-existence of different time horizons in the agents' behaviours affect the resulting spatio-temporal outcomes at the city level.

A general argument pointed out by discussion is that individuals' cognitive abilities may introduce an additional perspective in the treatment of time likely to yield new *complexes* of temporal entities, according to which urban routines are construed and modified. In addition, by influencing cognitive abilities, NICT may also have a role in the formation of these temporal complexes.

2. Notions of time and city profiles

In urban analysis, the treatment of time usually involves two often intertwined components:

- The first, which can be called substantial, refers to the intrinsic value of time as an entity which matters for the current living of individuals, also because it is associated with biological constraints (i.e. those defined by one's biological clock and life span). Time, therefore, can be considered as a resource which is important for individuals as much as other natural, economic, social, natural and cultural resources. The notion of value of time conventionally referred to in urban economics and that of time use in human geography and economics of household production are well known examples in this regard (see Merz J., Ehling M. eds., 1999).
- The second, which can be defined as analytic, concerns the reference dimension intrinsically associated with time as a 'locational and co-locational continuum' (see Carlstein, Parkes and Thrift, 1978). This involves the recognition of specific features of time, depending on the scales of observation (i.e. short, medium or long run), approach of analysis, (i.e. comparative static or dynamics), type of measurement, i.e. discrete or continuous, direction of the time ladder, i.e. irreversibility of time. According to this component, therefore, it is possible to specify the kind of processes underlying urban changes, i.e. slow and fast

processes, and their related features, i.e. recursion, discontinuities, path-dependence.

Building on these components, a number of perspectives for dealing with time have been developed in the analysis of urban phenomena. They refer to¹:

- Periods, i.e. the time perspective marking the developmental process of city evolution in history. For each period, therefore, specific conditions can be identified, i.e. level of technological progress, type of social organization, war, which constrain the overall kind of urban changes. Period effects, therefore, impact the whole city at the same time, determining the specific conditions experienced by its population and economic system.
- Life-cycle, i.e. the time involved in the ageing of living entities, i.e. population, firms, institutions, as well as well as non-living ones, i.e. buildings, landscapes. Biological changes occur with age. Many demographic changes, i.e. household formation, retirement, and certain urban processes, i.e. migration and residential mobility, also depend on life-cycle. Ageing also affects the built stock in cities. With passing time, dwellings suffer deterioration, become obsolete and may undergo an occupancy transition.
- Longitudinal marks, i.e. the differences between cohorts that persist over time. The weaker competition in the housing market and school which has been observed as a result of the small size cohort of population born during the war and the differences in the filtering rates of different vintage dwellings are instances of cohort effects.
- Routines, i.e. the periodic repetition of actions in time (and space). As a result of both the internal biological constraints on human behaviour and social practices prescribing the timing and locations of events (i.e. work, school), human movements are organized according to rhythms which are also spatially constrained by the maximum distance limits between urban activities. These limits, however, depend on the level of technological progress. This latter, in fact, modifies the time required by each activity and can reduce the time required to move among places, thus altering the time individuals spend in the various activities or in travelling greater distances.

A point which has been emphasized is that the complexity features which are recognized for several urban phenomena are not simply time dependent, but derive from the interplay of several time perspectives, i.e. certain urban phenomena have own differential time perspectives, whose interaction can generate those complexities. As a result, criticalities and bifurcation may be produced in the developmental trajectories of a city (besides those which may be caused by exogenous impacts of random events).

One fundamental concept in urban analysis which is most sensitive to time is that of accessibility as this depends on: a) the functional and spatial organisation of activities existing in a city *over time*, b) range of interaction choices, which, at *certain times*, are available to an individual because of his/her own capacity and resources and c)

¹ A discussion of these notions is detailed in Myers ed.(1990).

types of urban routines which are established, followed and consolidated in space and time.

If we adopt a developmental view of cities, for example, one might argue that the more complex notions of accessibility and of its time components in today city is associated with the many changes accompanying the evolution of urban systems, and with the increasing complexity of phenomena one is able to observe (Bertuglia and Staricco, 2000, Portugali, 2000).

This is particularly evident, for example, when we contrast the descriptions of the Fordist and Post-Fordist types of urban development, see Tab.1².

Unlike the latter, the Post-Fordist city can be understood as an information-based spatial system characterized by an increasingly wide range of social, cultural, economic and functional relationships, animating the city life.

As a result, also the urban routines in which individuals currently engage in order to partake to the urban activities become more varied and diversified, both at an individual level and across a population. In this respect, one major endeavour in the Post-Fordist City, relates to the structuring, updating and consolidating of these routines over time.

In addition, the kind of 'time-space shrinking' made possible by the diffusion of the New Information and Communication Technologies (NICT) (Couclelis, 1996, Occelli, 2000), is likely to deeply affect both the features of urban routines and how they will be effectively carried out in the various urban environments.

3. Urban routines and NICT in a MAS model

Urban routines are based on a notion of action-spaces within which individuals currently live³ (see Golledge and Stinson, 1997). Fig. 2 depicts a daily profile of an individual's action space. This, of course, can be modified according to both changes in the individual's time-budget and activity patterns (i.e. changes in the operating hours of existing services, provision of new population services, etc.) and technological progress (i.e. the possibility to communicate at a distance as a result of the introduction of NICT).

Of course, other kinds of action-space profiles can be identified whenever we consider different time horizons. Indeed, the fact that low and fast processes of change underlie the evolution of urban phenomena is a well established notion in dynamic approaches to cities (see for example Bertuglia, Leonardi and Wilson, eds., 1990 Clark, Perz-Treio and Allen 1995).

² The city profiles show how the differences which can be identified according to their socioeconomic and functional features also imply different notions of time, spatial patterns and accessibility. This association relies on the assumption that spatial patterns cannot be fully understood without taking into account the socio-economic and interaction structure underlying it. The spatial features relate to both components of spatial systems, i.e. the spatio-temporal pattern of activities as well as the spatio-functional pattern of interdependencies.

³ The notion of action spaces was originally introduced by the Swedish geographer Hagestrand in the fifties. Now it is gaining increasing popularity, also because of the increased availability of survey micro data for their description and computing potentials for their analysis.

Table 1 A meta-typology of urban systems in an evolutionary perspective

<i>FEATURES</i>	<i>Pre-industrial city (merchant and agricultural based society)</i>	<i>Fordist city</i>	<i>Post-Fordist city</i>
<i>Socio-economic and institutional aspects</i>			
<i>Production sectors</i>	Agriculture, electrical machinery, steel ships	Cars, armaments, consumer durables, petrol-chemicals. Mass production	Computers, capital goods, telecommunications, optical fibres
<i>Tertiary sectors</i>	Domestic services, state and local bureaucracies, growth of transportation and distribution	Growth of social and financial services. Decline of domestic services	Expansion of information services. New forms of craft production
<i>Infrastructures</i>	Canals, railways, roads	Electrical cables, highways, airlines, airports	Digital communications network, satellites
<i>Social organisation and population trends</i>	Rigid class divisions. Urbanisation, high population turnover	Unified class formation and parties. Concentration of population in urban areas	Pluralistic class formations, multi-party system, regional diversification. Counter urbanisation and ageing of population
<i>Aspects of regimes of regulation</i>	Craft unions and early social legislation	Welfare state and its crisis	New-style of participatory decentralised welfare state
<i>Spatial aspects</i>			
<i>Settlement pattern and urbanisation processes</i>	Isolated, small settlements with stable population	Formation of polarised, high-density agglomerations. Marginalisation of peripheral areas	Metropolisation, edge cities, dispersed, polycentric settlements of various size, network of cities
<i>Type of interaction</i>	One-to-one. Open non connected network	One-to-many. Radial network	Many-to-many. Interconnected network
<i>Determinants of accessibility</i>	Physical distance and transport. Place-based determinant	Cost of movement, centrality, transport means. Person-based determinants	Time-space opportunities, physical vs. virtual interactions
<i>Major urban issues</i>	Housing and health conditions	Employment, cost of opportunities, resource allocation urban growth	Environmental sustainability, quality of life, urban performances, city competition

In the following, we will hint at an application of a Multi-Agent System (MAS) model, in which changes in the urban routines engaged by individuals for partaking to work are investigated as a result of the introduction of NICT.

SimAC (Simulating Accessibility) is a MAS model which is being developed at Ires to investigate new model capabilities for dealing with commuting, accessibility and telecommuting adoption (Bellomo and Occelli, 2000, Occelli and Bellomo 2003).

The city dealt with by SimAC is the city of everyday life, where ordinary people live and operate.

In this world, furthermore, agents are not blind avatars, but they are supposed to possess a few cognitive abilities, i.e. they have certain perceptions of their urban environment and these guide their spatial behaviour. As a result, they are aware of their action spaces and have a certain capacity to evaluate their performance.

This featuring of agents, which ultimately depends on their ontological properties, underlies the idea of self-organization in the urban environment simulated by the SimAC model.

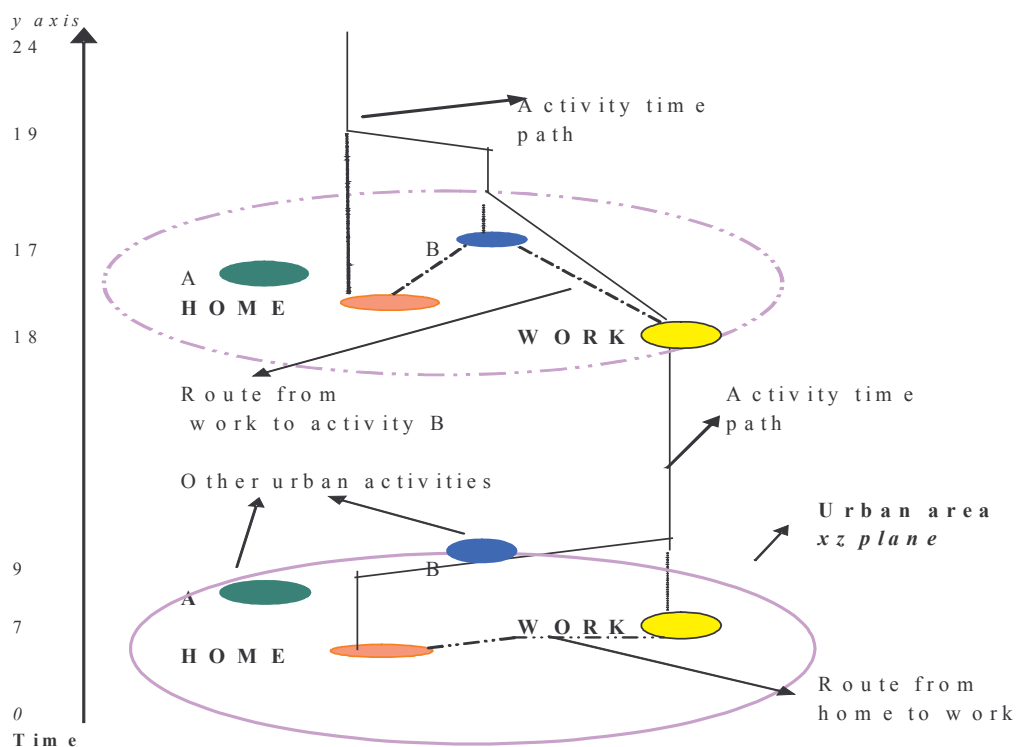


Figure 2 A scheme of an individual's action space

Three types of agents populate the artificial world, i.e. Inhabitants, Localities and Whisper, see Tab. 2 (a detailed description of the model is in Occelli and Bellomo, 2003).

INHABITANTS: These agents mimic certain features of mandatory mobility behaviour of individuals in an urban setting. Inhabitants daily commute in order to get to their workplace. This shapes their action space and determines their accessibility. Inhabitants are able to make an evaluation of their accessibility and to modify their travel path accordingly. They also have the possibility to telecommute. This decision depends on both drives and constraints, acting at individual and system

levels (Mokhtarian and Salomon, 1994). The drives depend on the individuals' action spaces. The constraints are both external, i.e. the availability of telecommunication networks and labour regulations, and internal, i.e. the psychological factors related to the need of face-to-face contacts. Inhabitants' overall dynamics unfolds on two different time scales. Accessibility changes occur on a relatively short time span, while the decision to telecommute is made on a relatively longer one.

Table 2 General features of the profiles of agent types

	Inhabitant agents	Locality agents	Whisper
<i>Main goal within the artificial world</i>	They have to work. To reach their workplace they have to travel, but can substitute physical movement with virtual contacts	They have to provide employment to INHABITANTS and job accommodations for their employees	He gives prescriptions and recommendations for action to INHABITANTS and LOCALITIES
<i>Role in the artificial world</i>	As they value time, have a time budget and are sensitive to time constraints, they are motivated to reach their workplace as soon and easily as possible.	They have to maintain (improve) a certain performance level in their production activity	He monitors the behaviours of both INHABITANTS and LOCALITIES at a system level
<i>Drives to action</i>	Changes in the commuting time and in the factors underlying their drive to telecommute	Changes in the environmental and socio-economic factors	Variations in the system diagnostic indicators
<i>Communication</i>	They send complaints to the Swarm Manager and receive information from LOCALITIES and WHISPER	They send complaints to the Swarm Manager and receive information from INHABITANTS and WHISPER	He collects complaints (signals) from the Swarm Manager and give information to INHABITANTS and LOCALITIES

LOCALITIES: These agents embody features related to work activity and urban places. In the current version of SimAC, localities refer to workplaces which are spatially 'fixed'. Besides providing jobs to inhabitants, localities have to supply a bundle of job accommodations, i.e. car parking availability, office floor space, telecommunication infrastructure, etc. Localities are able to monitor the behaviours of their own employees as they access their workplace, i.e. they can measure the traffic congestion produced in the surrounding areas.

Consequently, they can introduce more flexibility into working times to contrast the negative externality effects. In order to evaluate their performance, localities take into account their overall revenues and costs. We suppose that these latter depend on a relatively slow changing set of structural determinants, i.e. costs of labour, rents and facilities and a relatively faster changing set of factors, i.e. congestion, road price,

adoption of new information technologies, which are more sensitive to the dynamics of the SimAC world.

WHISPER: This agent does not represent any given physical entity. Broadly speaking, he can be understood as a kind of repository of the tangible and intangible *information pool* existing in a city. On a more practical ground, he may represent an external observer, who is able to observe certain outcome of the behaviours of both Inhabitants and Localities. As he collects and processes, information for policy purposes, he also computes a set of diagnostic indicators of the overall performance of the system. Some of these are used by the Whisper to undertake certain actions, i.e. providing information about the diffusion of the NICT in the population and making available the NICT infrastructures and equipments in the residential zones.

Others may be used to give prescriptions or recommendations.

In SimAC an effort is made to account for the co-existence of different time horizons in the agents' behaviours. Agents are able to put into perspective the changes occurring in their surrounding environment. This means that they have certain 'windows of observation' of these changes, i.e. their decision-making and decision to act may refer to different time periods. Each type of agent, therefore, can undertake his/her evaluation activities considering different time intervals. As a result, agent decisions do not necessarily occur simultaneously, but may be shifted in time. Although the implemented approach is still a group centred view, it nonetheless allows us to investigate how different time scales in agents' decision-making can affect their outcome in the urban evolution.

Figure 3 shows the initial conditions of the artificial environment simulated by the experiments. This represents a metropolitan area, where the spatial pattern is characterized by:

- a central urban core, consisting of six very close residential zones (i.e. the travel times of their transportation network are the lowest). This is surrounded by a transport ring connecting the core area it to the outer ones;
- a set of suburban residential areas on the fringe of the urban core;
- a set of sparsely distributed residential areas located in the outer parts of the area.

Inhabitant agents are almost uniformly distributed over 35 residential zones. There are 2 Locality agents located in the core of the area, which employ the same number of Inhabitants.

Each experiment simulation has a fixed time period consisting of 100 time units (days).

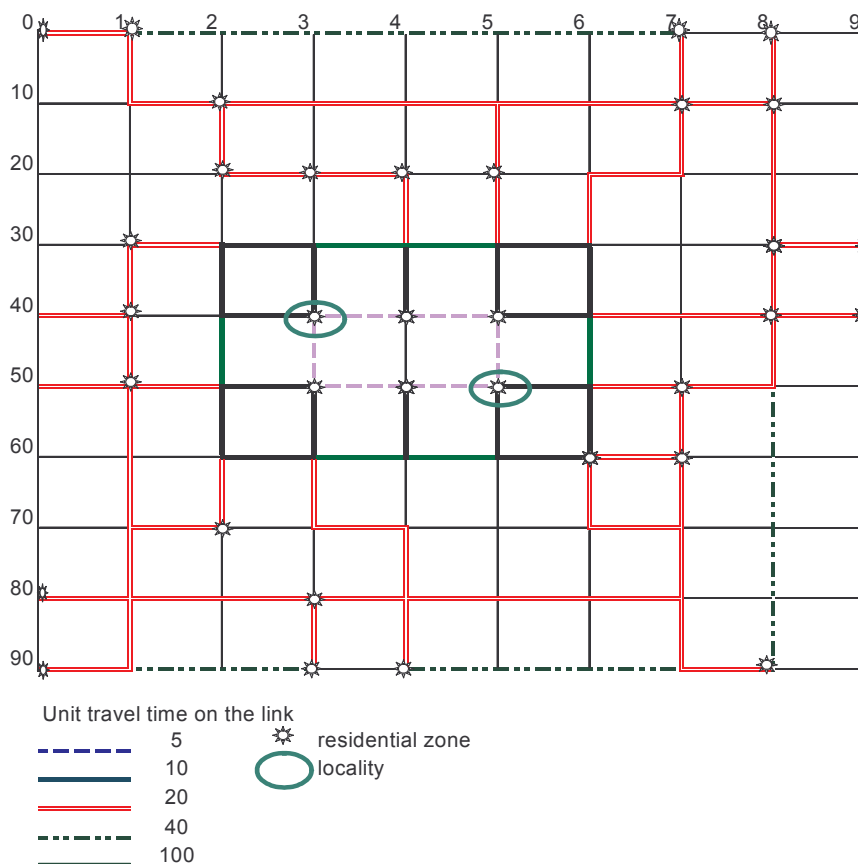


Figure 3 Configuration of the urban environment with an irregular spatial network

Attention is focussed on the results of the adoption of tele-work by Inhabitant agents, considering different widths of agents' observation windows, in an urban environment characterized by an irregular spatial network (that shown in Fig. 3) and a regular network (all the links in the spatial network have the same travel times).

As already observed in previous experiments, the number of adopting agent's increases more significantly in those experiments in which the width of the observation window for the Whisper agent is relatively smaller, see Fig.4.

In these cases, in fact, the constraining factors to adoption tend to be weaker as a result of a greater availability of telecommunication services in residential zones, i.e. the Whisper agent is able to make telecommunication investments in a greater number of zones

This happens in both urban environments with a regular and irregular spatial network. Fig. 4 also shows that the less performing results are observed in the experiment, W101010, in which the width of the observation window, for all types of agents is the largest, i.e. in this case, in fact, the agents' awareness to the changes in the urban area is the lowest.

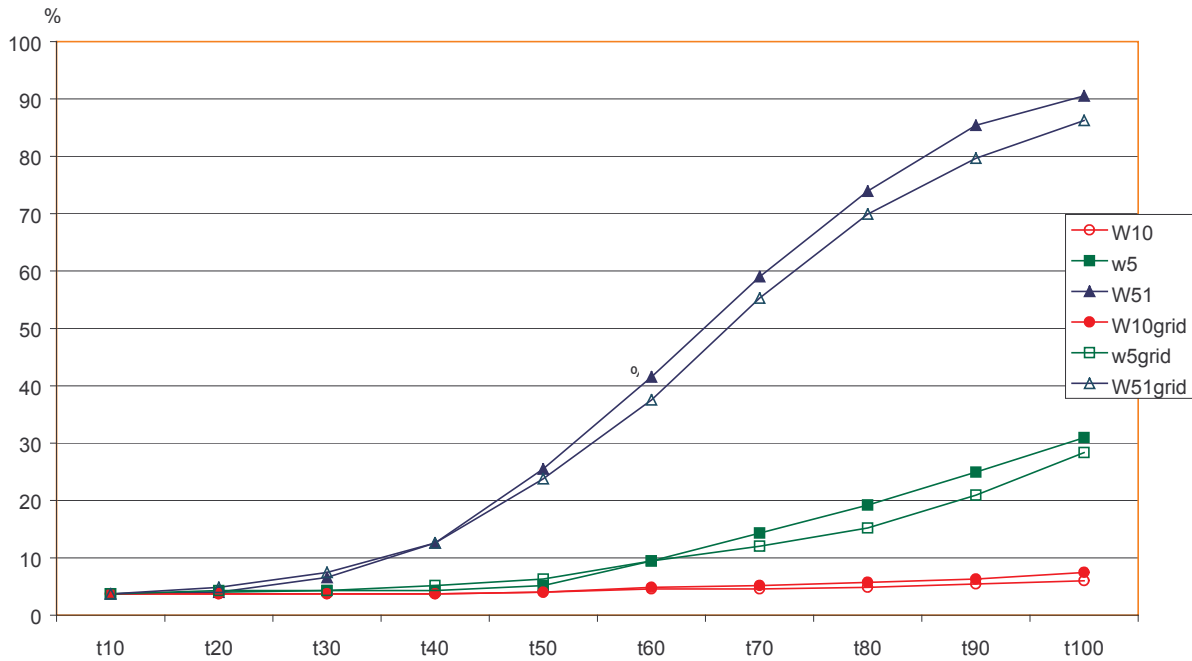


Figure 4 tele-work adoptions in an urban environment with regular (grid) and irregular spatial network for different widths of the observation window (*) (*) W indicates the width of the observation window taken into account by the Inhabitant, Locality and Whisper, i.e. W51 means that the width for the Inhabitant and Locality agents is 5, whereas for Whisper is 1.

A major aspect worth being emphasized is that the increases in tele-work adoption are higher for the urban environment with an irregular spatial network. Although this result may depend on the particular configuration of these simulation experiments, a plausible explanation is that, in a more highly constrained spatial environment, agents' drive to improve their accessibility is likely to be higher.

The variations in the average travel times as observed at the end (T100) and beginning (T10) of the simulation period seems to support this explanation, see Fig. 5.

This result also provides further evidence to what has already been pointed out in earlier experiments (see Bellomo and Occelli, 2000, 2003) about the fact that the higher is agents' sensitivity to travel time, the greater their propensity to explore alternative travel paths, in order to improve their accessibility. To some extent, one may argue that agents have learned about their urban environment.

4. Concluding remarks

In this note an effort was made to point out a few aspects of the role of time in generating the complexities of today cities. Besides underlining, once more, the relevance of this role, our arguments suggest that there are two aspects which will deserve further attention in future research.

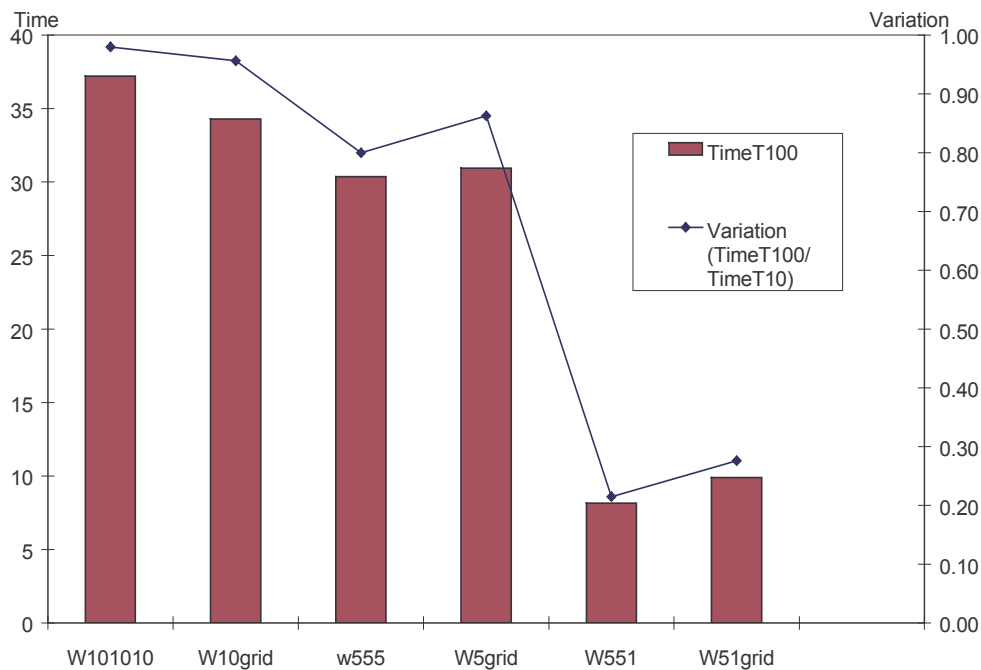


Figure 5 Average travel time at the end of the simulation period and time variation in an urban environment with regular (grid) and irregular spatial network for different widths of the observation window

First, the importance of the profiles of urban routines in contributing to the overall dynamics of cities should be underlined. The fact that most of them can be considered as ordinary does mean that they do not have a responsibility in city complexities. Although this responsibility has already been recognized on a methodological ground, there is a need to go beyond a simple quest for improving their analytic treatment.

On a substantial ground, actually, this is particularly challenging in planning as it calls for a greater attention to the management of everyday urban life (i.e. monitoring the city performances and impacts of policy actions), which in the long run should support stakeholders in the formulation of urban policies and in decision-making .

On a conceptual ground, furthermore, urban routines should be seen not only as the periodic repetition of actions in an urban environment but as the outcome of actions undertaken by *cognitive* agents in their action spaces. In this respect, coping with their temporal deployment also implies accounting of the time necessary to agents for learning about, moving in, adapting to and extending their action spaces. The claim that accessibility is a resource which can be actively construed by agents (see Occelli, 2000) was based on this presumption.

This probably calls for a new kind of attribution of the temporal dimension, in which for real agents (as well as for urban analysts) the different time perspectives, i.e. periods, life-cycle, longitudinal marks, routines, cannot be distinguished but need to

be considered in combination, thus producing a range of more complex *temporal bundles*. To deal with these latter, furthermore, might also require paying attention to what time really represents for city, just because looking at urban processes does not make sense without considering what is at stake and for whom. These raise more fundamental questions of cognition, sense and knowledge which have social, cultural and ethical implications.

Second, it is doubtless that the introduction of NTIC will be a key factor in instantiating the kind of Post-Fordist type of development that will take place in city. In this respect, the application of the SimAC model was a stimulating exercise which made it possible to articulate in a novel way some well known hypotheses about the diffusion and impact of NTIC on work related urban routines. Apart from any assessments about the model capabilities, the simulations showed how the coexistence of different temporal windows in the agents' decision making may affect the final outcome of NTIC adoption. One major aspect not included in the present model but worth being addressed in the future, is the recognition that these temporal windows may not depend simply on agent's attitudes (i.e. being myopic or anticipatory) but on their cognitive abilities to learn about their environment. This learning, itself, is likely to be very sensitive to NTIC.

References

- Bellomo M., Occelli S. (2000) Simulating Accessibility by SWARM, in Ballot G, Weisbuch G. eds., *Applications of Simulation to Social Sciences*, Hermes, Paris, 141-154.
- Bellomo M., Occelli S. (2003) Physical Versus Virtual Access: an Analysis Using a Multi-Agent Model, Paper presented at the meeting INPUT 2003, Pisa, 4-6 June.
- Bertuglia C.S., Leonardi G., Wilson A.G, eds. (1990) *Urban Dynamics: Designing an Integrated Model*, Routledge, London.
- Bertuglia C.S., Staricco L. (2000) *Complessità, autoorganizzazione, città*, Angeli, Milano.
- Carlstein T., Parkes D. and Thrift N. (1978) Introduction, in T. Carlstein, in Parkes D. and Thrift N. eds., *Time and Regional Dynamics*, Edward Arnold, London 1-4.
- Castells M. (1989) *The Informational City*, Blackwell, Cambridge.
- Castells M. (1996) *The Rise of the Network Society*, Blackwell, Oxford.
- Clark N., Perz-Treio F., Allen P. (1995) *Evolutionary Dynamics and Sustainable Development. A system Approach*, Edward Elgar, Aldershot.
- Couclelis H. ed. (1996) Spatial Technologies, Geographic Information, and the City, Technical Report, 96-10, NCGIA, Santa Barbara, CA.
- Golledge R.G., Stimson R.J. (1997) *Spatial Behavior. A geographic Perspective*, Guilford, New York.
- Graham S., Marvin S. (1996) *Telecommunications and the City*, Routledge, London.
- Graham S., Marvin S. (2002) *Splintering Urbanism*, Routledge, London.

- Janelle D.G. and Hodge D.C. eds. (2000) *Information, Place and Cyberspace*, Springer, Berlin
- Merz J., Ehling M. eds. (1999) *Time Use – Research, Data and Policy*, Nomos, Baden Baden.
- Mokhtarian P.L., Salomon I., (1994) Modelling the Choice of Telecommuting: 1. Setting the Context, *Environment and Planning A*, 26, 749-766.
- Myers D. ed. (1990) *Housing Demography. Linking Demographic Structure and Housing Markets*, The University of Wisconsin Press, Madison.
- Occelli S. (2000) Revisiting the concept of accessibility: some comments and research questions, in Janelle D.G. and Hodge D.C. (eds.), *Information, Place and Cyberspace*, Springer, Berlin, 279-302.
- Occelli S., Bellomo M. (2003) A Multi-Agent Model for Simulating Tele-Work Adoption, Paper to be presented at the RASTA'03, June 23, Edinburgh.
- Occelli S., Staricco L. (2001) *Nuove tecnologie di informazione e di comunicazione e la città. Elementi di riflessione*, Angeli, Milano.
- Pumain D., Sanders L., Saint-Julien T. (1989) *Villes et auto-organisation*, Economica, Paris.
- Portugali J. (2000) *Self-Organization and the City*, Springer, Heidelberg.

Temps des structures et conscience historique : réflexions sur l'identification et la représentation collective des phénomènes émergents en sciences sociales et la modélisation de l'émergence comme processus historique, génétique et cognitif

Denis Phan¹

*Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne
ICI, Université de Bretagne Occidentale & Leibniz-IMAG, Grenoble
Communication aux 11^o journées de Rochebrune, 26 Janvier au 30 Janvier 2004*

Version longue mise à jour disponible à l'adresse :

<http://www-eco.enst-bretagne.fr/~phan/papiers/RocheBrunePhan2004.pdf>

Résumé

Les méthodes de modélisation et de simulation de sociétés artificielles représentant des agents humains en interactions devraient prendre en compte au moins trois caractéristiques interdépendantes des activités humaines : celles-ci se déroulent dans le *temps*, dans un *environnement social structuré* et résultent de *choix réalisés par des entités dotées d'une capacité réflexive* sur cet environnement et sur eux-mêmes. Naturellement, cet impératif se trouve limité, pour ce qui est de son implémentation, par les avancées des systèmes disponibles. L'objet principal de cette note est de proposer des éléments de réflexions sur la nature des caractéristiques et de la séparation entre ce qui est pratiquement modélisable aujourd'hui et ce qui ne l'est pas. La définition du « temps » que nous avons retenue est celle d'un « *changement continu par lequel le présent devient le passé* ». Plus précisément, s'agissant de la modélisation d'actions humaines, on s'intéressera au *processus historique* « *par lesquels le temps transforme en un passé unique la multiplicité des avenir possibles* ». Il s'agit donc de poser les problèmes associés à la modélisation et à l'interprétation du « *temps des structures* » sociales, de leur émergence et de leur intégration dans la conscience individuelle et collective. Plus spécifiquement, la question de départ concerne les fondements philosophiques de la notion de « temps ». Pour dépasser l'opposition classique entre « réalisme » et « idéalisme », on recourt à la dimension intersubjective de la temporalité vécue, fondé sur les interactions langagières. La prise en compte du changement social et l'évolution des représentations dans une temporalité « sociale » mène à un point de vue temporel « génétique », dans lequel la conscience collective de la relativité du temps présent conduit à une « *conscience historique* ».

Dans un second temps, on rappelle les avancées réalisées et les limites rencontrées par les modélisateurs multi-agents dans ce domaine, en les replaçant rapidement dans le débat de sciences cognitives sous-jacent. La question de l'*émergence* nous renvoie au problème des niveaux de complexité et au statut de l'observateur, à la question du réductionnisme, et finalement à une discussion sur les difficultés de formaliser les processus relatifs à la conscience. L'introduction explicite de la temporalité passe alors par une discussion sur la portée et les limites de la formalisation et de la représentation *des structures génératives*, selon un point de vue inspiré du structuralisme génétique de Piaget. La troisième section reporte les problèmes de « réductionnisme » et de philosophie de l'esprit évoqués dans la seconde section à la question de la pluralité ou de l'unicité des approches en sciences sociales. Constatant un *manque de fondement ontologique pour les faits sociaux*, la discussion du point de vue proposé par Searle dans « la construction de la réalité sociale » permet de faire le lien avec plusieurs questions soulevées dans les deux premières sections, tout en constatant que cette construction logique ignore la dimension temporelle, sans cependant être incompatible avec cette

¹ L'auteur remercie Jean Louis Dessalles pour ses remarques constructives sur une précédente version de ce papier.

dernière dimension. L'introduction de la dimension temporelle sera discutée à un niveau d'abstraction moins élevé, à partir des travaux de Munck (1999) qui propose de dépasser certaines limitations de Searle en introduisant à la fois une dimension cognitive et temporelle

Introduction

Les méthodes de modélisation et de simulation de sociétés artificielles représentant des agents humains en interactions devraient prendre en compte au moins trois caractéristiques interdépendantes des activités humaines : celles-ci se déroulent dans le *temps*, dans un *environnement social structuré* et résultent de *choix réalisés par des entités dotées d'une capacité réflexive* sur cet environnement et sur eux-mêmes. Naturellement, cet impératif se trouve limité, pour ce qui est de son implémentation, par les avancées des systèmes disponibles. L'objet principal de cette note est de proposer des éléments de réflexions sur la nature et les caractéristiques de la séparation entre ce qui est pratiquement modélisable aujourd'hui et ce qui ne l'est pas, ainsi que sur l'articulation épistémique entre les niveaux de connaissance que cela implique. En d'autres termes, il s'agit donc de discuter le principe d'un « dualisme méthodologique » pour l'approche des phénomènes humains et sociaux par la modélisation « constructive » de « sociétés artificielles d'agents ». La « temporalité des structures », qui est progressivement définie, sert de fil conducteur à cette démarche.

Dans cet objectif, cette note *soulève un certain nombre de questions* liées à la prise en compte simultanée du *temps* et des *structures sociales* dans la modélisation multi-agents des sociétés artificielles représentant *des agents humains doté d'un certain degré de réflexivité*. Au niveau préliminaire où nous nous situons, il s'agit d'abord de souligner l'existence de ces problèmes, fondamentaux pour le développement de cette approche, sans nécessairement chercher ni à y répondre, ni même à « balayer » toutes les dimensions du sujet. Plus spécifiquement, notre objectif de départ présuppose donc un *dualisme méthodologique* dont le statut doit être précisé par un regard croisé sur des travaux provenant des champs de (1) la philosophie, de (2) l'intelligence artificielle et des systèmes multi-agents et enfin (3) de l'épistémologie et de la méthodologie des sciences humaines et sociales. La confrontation de ses approches est nécessaire dans la mesure où ceux-ci nous fournissent un cadre conceptuel préexistant qui nous permet en particulier « de définir les questions fondamentales de la science cognitive de manière cohérente et garantit l'intégration correcte des recherches effectuées dans des domaines disparates » (Gardner, 1985).

Jusqu'où peut-on modéliser le « *temps des structures sociales* », de leur *émergence* et de leur *assimilation* dans les « *consciences* », *individuelles et collectives*? Lorsque l'on adopte une telle perspective temporelle, qu'est-ce qui relève de l'interprétation humaine, et que sait-on effectivement modéliser ? Peut-on définir des « *patterns* » de modélisation qui favorisent et clarifient les conditions d'interprétation ? Lorsque l'on adopte un point de vue temporel « *génétique* », où le *changement social* et l'*évolution des représentations* se trouvent au cœur du processus, la dimension de la « *conscience collective* » dont il sera question sera bien entendu celle d'une « *conscience historique* ». Mais dans quelle mesure une telle « conscience » est-elle modélisable - si elle l'est ? Cette question concerne donc

aussi bien le problème du modélisateur que celui de l'agent modélisé. Elle pose aussi le problème de l'identification de ce qui est formalisable et relève du modélisateur et de ce qui ne l'est pas et relève de l'interprétation du simulateur. Pour éclairer ces questions, il n'est pas inutile de chercher des fondements philosophiques et méthodologiques pertinents pour conceptualiser un *processus cognitif et social* qui va de l'identification (individuelle) des phénomènes sociaux émergents à leur assimilation dans ce qu'il est convenu d'appeler les « représentations collectives », dont la « conscience historique » est une des dimensions.

Quels fondements ontologiques et épistémiques pour la modélisation « historique » des sociétés d'agents artificiels ?

Le « temps » est une notion polysémique, comme le rappelle Chenet (2000), qui liste une quantité impressionnante des questions liées à cette notion. Pour restreindre notre perspective, le *Vocabulaire philosophique* (Lalande) en propose déjà trois, auxquelles il faudrait ajouter l'énumération de deux grands types de relations et propriétés temporelles issue de la perspective anglo-saxonne de philosophie analytique, appelées par McTaggart « série A » et « B » (Engel, 2000 ; Audi 1999). La définition du « temps » que nous avons retenue est celle d'un « *changement continu par lequel le présent devient le passé* » (Lalande définition B). Plus précisément, s'agissant de la modélisation d'actions humaines, on se place du *point de vue d'un observateur humain* capable de forger des projets ou des anticipations sur l'avenir. Ces changements se traduisent alors par un « *processus historique par lesquels le temps transforme en un passé unique la multiplicité des avènements possibles* » (Lesourne, 1991 p.8) Remarquons que cette dernière définition, que nous retenons, suggère un enchaînement irréversible dans les événements et appelle déjà une clarification ontologique sur la nature du « temps » ainsi conçu ; elle est en effet déjà plus spécifique que la définition « B » du Lalande précédemment citée ou encore que les opérateurs temporels de la philosophie analytique.

Deux dimensions sont sous-jacentes dans la définition proposée par Lesourne d'un *processus historique*. Une dimension *subjective* d'abord, car seul l'esprit (pris pour l'instant dans sa définition commune, qui sera discutée plus précisément plus loin) a la capacité de former ces états de conscience que sont les représentations de l'avenir. Le « *temps de l'histoire* » est donc d'abord un « temps vécu » ou pour le moins la conscience - par nature subjective - du « *changement continu par lequel le présent devient le passé* ». Une dimension plus « objective » ou pour le moins « interactive », ensuite, qui plonge le sujet dans son environnement. Dans cette dimension, l'environnement aussi bien que le sujet sont soumis au processus de changement qui sélectionne parmi les possibles un état particulier qui deviendra un passé unique. La question de la « réalité » de cette évolution temporelle qui s'impose au sujet dans ce processus historique se pose alors d'un double point de vue ontologique et épistémique. A quelle « réalité » se réfère le « temps » du processus historique ? Le temps est-il une propriété de l'objet (ici l'environnement) qui existe indépendamment du sujet ou une abstraction de cette propriété ? S'agit-il plutôt d'une pure idéalité ? Pour dépasser l'opposition classique entre « réalisme » et « idéalisme », on recourt à la dimension intersubjective de la *temporalité vécue*, fondé

sur les interactions langagières qui nous conduisent à une *temporalité sociale*. Les notions « d'historicité » et de « conscience historique », qui proviennent d'une longue tradition de la philosophie allemande qui va du romantisme à l'herméneutique contemporaine en passant par la phénoménologie, sont introduites à travers la hiérarchie des modes de temporalité proposée par Heidegger (1927) et l'herméneutique de Gadamer (1960, 1963). La confrontation entre cette tradition et les approches anglo-saxonnes issues de la tradition analytique, représente, au niveau philosophique, un contrepoint de notre question de dualisme méthodologique². Finalement, la prise en compte du changement social et l'évolution des représentations dans une temporalité « sociale » conduit à un point de vue temporel « génétique », dans lequel la conscience collective de la relativité du temps présent conduit à une « conscience historique ».

Concevoir et formaliser l'émergence structurelle comme un processus historique, interactif et cognitif

Dans un second temps, on rappelle les avancées réalisées et les limites rencontrées par les modélisateurs multi-agents dans ce domaine (par ex : Axtell, 2000 ; Gilbert, 1995, Muller, 2000, 2002 ; Ferber et al. 1997), en les replaçant rapidement dans le débat de sciences cognitives sous-jacent (Amy et alii, 1992, Gardner, 1985), en particulier en ce qui concerne les questions de « philosophie de l'esprit » (Engel, 1994, Pinkas ; 1995). Une des caractéristiques distinctives de la dynamique des systèmes d'agents en interactions, considérés comme des systèmes complexes adaptatifs, réside dans la propriété d'*émergence* entendue comme *l'identification par un observateur de nouvelles régularités associées à un processus qui ne peuvent être déduites à partir de la connaissance de seules propriétés des éléments (agents) constitutifs du système*. Pour l'observateur extérieur (modélisateur, simulateur-expérimentateur) l'émergence de telles structures constitue une manifestation temporelle au sens évoqué ci-dessus. De manière complémentaire, la construction d'une *perspective temporelle endogène* par les agents eux-mêmes, placés en position d'observateur du processus auquel ils participent, pourrait résulter de la modélisation d'une démarche d'observation et de cognition - à spécifier. Cette démarche pourrait avoir la propriété d'*identifier* dans le processus de tels phénomènes émergents, de *les interpréter*, de *les qualifier* et d'*en partager la représentation* avec d'autres agents. Au niveau de la modélisation des structures cognitives, les conséquences de cette démarche pourraient être elle-même identifiées comme un phénomène émergent. Une telle perspective pose de nombreux problèmes bien connus des philosophes : questions ontologiques sur la nature des « faits sociaux », la « réalité » des « représentations », etc... questions épistémiques sur le processus de connaissance, l'unicité ou la pluralité des méthodes scientifiques, la spécificité des sciences humaines, la possibilité ou l'impossibilité du réductionnisme etc... Nous n'abordons dans cette section que la discussion sur la portée et les limites de la

² Un autre dimension de cette question est abordé dans le débat entre le neuro-physiologiste Jean Pierre Changeux et le philosophe Paul Ricoeur (Changeux, Ricoeur, 2000)

formalisation et de la représentation des structures génératives, selon un point de vue inspiré du structuralisme génétique de Piaget, et discuté par Ducret, Schachner (1992 a et b).

Sur les structures mentales et constructivisme social : quelle place pour le « temps de l'histoire » ?

La troisième section reporte les problèmes de réductionnisme et de philosophie de l'esprit évoqués dans la seconde section à la question de la pluralité ou de l'unicité des approches en sciences sociales. Constatant un manque de fondement ontologique pour les faits sociaux, la discussion du point de vue proposé par Searle dans « la construction de la réalité sociale » permet de faire le lien avec plusieurs questions soulevées dans les deux premières sections, tout en constatant que cette construction logique ignore la dimension temporelle, sans cependant être incompatible avec cette dernière dimension. L'introduction de la dimension temporelle sera discutée à un niveau d'abstraction moins élevé, à partir des travaux de Munck (1999) qui propose de dépasser certaines limitations de Searle en introduisant à la fois une dimension cognitive et temporelle

1 - Sur les questions philosophiques posées par la modélisation « informatique » et « sociale » : quels fondements ontologiques et épistémiques pour la modélisation « historique » des sociétés artificielles d'agents cognitifs: ?

De nombreux théoriciens des systèmes multi-agents, ou plus généralement de chercheurs qui adoptent une perspective « émergentistes », revendiquent une approche « constructiviste ». Cette approche est parfois complétée par un « relativisme » fort qui se traduit parfois par un rejet de tout « réalisme ». Par ailleurs, un autre courant très présent dans les sciences cognitives cherche à ancrer de manière univoque toute activité mentale dans ses bases matérielles, par une « naturalisation » de l'esprit. L'articulation entre ces points de vues ne va d'autant pas de soi que la « philosophie spontanée des savants » n'utilise souvent que des emprunts « locaux » dans les vastes débats qui animent la communauté des philosophes. Pour essayer de clarifier ces questions, cette section est consacrée, à partir de travaux de philosophes, à un essai de définition plus précise du contenu exact que l'on peut donner à certains concepts, en particulier selon le contexte où ils sont employés. Cette tentative de clarification permet de faire ressortir les problèmes et peut aider à dépasser d'apparentes contradictions.

Ainsi par exemple, certains modélisateurs en systèmes multi-agents cherchent à se rattacher à des épistémologies explicitement qualifiées de « constructivistes » (Watzlawick, 1981 ; Le Moigne, 1995, 2001) et rejettent le « réalisme » (par ex : Ferber J. Guérin V., 2002). De même, Ducret, Schachner, (1992a), comme nous le verrons plus loin, lorsqu'ils discutent du rapport entre émergence et constructivisme se placent dans une perspective post kantienne³ Dans cette perspective, il est intéressant de souligner que si l'idéalisme transcendantal de Kant est parfaitement compatible avec un *relativisme*

³ Ce n'est pas le cas de Le Moigne, qui ignore Kant dans son ouvrage de 2001 sur le constructivisme.

épistémique (c'est à dire relatif au procès de formation des connaissances), il n'est pas incompatible non plus avec un *réalisme ontologique*, puisque les « choses en soi » peuvent exister en dehors de l'esprit, bien qu'elles ne lui soient pas accessibles, contrairement à leur manifestation phénoménale⁴. Pour clarifier de telles questions, on présente d'abord l'opposition classique entre « *réalité* » et « *idéalité* » du temps, puis on discute *l'expérience* du temps et de la socialisation, avec le « *temps vécu* » et « *temps social* », ce qui nous conduira à la dimension culturelle et historique des temporalités, avec les notions « *d'historicité* » et de « *conscience historique* ».

1.1. Réalité ou idéalité du temps

Pour les philosophes, le « temps » est-il de l'ordre de la réalité ou est-il un pur produit de l'esprit ? Chenet (2000) organise la présentation de cette question en discutant principalement des positions aristotéliennes, kantiennes et hégéliennes.

Selon Aristote, le temps est une caractéristique du monde réel, associé au mouvement ainsi qu'au changement, mais cependant mais distinct. Le *temps caractérise le mouvement*, et nous permet d'en mesurer la vitesse. Notre perception du temps relève de l'ordre de la représentation qui associe le sujet à l'objet, mais il existe dans le mouvement même des objets, indépendamment de la perception que l'on peut en avoir. Sa nature réside dans son altérité qui lui permet d'étalonner l'ordre du mouvement et nous permet d'en établir une mesure. Le temps est « quelque chose du mouvement ». Au niveau subjectif, la *perception du changement* suppose celle du temps, vu comme une succession d'instant⁵ établissant un rapport d'antériorité et de postérité : « c'est par l'articulation de l'avant et de l'après, c'est à dire d'un ordre de succession, que nous percevons le temps » (Chenet, 2000 p. 61). Le temps peut alors être défini comme le « nombre du mouvement selon l'antérieur et le postérieur ». Si le temps mesure donc les mouvement, ce dernier se fonde finalement sur quatre changements dans les catégories : (1) « génération » ou « corruption » de l'être ou de sa substance, (2) variation quantitative ou (3) qualitative (3) déplacement spatial. Finalement, selon Chenet, pour Aristote, la dimension spatiale est logiquement antérieure à la dimension temporelle : « c'est parce que l'antérieur-postérieur selon le lieu existe que l'antérieur-postérieur temporel peut exister, un rapport d'analogie s'établissant entre eux » (op. cit. p. 62).

A la position réaliste d'Aristote, on peut opposer l'idéalisme transcendantal de Kant. Il s'agit d'un *idéalisme épistémique*, appliqué au processus de connaissance lui même, mais non à la réalité empirique qui existe en soi en dehors de nous, bien que partiellement inaccessible à notre connaissance (phénomènes / noumènes). Selon le principe de *l'idéalisme transcendantal* : « toutes les choses que nous intuitionnons dans l'espace ou le temps (...) ne sont que des phénomènes, c'est à dire de pures représentations » (Esthétique transcendantale)

⁴ Cette position est à rapprocher de celle de certains physiciens qui prônent un réalisme « affaibli » face aux problèmes épistémiques liés à la physique quantique (D'Espagnat, 2X, Zwirn, 2000)

⁵ sur l'aporie ontologique du temps liée à l'instant, cf. Chenet, 2000, Bachelard (1931)

Selon cette perspective, le temps n'est pas une propriété des objets dont nous aurions une connaissance subjective limitée, ou une abstraction construite par le sujet, mais une *forme a priori de l'intuition*, c'est à dire une *composante subjective a priori* associée à la sensibilité et à l'entendement. Plus précisément, le temps participe au rôle médiateur des « schèmes transcendants » qui font le lien entre la sensibilité et l'entendement. Il permet en effet de définir le mode d'être des catégories *a priori* de l'entendement au moyen de ces schèmes, et rend donc possible l'application de ces catégories aux phénomènes sensibles. Le temps peut donc être vu à travers la manière dont il détermine *a priori* les quatre types de schèmes kantien en rapport avec les quatre catégories *a priori* de l'entendement (grandeur, qualité, relation, modalité). Les schèmes sont ainsi des « déterminations transcendantales du temps » dans l'organisation de la succession des phénomènes. Dans l'ordre des quantités (1), le temps permet de sérier les phénomènes, de les mesurer ; dans l'ordre des qualités (2), il permet d'apprécier le contenu temporel des phénomènes le degré de « remplissage » du temps ; dans l'ordre de la *mise en relation des phénomènes* (3) il permet de mettre en évidence un *ordre temporel* : permanence, succession, et simultanéité (associée à une causalité orientée ou réciproque) ; le temps permet enfin de qualifier les phénomènes par rapport aux catégories associées à l'ordre de la modalité (4) : possibilité, réalité, nécessité. Enfin, le temps participe au système des principes qui conditionnent l'expérience sensible (axiomes de l'intuition, anticipations de la perception, analogies de l'expérience et postulats de la pensée empirique). En résumé, chez Kant la connaissance des phénomènes réels se réduirait à une « rhapsodie de sensations » si elle n'était structurée par des « formes » *a priori* projetées par l'esprit, comme le temps. Ce dernier joue ainsi un rôle de « metteur en scène de nos représentations » (Schopenhauer).

Suivant Chenet (2000) il nous faut reconnaître l'insuffisance de ces deux approches du temps. Indépendamment des critiques qui ont été adressées à l'a-priorisme, l'idéalisme kantien méconnaît le *caractère « englobant » du temps*, qui ne se limite pas à être une émanation « ni pensée ni pensable » de notre conscience, mais qui domine notre être aussi bien que la succession des états du monde dans des processus irréversibles, de telle manière que son flux ne s'interrompt pas avec l'extinction de la conscience qui survient inévitablement dans l'existence de tout être humain. La méconnaissance de cette extériorité commence avec une insuffisante prise en compte du principal vecteur de la prise de conscience de cette finitude de l'être : le caractère interactif, social et finalement « culturel » de la conscience et de la conscience du temps. Le réalisme, lui « méconnaît que nous ne pourrions rien dire du temps sans l'intériorisation qu'il subit dans la conscience » (op. cit. p.23). Ici encore, en plus de la dimension subjective, les dimensions interactives, sociales et culturelles sont négligées.

1.2. L'expérience du temps et la socialisation (temps vécu et temps social)

Dans toutes les sociétés du monde, l'expérience du temps est au moins indissociable de l'expérience de la mort, comme nous le verrons plus loin avec Heidegger. Mais au-delà de cette phénoménologie existentialiste, cette expérience est aussi, et peut être avant tout, une

expérience collective. En l'absence de la prise en compte de l'autre (dimensions interactives et sociales) on se trouve en présence d'un « non événement » puisqu'une position *solipsiste* conduirait logiquement à l'aphorisme de Wittgenstein, ou la mort est une forme de fin du temps, au sens où la conscience ne perçoit pas (plus) de changement dans le monde : ... « à la mort, le monde ne change pas, mais cesse » (Tractatus, 6.4311). Ainsi, la conscience du temps associée à la mort concerne la mort des autres, et l'anticipation à travers les autres de sa propre mort puisqu'on ne vit pas (les effets de) cette dernière.

Avec l'expérience vécue du temps physiologique, de l'irrévocabilité du passé et de l'imprévisibilité de l'avenir, le sujet humain expérimente un double mouvement « d'arrachement à soi » et de dilution dans le collectif. Le premier mouvement consiste « dans la scission, la distance par laquelle chaque nouveau présent, en survenant, éloigne de lui-même le présent récent, lequel, en retour, s'enfonce dans le passé, tout en restant retenu par le présent nouveau, qui s'en distingue » (Chenet, 2000, p. 9). Le second mouvement résulte du *processus interpersonnel de diffusion « culturelle » des idées et des expériences au sein de la communauté*, processus organisé en particulier par le rôle que peuvent jouer les individus dans la communauté en fonction de leur âge et de la conscience qu'il en ont.

Ce processus passe par la transmission intergénérationnelle de la culture qui assure, avec la reproduction biologique du groupe et de l'espèce, la reproduction de la culture dont il est porteur. Ici encore, des représentations extrêmes de ce processus collectif ont été proposées. Pour l'idéalisme absolu de Hegel, l'individu est finalement dissout dans « l'esprit absolu ». A l'autre extrémité, pour un naturaliste évolutionniste comme Dawkins (1976), l'homme est dissout dans les gènes dont il est porteur. Mais cet auteur propose également un support pour l'analyse de la diffusion culturelle, avec les « mêmes », dont le principe a été repris par « *journal of memetics* ». Finalement, pour Sperber (1996), les idées se diffusent à un niveau infra-individuel. Une telle démarche impose, nous dit-il, de prendre en compte les comportements involontaires aussi bien que les comportements volontaires. En effet, « *on tient pour acquis aujourd'hui, en psychologie cognitive, que les processus mentaux sont pour la plupart inconscients* » (Sperber, 1997, p. 123). Ce dernier prend l'exemple de la *linguistique historique* qui utilise comme unité d'analyse infra-individuelle les *actes de paroles*, ce qui lui permet d'intégrer dans les comportements verbaux qui causent l'évolution des langues des actes involontaires.

« aussi volontaire que soit une action, elle comporte toujours des aspects involontaires dont les effets causaux ne sont pas a priori moindres que ceux des aspects volontaires (...) L'évolution d'une langue est donc l'effet involontaire des aspects intentionnels aussi bien qu'inintentionnels de cette action intentionnelle par excellence qu'est la parole ». (op.cit. p.130).

Selon Sperber, cette position naturaliste hiérarchisée en niveau n'entraîne pas nécessairement un réductionnisme, à condition de *penser l'articulation entre niveaux* :

« *Le naturalisme n'est pas en lui même un réductionnisme. Il ne demande pas que les niveaux supérieurs soient rabattus sur les niveaux inférieurs. Il demande en revanche que des passerelles soient jetées entre les niveaux. Pour qu'il en aille ainsi, il faut décrire chaque niveau d'une manière qui permette de le mettre en rapport avec les niveaux voisins* » (Sperber, 1997 p.126).

On peut ainsi penser la dynamique temporelle du vivant selon trois couches interdépendantes superposées. Au niveau de tous les êtres vivants s'exerce la sélection naturelle, que l'on représente comme processus phylogénétique entre les espèces. Pour ceux qui sont capables de communication culturelle, une dimension sociogénétique vient s'ajouter au sein de chaque espèce. Parmi ces derniers, les capacités réflexives du langage ajoutent une dimension ontogénétique, avec le développement humain au long de la vie.

Notons que l'on peut le rapprocher ces niveaux selon la métaphore des différents étages de la « *Tower of Generate-and-Test* » de Dennett (1996). Ce dernier figure à chaque étage de nouvelles capacités qui viennent s'ajouter aux précédentes. Le premier étage est composé des *créatures darwiniennes*, soit l'ensemble des créatures vivantes soumises au processus de sélection naturelle. Une créature uniquement darwinienne est caractérisée par un *phénotype rigide*. Le second étage comprend un sous ensemble des premières, les *créatures skinériennes*, douées d'un *phénotype adaptable*, qui permet un apprentissage par renforcement. Pour ces créatures, la capacité héritée à modifier son comportement par conditionnement progressif constitue une capacité supplémentaire elle-même soumise à la sélection. Au troisième étage on trouve les *créatures popperiennes*, qui sont capables de présélectionner leurs actions sur la base d'une information disponible par héritage ou par acquisition, et au dernier étage on trouve les *créatures grégoriennes*, qui améliorent leurs performances individuelles grâce à des outils, dont ces outils particuliers que sont les « mots ». La *transmission culturelle* concerne ici dans une faible mesure les créatures popperiennes, et dans une large mesure les créatures grégoriennes. La transmission culturelle de l'utilisation des outils n'est pas le propre de l'homme. elle concerne également les primates. Par exemple certains « foyers culturels » de chimpanzés savent utiliser des bâtons pour manger des termites, alors que d'autres ignorent cette possibilité (Dennett op. cit. p.133-134). L'activité langagière, qui utilisent ces « outils particuliers que sont les mots » ne concerne donc qu'un sous ensemble des créatures grégoriennes.

On peut considérer ces catégorisations comme la projection subjective de structures « historiques » de plus en plus complexes sur des « objets » vivants. La « subjectivité » de la projection de ces structures provient du fait que cette catégorisation n'est pas inhérente à l'objet, *mais relative à l'observateur*, selon le point de vue de Searle (1992, 1995) que l'on développera plus tard. La catégorisation résulte ici de l'*intentionnalité*, qui désigne la *capacité de se représenter des objets et des états du monde*. La dimension « historique » de cette structuration provient d'une conscience particulière que nous avons des différentes temporalités que l'on peut associer à cette structuration grâce à des *références culturelles accumulées* depuis des générations grâce au langage, puis à l'écriture. La notion d'histoire est en effet récente dans la race humaine. La conscience de la relativité du temps présent, désignée sous le nom de « *conscience historique* » dans la philosophie

allemande est encore plus récente, comme nous allons le voir. Cette conscience particulière correspond à une nouvelle étape dans la vision du monde, sous ses aspects temporels.

1.3. la dimension culturelle et historique des temporalités et la « conscience historique »

Alors que les approches aristotéliennes et kantiennes du temps visent à une certaine généralité an-historique et omettent les dimensions interactives, sociales et culturelles de la temporalité, nous avons vu que l'expérience du temps était aussi « culturelle » au sens où la conscience de l'opposition entre la permanence et le changement comporte des dimensions interactives, sociales et culturelles. Cette dimension collective de la culture représente une possibilité de dépassement de l'opposition entre le réalisme et l'idéalisme, dans la mesure où elle introduit une nouvelle dimension collective dans la dimension temporelle de la subjectivité : la mémoire « collective » (et l'oubli), le *récit* comme acte de communication, mais aussi comme moyen de « transposition temporelle », la conscience de l'historicité des sociétés. Le *langage* et la *conscience historique* représentent deux éléments de cette dimension « culturelle ».

Nous désignerons par « *historicité* » une double perspective. La première conduit à la prise de conscience par le sujet de la singularité de sa situation présente dans son environnement, ainsi que de son caractère relatif. Nous qualifierons cette perspective, avec Gadamer (1963) de « conscience historique ». La seconde perspective se réfère à la prise de conscience des changements qui accompagnent le processus temporel par lequel « *le présent devient le passé* ». Dans cette dimension, l'environnement aussi bien que le sujet sont soumis au processus de changement qui sélectionne parmi les futur possibles un état particulier qui deviendra un passé unique.

Cette dimension « historique » trouve ses racines dans la tradition philosophique germanique, qui va de la période « romantique » à l'herméneutique contemporaine, en passant par la phénoménologie de Husserl et de Heidegger. Nous retiendrons ici une importante distinction de ce dernier auteur, qui structure son ouvrage « Être et temps » (1927). Heidegger propose dans cet ouvrage une hiérarchisation originale des modes de temporalisation et de leur dérivation relative qui va nous ouvrir des perspectives intéressantes d'un point de vue méthodologique. La perspective de départ est celle de l'*existence*, qui rend compte de l'engagement du sujet dans le monde. Dans la *temporalité fondamentale*, celle du *souci*, la catégorie centrale de Heidegger, le *Dasein* (être-la) est confronté à son futur, et à l'horizon indépassable de ce dernier : la mort. C'est pourquoi il décrit la dimension de l'*être-pour-la-mort*. Une seconde dimension, qui est précisément celle de l'*historicité*, se réfère ici à l'intervalle qui sépare la naissance de la mort, et décrit la dimension de l'*être-en-dette* (au sens de l'héritage de l'histoire). La dernière dimension, celle de l'*intratemporalité* ou *être-dans-le-temps*, confronte le *Dasein* à l'histoire en train de se faire. Elle correspond à une conception « vulgaire » qui, selon Heidegger, a caractérisé toutes les philosophies du temps de Aristote à Hegel. Dans cette dimension opératoire, le temps est ramené à une suite de moments.

Chez Gadamer (1960, 1963) la « conscience historique » désigne un sentiment récent de relativisme historique chez l'homme moderne : « nous entendons par « conscience historique » le privilège de l'homme moderne : celui d'avoir pleinement conscience de l'historicité de tout présent et de la relativité de toutes les opinions » (1963 p.23). La temporalité de l'historicité au sens de Gadamer est plutôt celle de la culture reçue, désignée comme « tradition ». L'horizon temporel correspondant est plus ici celui de la génération (une décennie dans la période récente, selon Salanskis, (2003). On ne cherchera pas à trancher ici entre l'horizon de Heidegger et celui de Gadamer, mais on retiendra le principe de l'articulation entre deux niveaux cognitifs de temporalité. Au premier niveau, figure le temps opératoire, et le processus cognitif associé pourrait, par exemple, être décrit selon la procédure suggérée par Dessalles, Ghadakpour dans leur contribution sur « La construction cognitive du temps » (cette session de Rochebrune). Un second niveau cognitif resterait donc à construire, pour rendre compte à la fois de la structure de la « dette » constituée par la « mémoire sociale accumulée » et de la relativité « historique » des évènements du niveau inférieur.

L'historicité que traduit l'émergence de cette « conscience historique » représente une nouvelle dimension « culturelle » du temps dans les consciences humaines. L'idée en a été avancée par de nombreux auteurs qui ont opposé les sociétés « sans histoires » aux sociétés modernes⁶. Selon Chenet (2000) les sociétés historiques sont « prométhéennes », car elles « enveloppent dans leur sein un déséquilibre qui les vouent, de par leur dynamique sociale, à se transformer sur un mode cumulatif au point qu'elles intériorisent l'histoire pour en faire le moteur de leur développement » (op.cit.ch5).

Pour en revenir à Gadamer, la principale caractéristique de la « conscience historique » est de conduire à une attitude réflexive à l'égard de la « tradition ». Cette démarche réflexive vis à vis de la « tradition » est qualifiée par Gadamer « d'interprétation » : « Nous parlons d'interprétation lorsque la signification d'un texte ne se comprend pas d'emblée. une interprétation est alors nécessaire ; en d'autres termes, il faut une réflexion explicite sur les conditions qui font que le texte a telle ou telle signification » (Gadamer 1963, red. 1996 p.25). L'interprétation suit alors, selon Salanskis (2003) un « itinéraire typique de la pensée en situation », qui peut commencer par une question (la « flèche » pour Salanskis), se poursuit par une recherche itérative de la compréhension, au sein du « cercle herméneutique qui repose sur deux piliers qui renvoient l'un à l'autre. Le premier traite des significations locales, « l'élucidation du particulier », mais présuppose que ces dernières soient éclairées par une compréhension globale du « tout ». Le second traite de la construction d'une signification globale (« l'ébauche du tout »), mais cela présuppose un assemblage de significations locales pré-établies. Ce processus circulaire doit être amorcé par des « pré-jugés », qui se fondent chez Gadamer, sur la « tradition ». Mais loin d'être un donné, cette *tradition est un processus*, que l'interprète enrichit par son

⁶ Cf. par exemple l'opposition de Levi Strauss (1958) entre les *sociétés froides*, caractérisées par des dynamiques de reproduction « mécaniques et réversibles » et les *société chaudes* gouvernées par les principes d'une thermodynamique sociale, avec des dynamiques caractérisées par la production d'entropie et d'irréversibilités

expérience, au cours du « dialogue » que représente l'itinéraire herméneutique. Ce dernier se termine enfin par la communication (par la « parole ») des résultats du processus.

On oppose généralement la tradition analytique anglo-saxonne et la tradition continentale phénoménologique – herméneutique. La première serait plus compatible avec la formalisation que la seconde, jugée plus discursive. Salanskis, (2003) a exploré quelques pistes de formalisation de l'interprétation et a évalué leur degré de compatibilité avec les principes de l'herméneutique. Dans la section suivante, on suggère que les notions de structures génératives et d'émergence pourraient ouvrir des pistes possibles pour la formalisation d'une certaine forme « d'historicité ».

2 - Pour une modélisation « historique » des sociétés artificielles d'agents cognitifs: concevoir et formaliser l'émergence comme processus historique, interactif, génétique et cognitif

Selon Bonabeau, (1994), la construction de *systèmes artificiels fondés sur des agents autonomes* permet d'abstraire des différents systèmes naturels des propriétés formelles analogues. Cette approche repose sur l'identification des propriétés dynamiques (comme par exemple l'existence d'attracteurs) liées aux interactions entre les agents (éléments du système) et aux effets de ces interactions sur les agents eux-mêmes et sur le collectif qu'ils forment (phénomènes et structures émergentes). Il s'agit donc d'une approche qui peut être située à un niveau élevé d'abstraction. Jusqu'à quel point les propriétés de tels modèles abstraits, conçus indépendamment des contingences matérielles associées aux systèmes réels, peuvent-ils être compatibles avec une spécification progressive des caractéristiques humaines (comme les choix basés sur des représentations épistémiques de l'environnement) et historiques du système (structures sociales et institutionnelles) ? Cette question peut être déclinée selon trois axes. Une question d'implémentation sur *les limites du modélisable* (1), renvoie elle-même à des questions plus profondes sur *l'articulation entre la démarche universaliste du modélisateur et la démarche interprétative appliquée aux situations spécifiques des individus et des phénomènes sociaux et historiques* (2). Enfin, dans le domaine de la modélisation de ce qui est implémentable, se pose au niveau des propriétés des modèles la question de savoir *dans quelle mesure l'enrichissement contextuel reste compatible avec des résultats génériques correspondant à des niveaux d'abstraction plus élevés* (3).

Dans la modélisation du « *temps des structures sociales* », la question de « l'émergence » apparaît centrale ; mais cette notion reste dans une certaine mesure polysémique. Comme c'est bien le *temps* et non l'*émergence* qui est l'objet de notre propos, nous voudrions juste souligner ici quelques points qui pourront servir pour la suite de l'argumentation. On trouve des discussions plus générales par exemple dans Amy *et alii* (1992) ou encore Intellica (1997-2). Nous reprenons pour commencer trois thèmes introduits par Müller (2000). Les deux premiers thèmes sont d'ordre philosophiques. Il s'agit de l'émergentisme philosophique britannique, puis de l'émergence au sens de Searle (1992). Nous discutons particulièrement des implications des thèses de Searle sur la nature de la conscience et des conséquences de son approche sur les limites de la modélisation informatique et sur la

« conscience du temps ». On présente ensuite une définition de l'émergence pour les systèmes multi-agents proposée par Müller qui donne un *rôle central à l'observation du phénomène*, puis nous approfondissons la question du rôle de l'observation en discutant de la *détection* des phénomènes émergents (Bonabeau et Dessalles, 1992). Finalement, on discute dans une dernière section avec Ducret et Schachner (1992a,b) de la portée et des limites de la formalisation et de la représentation des structures génératives, selon un point de vue inspiré de la démarche génétique-constructiviste de Piaget, qu'il s'agisse de la *psychologie et de l'épistémologie génétique* (1937, 1968, 1979), qui intègre en particulier la formation de la notion de temps chez l'enfant (1973).

2.1. *L'émergentisme philosophique britannique, le réductionnisme, le « dualisme naturaliste » de Searle et ses conséquences temporelles.*

Il existe en philosophie une approche « britannique » l'émergentisme que l'on fait en général remonter au chapitre de Mills (1843) sur la « composition des causes » et que l'on trouve en particulier chez Morgan (1923) ou Broad (1923). On trouvera par exemple dans Mc Laughlin (1997) une présentation de ces auteurs ainsi qu'une discussion des contributions plus récentes, comme celle de Nagel (1961). La principale question soulevée est ici celle du réductionnisme. Selon ces approches, on peut organiser les sciences en niveaux articulés entre eux, de complexité organisationnelle croissante, le niveau physique étant le niveau primaire. Toute la question est alors de savoir s'il est possible d'*expliquer* les phénomènes et les entités observés à un niveau par des relations causales identifiables au niveau immédiatement inférieur. On qualifiera d'*émergent* un phénomène ou une entité qui trouve son origine au niveau antérieur. Si une entité émergente à partir d'un niveau d'organisation (N) possède au niveau supérieur (N+1) des propriétés ontologiques qui empêchent la réduction à des entités du niveau précédent (N), alors il y a *émergence ontologique*, et on ne peut réduire ontologiquement le niveau (N+1) au niveau inférieur (N). Searle (1995) distingue cette réduction ontologique de la réduction causale : l'émergence ontologique peut selon lui être expliquée dans l'ordre des causes par des interactions entre des entités du niveau inférieur, sans qu'il soit possible pratiquement de déduire les propriétés des entités émergentes de ce système. Enfin, Il y a uniquement émergence épistémique, lorsque l'on utilise juste les entités de niveau (N+1) dans le processus de connaissance par commodité, mais où elles pourraient être ontologiquement réduites à une combinaison explicable d'entité du niveau inférieur.

Par exemple, en matière de philosophie de l'esprit, on oppose classiquement le dualisme cartésien du corps et de l'esprit et les théories matérialistes (ou naturalistes). Selon cette dernière approche, la conscience émane du corps humain lequel est composé d'entités biologiques, elles-mêmes composées de corps chimiques etc... Dans une perspective réductionniste, on peut réduire le biologique au chimique, le chimique au physique. Une version extrême, le *réductionnisme l'éliminationniste* (Chrurchland, 1981), réduit la conscience aux états mentaux, lesquels sont réductibles à leurs composants biologiques etc... *Selon ce point de vue, il n'y a plus d'esprit, ce qui implique également une conception particulière du temps*, comme on le verra plus loin.

La philosophie de Searle, que l'on expose plus loin, considère au contraire que le naturalisme n'implique pas nécessairement une telle élimination de la conscience, en effet, selon lui : « il n'y a pas à naturaliser la conscience, car elle est naturelle au même titre que la digestion ou la photosynthèse » (Searle, 2000). La conception de la conscience et de l'intentionnalité comme des *structures ontologiquement émergentes* des micro structures du cerveau de niveau moins élevé, permet à Searle de proposer une perspective non-réductionniste de la conscience tout en gardant un point de vue naturaliste. Dans Searle (1992) la distinction ontologique fondatrice de la conscience n'est plus entre l'esprit et la matière, comme chez Descartes, mais entre les entités (ou les objets) qui existent *indépendamment d'un observateur* et ceux qui sont *relatifs à l'interprétation de l'observateur*. Si l'on retient cette ontologie, on peut en tirer deux conséquences. Premièrement, on peut définir la « *conscience historique* » chère à l'approche continentale de la tradition herméneutique comme une *interprétation de l'observateur* (ou plus exactement une interprétation partagée d'une certaine manière par les observateurs) *relative à la temporalité* (au sens retenu ici) *de son environnement*, donnant ainsi au « temps » une *dimension intrinsèquement subjective*.

Mais dans quelle mesure est-il alors possible de modéliser cette forme de « temps » dans un modèle multi-agents ? La seconde conséquence de la position de Searle implique dans l'analyse des phénomènes sociaux et humains la séparation d'un niveau interprétatif et d'un niveau symbolique à base matérielle. Elle pose le problème de la possibilité même d'une intelligence artificielle, développé par Searle autour de son argument de la « chambre chinoise » avancé lors d'un séminaire à Yale en 1971 (par ex Searle 1992, 2000). Selon cet argument, qui a comme objectif de montrer que le cerveau ne peut être assimilé à un ordinateur, manipuler des symboles n'implique pas la capacité à leur donner une signification. Ainsi un programme informatique ne fait sens que si un observateur lui a assigné une interprétation. Ce niveau interprétatif est central également dans la notion d'émergence.

Selon Searle, *l'émergence causale* concerne des caractéristiques d'un système « qui ne peuvent se concevoir à partir de la seule composition des éléments et des seules relations environnementales ; il faut les expliquer en terme des interactions causales qui se produisent entre les éléments » (Searle, 1992 édition fr. 1995, p. 160). Searle se sert de cette définition de l'émergence pour caractériser la conscience comme une « caractéristique causalement émergente » du système neuronal : « l'existence de la conscience peut s'expliquer par les interactions causales entre des éléments du cerveau au micro niveau, mais la conscience ne peut, elle même, se déduire ou se calculer à partir de la simple structure physique des neurones sans autre explication des relations causales existant entre eux » (id.). Searle distingue, comme nous l'avons déjà signalé, réduction causale et réduction ontologique. Dans le cas de la conscience, la « subjectivité » de la conscience « à la première personne » par exemple la conscience « proustienne » de *l'irréversibilité du temps qui passe* représente « quelque chose de plus » que la description « à la troisième personne » des processus neurophysiologiques qui sous-tendent l'état correspondant. En maintenant cependant la réduction causale, Searle se défend de considérer l'émergence comme un phénomène transcendant, à l'image d'une partie de

l'émergentisme britannique. La *conscience du temps*, par exemple, est bien un phénomène émergent causée par les interactions neuronales. Elle est donc réductible à cette dimension du point de vue causal, mais elle contient une dimension subjective non réductible ontologiquement.

2.2. L'émergence comme phénomène observé dans un système à plusieurs niveaux

Pour définir l'émergence dans les SMA, Müller (2000) propose de partir d'une définition utilisée par Forrest (1990) pour le calcul émergent. Celle-ci distingue *deux niveaux*. Le niveau du *processus* et celui de *l'observation de ce processus*. Le *processus* désigne l'évolution du système observé, formé par des entités en interactions, qui *engendre des épiphénomènes* (une trace d'exécution, qui peut correspondre à une structure invariante, un attracteur de la dynamique du processus). Au niveau de l'observation, un épiphénomène est « interprété » en tant qu'émergence comme un calcul ou le résultat d'un calcul. Selon cette perspective, l'émergence intervient alors si l'identification de l'épiphénomène par le niveau d'observation entraîne une rétroaction sur le processus. Ainsi, l'épiphénomène est bien immanent au processus, mais *l'émergence nécessite un couplage du processus avec le niveau d'observation du processus*. Sur cette base, Müller propose alors la définition suivante : un phénomène est émergent si :

- Il y a un système constitué par ensemble d'agents interagissant entre eux et avec leur environnement dont la *description en tant que processus* est exprimée dans un langage *D*
- La dynamique de cet ensemble produit un *phénomène structurel global observable* dans des « trace d'exécution »
- *Le phénomène global est observé* par un observateur extérieur (émergence faible) ou par les agents eux-mêmes (émergence forte) et *décrit dans un langage distinct de D*.

Par rapport à la définition de Forrest (1990), on notera l'existence deux langages de description distincts selon le niveau considéré. Cette distinction ne fait cependant que matérialiser la différence de niveaux déjà présente chez Forrest. Par contre, il est intéressant de noter que Müller distingue le système formé par les agents en interactions dans leur environnement de la description en tant que processus de ce système, ce qui lui permet de choisir le positionnement du niveau d'observation par rapport aux agents. L'apport de Muller réside alors principalement dans la distinction entre deux catégories d'émergence selon *la position du niveau d'observation par rapport au processus*. Dans *l'émergence forte*, les agents sont partie prenante du processus tout en observant ce dernier, ce qui entraîne *de facto* une rétroaction du niveau d'observation sur le niveau du processus. L'émergence est immanente au système. Dans *l'émergence faible*, l'observateur est extérieur au processus et il n'y a pas nécessairement couplage. Müller prend l'exemple des fourmis qui se déplacent entre leur nid et une source de nourriture. Chaque fourmi dépose sur son passage des traces de phéromones qui attirent les autres fourmis, ce qui créent une interaction entre elles (1). Ces interactions font apparaître un phénomène stable et observable (2). Un observateur extérieur peut interpréter ce

phénomène comme un « chemin ». L'émergence est faible dans la mesure où la dynamique dépend uniquement des traces de phéromones (1-2) et non de la qualification de ces traces comme « chemin », qui n'existe pas dans la tête des fourmis.

On peut réinterpréter la construction de Müller à partir de la distinction de Searle entre ce qui est *indépendant de l'observateur* (le processus et les phénomènes qui en résultent) et ce qui est *relatif à l'observateur* (l'émergence comme identification et interprétation de l'épiphénomène). Selon cette interprétation, *l'émergence devient une catégorie relative à un observateur*, et donc le produit d'une conscience. En effet, selon Searle, seule une conscience peut faire preuve d'intentionnalité. L'émergence forte selon Müller suppose que les agents soient dotés de la capacité d'identifier un phénomène du processus et de le décrire dans un langage autre que celui qui sert à décrire le processus. Comme le souligne Müller, ceci suppose d'abord que chaque agent soit doté d'une capacité d'observation et que son champ d'observation soit suffisamment large pour identifier le phénomène dans sa globalité. Mais que signifie « identifier » et « décrire » ? Si l'on retient les catégories de Searle, seule la conscience est capable de faire preuve d'intentionnalité et l'ordinateur et ses programmes ne pourraient le faire, selon l'argument de la « chambre chinoise ». C'est donc bien cette dernière propriété qui est problématique. En effet, toute la question est alors : peut-on doter un agent (logiciel) d'une intentionnalité si celle-ci est un phénomène émergent non réductible ontologiquement ? Cette dernière question pourrait-elle être résolue en distinguant, à la différence de Searle, des « degrés » dans l'intentionnalité ? En effet pour Dennett (1996), l'intentionnalité, entendue comme capacité du sujet d'affecter une représentation à un objet est un phénomène présent chez de nombreuses espèces vivantes. Cependant, selon Proust (2003), même si un animal a une conscience implicite de lui-même, « il ne semble pas » qu'il soit doté d'une « conscience explicite de soi » (op. cit. p. 147) ; et même s'il peut manipuler efficacement les autres, il ne raisonnerait pas en terme explicitement psychologique. En d'autres termes, les animaux ne disposeraient pas de la capacité de réflexivité qui permet au sujet de se prendre lui-même comme objet (« je pense donc je suis »). Ceci plaide pour des « niveaux » dans la portée de l'intentionnalité et dans les formes de « conscience ». d'autres arguments qui seront évoqués plus loin, comme celui du langage semblent jouer dans ce sens. Ceci nous fournit une piste, mais nous sommes loin d'avoir résolu le problème.

Bonabeau et Dessalles (1997) proposent un approfondissement du rôle du niveau d'observation dans la définition de l'émergence qui peut nous aider à avancer en identifiant plus clairement les rapports entre l'émergence et la complexité, d'une part, et en spécifiant une formalisation du niveau d'observation d'autre part.. Bonabeau et Dessalles distinguent d'abord *l'émergence de structures d'un niveau plus élevé* (Emergence of Higher-level Structure - EHS) et *l'émergence relative à un modèle* (ERM). La première catégorie est décomposée en deux sous-catégories, selon que la structure apparaît sous l'effet de la dynamique du système (EHS-1) ou qu'elle préexiste dans le système, mais n'est pas perceptible avec les informations à la disposition de l'observateur (EHS-2) Les auteurs citent par exemple la structure fractale des rues d'une ville qui n'est

visible que vue d'avion. Ces deux notions ne sont pas exclusives l'une de l'autre, et l'on peut remarquer, dans le cas des structures produites par une dynamique temporelle, qu'elles peuvent passer inaperçues si on ne se trouve pas à un niveau pertinent d'observation (ou ce qui revient au même si on ne dispose pas d'une information suffisante). Dans ces deux sous-catégories, la notion du niveau d'observation reste donc centrale.

L'émergence relative à un modèle (ERM) survient lorsque l'évolution d'un système ne peut plus être expliquée par un certain modèle et requiert donc un nouveau modèle. Ici encore se pose la question de l'observateur, mais du point de vue des moyens d'observation (les modèles). En ramenant la question de l'observation à une question de détection multi-niveaux, les auteurs sont à même de ramener le cas ERM à un cas particulier d'ESH. Mais la distinction entre ces deux situations leur permet d'exprimer le problème de l'émergence en terme de complexité relative (à un outil d'observation). Dans ce cadre d'analyse « l'émergence peut alors être définie par rapport aux mêmes outils que ceux utilisés pour définir la complexité du système. Elle survient quand un objet ou un phénomène ne peut être détecté ou compris sans ajouter d'outils additionnels » (op. cit. p.89). dans la mesure où cette transformation permet une description plus concise du système, l'émergence peut être associée à une diminution de la complexité relative. Pour détecter les phénomènes émergents, Bonabeau et Dessalles proposent de construire une hiérarchie de détecteurs binaires interconnectés entre eux. La complexité relative du système va alors dépendre de la hiérarchie des détecteurs et de leur réseau de relation. Dans le cas EHS, l'activation d'un détecteur à un niveau N rend redondant les détecteurs de niveau N-1, ce qui est cohérent avec la relation inverse entre complexité et émergence évoquée précédemment. Dans le cas ERM, l'émergence conduit encore à une diminution de la complexité relative, mais elle est précédée d'une croissance temporaire de la complexité, car si les outils d'observation deviennent inopérants au niveau concerné, et il faut descendre d'un niveau dans le système, ce qui accroît la complexité, mais l'introduction d'un nouveau modèle permet de remonter d'un niveau et tend à ramener la complexité en-dessous de son niveau de départ. Dans cette approche, les niveaux d'observation sont structurés de l'extérieur du système considéré par la hiérarchie des détecteurs, et les relations entre complexité relative et émergence sont structurées également par cette hiérarchie du système d'observation. Il reste que ce cadre suppose que le système d'observation est totalement extérieur, ce qui correspond au cas de l'émergence « faible » selon Müller. Aller vers l'émergence « forte » suppose donc d'endogénéiser le système d'observation, par exemple au moyen d'un modèle plus large susceptible d'identifier et de qualifier dynamiquement un certain nombre de phénomènes émergents prédéfinis au moins de manière générique. Ce problème présente des similitudes avec celui des processus génératifs qui permettent d'enchaîner les structures dans le structuralisme génétique de Piaget (1968).

2.3. - Agents cognitifs et représentations formelles des structures et processus génératifs.

Dans le séminaire organisé à l'ENST en 1992 sur les phénomènes « d'émergence dans les modèles de la cognition », Ducret, Schachner (1992a) soulignaient que le terme

« émergence » ne fait pas partie du vocabulaire de Piaget, mais que son approche « constructiviste » de l'ontogenèse par l'épistémologie génétique pouvait aider à clarifier la nature de certains phénomènes émergent dans le domaine des faits psychologiques. Rappelons que l'épistémologie génétique cherche à répondre par un double perspective psychogénétique et historico-épistémique au problème de la formation de l'intelligence et de la connaissance. Cette approche cherche à la fois à rendre compte des éléments de permanence et des spécificités de catégories cognitives comme le « temps » qui nous intéresse ici. Elle intègre donc une dimension d'historicité, ou de relativisme par rapport au niveau de développement, d'un part, et par rapport aux éléments contextuels, de type culturels et sociaux d'autre part (Piaget, 1973 par ex pour « Le Développement de la notion de temps chez l'enfant »). Le *structuralisme génétique* de Piaget (1968) décrit l'ontogenèse comme une successions de formes structurelles qui se distinguent qualitativement les une des autres tout en s'enchaînant entre elles dans une dialectique entre la rupture et la continuité :

« une structure est un système de transformations⁷, qui comporte des lois en tant que système (par opposition aux propriétés des éléments) et qui se conserve et s'enrichit par le jeu même de ses transformations, sans que celles-ci aboutissent en dehors de ses frontières ou fassent appel à des éléments extérieurs. (..) Une structure comprend ainsi les trois caractères de totalité, de transformation et d'autorégulation » (1968, p.6 -7).

La définition proposée par Piaget comprend ainsi les idées d'*autonomie* et de *fermeture* (totalité) ; mais aussi une dimension dynamique (le *système de transformations*) *Le niveau de la structure possède des propriétés (lois) qui lui sont propres et qui peuvent donc être étudiées indépendamment des conditions de leur émergence.* En ce qui concerne la *morphogenèse*, elle peut être vue comme une *transition structurelle*. Il est important de noter que « *la connaissance de deux structures (de départ et d'arrivée) est nécessaire à la compréhension de la transition en tant que transformation* ». On ne peut donc prédire avec certitude l'*issue* d'un processus de transition structurelle, mais on peut toujours faire de la *rérodition*. La connaissance des propriétés génériques de la structure peuvent cependant permettre de faire des *prédictions génériques*, par exemple à partir de l'identification d'attracteurs, comme dans les processus physiques.

La morphogenèse peut également être interprétée comme un processus d'auto-organisation, en particulier dans le cas de la psychogenèse. Elle est le résultat d'un *processus d'équilibration*. Ce processus est plus que la simple « *association* » des comportements. La morphogenèse résulte alors de l'*assimilation* dans le système par la genèse de nouvelles structures. Ce processus réalise la synthèse entre la permanence des normes morales et/ou rationnelles (le continu) et le renouvellement des structures cognitives (le discontinu) comme le soulignent Ducret, Schachner (1992a). « Il y a

⁷ Un système de transformations est un « *ensemble constitué d'éléments individualisés qui, par suite des interactions intervenant entre eux, ou des actions extérieures qui leur sont imposées, voient se modifier au cours du temps certaines au moins des caractéristiques fonctionnelles qui les définissent dans l'ensemble considéré.* » (Delattre, 1977).

émergence de nouvelles compétences, de nouvelles structures de pensées, par regroupement et intégration de compétences déjà acquises. A partir de ces nouvelles structures émergentes, l'individu est amené à modifier ses comportements et ses méthodes de résolution de problèmes » (Amy, Giacommetti, Orsier « modélisation de l'émergence dans les sciences cognitives, compte rendu des journées, p.237. in Amy et al., 1992) .

Cette dialectique entre rupture et continuité permet de faire un parallèle entre la psychogenèse et la phylogenèse, entre structuration cognitive et émergence d'espèces nouvelles. Mais peut-on transposer ces catégories au niveau des dynamiques sociales ? La connaissance des propriétés structurelles et la dimension singulière de celles-ci relativement aux composantes de la structure n'excluent logiquement pas un comportement intentionnel de la part des éléments. En particulier, pour Lucien Goldman (1970), le structuralisme génétique est également un moyen théorique puissant pour dépasser l'opposition explication / compréhension dans les sciences humaines. Cette fécondité provient de la *possibilité théorique d'articuler deux perspectives différentes* :

« Le structuralisme génétique introduit des perspectives entièrement nouvelles dans la mesure où il pense que compréhension et explication ne sont pas seulement des processus intellectuellement connexes mais un seul et même processus rapporté seulement à deux niveaux différents de découpage de l'objet. Les structures constitutives du comportement humain ne sont pas en réalité, pour cette perspective, des données universelles, mais des faits spécifiques nés d'une genèse passée et entraînent de subir des transformations qui ébauchent une évolution future. Or, à chaque niveau du découpage de l'objet le dynamisme interne de la structure est le résultat non seulement de ses propres contradictions internes mais aussi du dynamisme, étroitement lié à ces contradictions internes, d'une structure plus vaste qui l'embrasse et qui tend elle-même à sa propre équilibration. Ce à quoi il faudrait d'ailleurs ajouter que toute équilibration, à quelques niveaux que ce soit ne saurait être que provisoire, dans la mesure même où elle est constituée par un ensemble de comportement humain qui transforment le milieu ambiant et crée par cela même des conditions nouvelles grâce auxquelles l'ancien équilibre devient contradictoire et insuffisant.

Dans ces perspectives, toute description d'une structure dynamique où (pour employer un terme que Piaget semble préférer aujourd'hui) toute description d'un processus de structuration (qui est d'ailleurs aussi par son côté complémentaire une description d'un processus de déstructuration de structures précédemment existantes) a un caractère compréhensif par rapport à l'objet étudié et un caractère explicatif par rapport aux structures plus limitées qui en sont les éléments constitutifs » (Goldman, 1970, p.21 - souligné par nous).

En ce qui concerne cette possible portée générale du formalisme constructiviste de l'épistémologie génétique, Ducret, Schachner (1992a) mettent en garde contre les « pièges réductionnistes » et soulignent qu'il « convient d'éviter l'emploi de modèles qui ne permettent pas de distinguer le biologique du physique, ainsi que le psychologique du biologique, puis qui ne permettent pas de distinguer des niveaux au sein du

psychologique » (op cit. p31). Cette nécessité de *distinguer les niveaux* nous paraît fondamentale pour le projet d'une prise en compte du « temps des structures » dans les méthodes de modélisation et de simulation de sociétés artificielles représentant des agents humains, comme cela a déjà été souligné par ailleurs (Phan, 2003). Une question intéressante consiste alors à se demander quelle est la portée et quelles sont les limitations des principes d'héritage de la modélisation objet dans la volonté de construire une articulation non réductionniste entre niveaux. Un détour par une discussion sur les fondements ontologiques et épistémiques d'une telle modélisation paraît alors un « détour de production » potentiellement fécond, voire nécessaire.

Si le principe d'émergence et les questions épistémiques et ontologiques qui y sont associées apparaissent donc comme des enjeux majeurs pour une modélisation « historique » des sociétés artificielles d'agents cognitifs, les limites qui ont été signalées ne sont pas uniquement imputables aux seuls champs de l'informatique et de l'intelligence artificielle. Des remarques similaires peuvent être faites sur les constructions théoriques proposées par les praticiens des disciplines « empiriques » des sciences sociales, comme de certains cadres théoriques élaborés par les philosophes.

Ainsi pour Boudon (préface à Simmel, 1923), structures (sociales) et actions s'engendrent mutuellement : « ..si les phénomènes sociaux sont toujours le produit d'actions individuelles, les actions s'inscrivent dans un contexte, lequel a une structure : les structures ne sont compréhensibles qu'à partir des actions et les actions ne sont compréhensibles qu'à partir des structures » (op.cit. p. 11). Si l'on adopte le point de vue du structuralisme génétique, on peut être en accord avec la dernière partie de la proposition : la connaissance des structures est nécessaire pour comprendre les actions. Mais alors, la connaissance des actions n'est plus ni nécessaire ni suffisante pour comprendre la logique des structures dans leur fonctionnement « normal ». Par contre, la connaissance de ces actions sera nécessaire à la compréhension de la genèse des structures, mais cette seule connaissance reste insuffisante, contrairement à ce que soutient Boudon. On aura, de plus, besoin de connaître les structures d'interaction et la trajectoire spécifique d'évolution.

Pour éclairer l'ensemble de ces questions, nous devons donc reconstruire un questionnement cohérent en partant de la question de l'unicité ou de la pluralité des méthodes en sciences sociales, pour remonter, après un passage par les fondements ontologiques des faits sociaux, vers un niveau intermédiaire d'abstraction mieux à même de capturer la dimension « temporelle » des structures mentales et sociales, ainsi que de leur genèse, avec une formalisation explicite des apprentissages : c'est l'objet de la section suivante

3 - Sur les structures mentales et constructivisme social : quelle place pour le « temps de l'histoire » ?

Penser la temporalité de structures sociales comme les « faits sociaux » ou les « institutions » est en soi problématique. En effet, bien que ces notions soient centrales

dans les sciences sociales, le processus de constitution de ces sciences elles mêmes a souvent évacué la dimension temporelle qui nous intéresse, celle de la *genèse de ces formes*, au profit d'une analyse fonctionnelle ou structurale « non génétique » au sens de Piaget (1968,1979) ou d'une reconstruction rationnelle basée sur des principes différents de ceux qui peuvent être évoqués pour caractériser les processus historiques.

Pour illustrer notre propos, nous nous limiterons ici à discuter quelques contributions significatives, parmi l'abondante littérature sur le sujet. Pour mieux situer la dimension problématique de ces contributions et clarifier un certain nombre de questions, nous les mettrons en perspective avec la contribution du philosophe Searle (1995) qui a proposé une réflexion ontologique sur les « faits sociaux » qui présente l'avantage de pouvoir être articulé également avec les débats sur le réalisme et la philosophie de l'esprit, mais aussi l'inconvénient d'être purement logique et atemporelle. La réintégration de la dimension temporelle sera effectuée par la critique de certaines catégories de Searle par Munck (1999), qui propose de leur substituer des catégories alternatives dotées d'une dimension cognitive et temporelle plus marquée.

3.1. - *Les sciences sociales : unité ou pluralité des approches « scientifiques » ?*

Pour situer ces débats et bien comprendre les modalités et les enjeux d'une tentative de modélisation de l'historicité dans les sciences de l'homme et de la société, il paraît nécessaire de remonter au débat sur l'autonomie des sciences dites « de l'esprit » par rapport aux sciences « naturelles ». Celui-ci sera symbolisé par l'opposition entre les thèses soutenues par de Stuart Mill dans *A system of Logic* (1843) et les travaux neo-kantiens de Dilthey sur les sciences de l'esprit (Mesure, 1990).

La proposition de Dilthey (1863) de fonder les « *sciences de l'esprit* » sur une distinction *compréhension / explication* constitue un dualisme méthodologique, puisque ce dernier n'écarte pas la possibilité d'explication dans les « sciences de l'esprit », tout en considérant la « compréhension » comme le mode d'accès le plus approprié . Mais il y a la rupture avec l'approche de Mills, qui prône un réductionnisme sophistiqué qui reconnaît une autonomie relative aux sciences de l'esprit, tout en adoptant pour ces dernières une approche causale similaire à celle des sciences de la nature, tout en restant compatible avec les principes de la liberté humaine (Mills, 1843 ; Mesure, 1990),

Cette position va servir de référence à la volonté ultérieure de distinguer clairement les sciences *nomothétiques* de l'homme (qui cherchent à généraliser pour proposer des lois) des sciences *idiographiques* (qui proposent des descriptions historiques). Cette distinction, introduite en 1894 par le néo-kantien Wilhem Windelband⁸ a été reprise par de nombreux auteurs, depuis la philosophie historique (Rickert, 1901) jusqu'à Piaget (1970). Ce dernier oppose les « *sciences historiques de l'homme* » qui correspondent aux disciplines « *dont l'objet est de reconstituer et de comprendre le déroulement de toutes les manifestations de*

⁸ Cf. note 1 page 2 reproduit in : Windelband Qu'est-ce que la philosophie ? et autres textes, Vrin, 2002 . Sur Dilthey cf. Mesure (1990) et Brogowski (1997).

la vie sociale au cours du temps » (op .cit p.20) aux « sciences « nomothétiques » les disciplines qui cherchent à dégager des « lois » » (op .cit p.17). Schumpeter (1954) trouve cette « ligne de partage totalement irréaliste » car elle oublie « qu'une grande partie des sciences sociales se trouvent à cheval sur cette ligne de partage » (op.cit., tome III note 2, p.44).

En conclusion de son ouvrage consacré à la discussion des théories sociologiques du changement social, Boudon (1984), pour sa part, identifie trois conceptions possibles de la connaissance « scientifique » dans le domaine du social. Selon la conception « empiriste-historiciste » représentée par exemple par « l'objectivisme » de Leopold von Ranke (1795-1886) en Allemagne ou par Langlois, Seignobos (1897) en France, l'idéal de la connaissance historique consiste à décrire les évolutions ou changements passés « tels qu'ils se sont effectivement produits » dans leur *irréductible singularité* sans chercher des tendances ou des régularités dans la singularité des phénomènes. Selon cette perspective, la dimension temporelle se réduit à la « relation » (plus que la narration) des faits selon leur enchaînement connu ou « établi » par la « critique historique ». La seconde conception, qualifiée de « *nomologique* » recherche au contraire, comme son nom l'indique des « lois » ou pour le moins des *régularités*, et des relations causales de manière plutôt inductive, à part de l'observation des faits dont elle va chercher à dégager la « structure » sous jacente (régularités structurelles). La troisième approche est qualifiée par Boudon de « formelle » ou « hypotético-déductive » et repose sur la modélisation (mathématique, informatique, conceptuelle).

Cette catégorisation qui peut paraître vieillie. L'horizon conceptuel des sciences de l'homme et de la société se trouve élargi par l'influence des deux traditions philosophiques a priori très éloignées. Il s'agit du « tournant herméneutique » dans les sciences sociales » (Dosse, 1995) d'une part, et de la poussée dans le mouvement des sciences cognitives d'un courant réductionniste / naturaliste héritier en particulier de la philosophie analytique anglo-saxonne d'autre part (Gardner, 1993). On peut dire que la conjonction de l'impossibilité épistémique de réaliser pratiquement le programme historiciste et des limitations de l'approche nomologique en histoire⁹ ont conduit de nombreux historiens vers le « tournant herméneutique ». Appliqué aux sciences sociales, cette approche ne peut néanmoins pas faire l'économie d'une réflexion sur les mécanismes cognitifs qui fondent le travail interprétatif. On pourrait conjecturer que les mécanismes cognitifs de l'interprétation interagissent ou ont des dimensions communes, avec ceux qui fondent la spéculation théorique et la modélisation ; ou encore, que les schèmes interprétatifs utilisent au moins implicitement des "représentations" qui ne sont pas vierges de tout raisonnement spéculatif, hypothético-déductif etc... C'est pourquoi on reproche souvent en pratique aux approches interprétatives leur éclectisme, ou la mise en oeuvre de logiques qui ne sont pas nécessairement cohérentes entre elles.

⁹ malgré une influence significative sous le triple effet des influences baudéliennes, marxistes et structuralistes

Les économistes balancent entre l'approche nomologique et l'approche hypothético-déductive, avec une nette prédominance de la seconde. D'autres disciplines des sciences de l'homme, comme la psychologie y trouvent moins leur place, tout en développant une approche expérimentale. Elles sont par ailleurs concernées en premier chef par les questions posées les développements récents du naturalisme - réductionniste, d'une part et de l'herméneutique, d'autre part (en lien avec la psychanalyse, cf. Ricoeur 1965).

En sociologie, au contraire, « espace non popperien du raisonnement naturel (Passeron, 1991) l'approche empiriste domine, partagée par entre courant « narratif » et un courant inductif-nomologique, qui tous deux rejettent la modélisation, qualifiée de « réductrice ». La Position de Boudon s'inscrit pourtant en faux par rapport au courant dominant. Dans le paragraphe conclusif de « la place du désordre », celui-ci se réclame clairement d'un pluralisme méthodologique: « pour comprendre le social, en particulier le changement social, il faut, en tout cas il est très utile de passer par la construction de modèles. Mais il importe de ne pas interpréter ces modèles de manière réaliste, de ne pas leur prêter un pouvoir de prévision qu'ils n'ont pas : le réel déborde toujours le rationnel, surtout s'agissant des phénomènes particulièrement complexes que sont les phénomènes sociaux. Car c'est une illusion de croire qu'on puisse accéder à la complexité du réel en tant que tel. C'est pourquoi ces constructions que sont les modèles sont des instruments indispensables de la connaissance. Mais c'est pourquoi ils sont toujours débordés par la réalité » (Boudon, 1984, p.238). Une sociologie du changement social ainsi définie se tiendrait à mi-distance entre une histoire herméneutique et une économie à la fois empirique-nomologique et formaliste, que l'on pourrait associer à une temporalité « vécue » et « culturelle » d'une part ou à une temporalité abstraite et an-historique d'autre part.

Dans le champ de la modélisation multi-agents, la balance semble plutôt pencher vers ce dernier pôle, mais on peut alors observer d'autres oppositions, par exemples entre expérimentation et formalisme, ou entre réalisme et relativisme épistémique, mais si ces positions sont parfois loin d'être claires ni nécessairement cohérentes entre elles.

L'introduction de la question du « temps » a comme intérêt d'appeler des clarifications, que ce soit au niveau « technique » ou méthodologique, ou encore au niveaux ontologique et épistémique. Une question intéressante qui pourrait être posée serait de *rechercher les éléments de compatibilité et d'incompatibilité entre ces diverses approches a priori fort différentes*. Une telle question pourrait conduire en particulier à préciser le statut épistémique des niveaux d'abstraction utilisés dans les différents point de vue et dans les différentes méthodes utilisées par les chercheurs dans leurs champs disciplinaire respectifs. Cette démarche pourrait alors peut être permettre de déboucher sur l'identification de *niveaux complémentaires* dans l'approche des phénomènes économiques sociaux qui permettraient d'articuler entre elles des approches que considère généralement comme contradictoire, que ce soit à l'intérieur des modèles multi-agents eux-mêmes (ie : multi-points de vue et/ou multi-niveaux) ou entre ces modèles et les approches complémentaires des phénomènes considérés (herméneutiques, formels etc...).

Ce dualisme méthodologique n'est pas sans rapport avec la position de certains philosophes de la tradition anglo-saxonne, comme Searle ou Putnam professent chacun à

sa manière, un naturalisme « modérée » en matière de philosophie de l'esprit, qui se traduit en pratique par une irréductibilité des productions mentales (l'esprit) au processus physiologiques qui les supportent. Cette possibilité d'un « niveau supérieur » irréductible à sa base biologique nous amène à rechercher ce qui est spécifiquement humain au lieu de le décréter, puisque l'éthologie et les recherches récentes nous montrent que les animaux sont doués de conscience, de capacités de représentation et même de moyens de communication sociale (Denett, 1996, Proust, 1997, 2003). Cette question est particulièrement importante de deux point de vue. La réductibilité des processus psychologiques à leur base biologique est au centre de l'opposition entre John Stuart Mill et Wilhelm Dilthey sur la possibilité d'une science « de l'esprit » distincte des sciences naturelles (Mesure, 1990). Si la conscience humaine est irréductible, la modélisation multi-agents de sociétés humaines et la modélisation au niveau des agents de processus cognitifs ou décisionnels qui relèvent de la conscience comme les désirs, les désirs et les intentions¹⁰ est-elle légitime ?

On voit que cette double interrogation renvoie à la fois à des considérations épistémiques et à des considérations ontologiques sur l'esprit, les faits sociaux... La notion de « conscience historique » qui a été convoquée dans le débat relève plus du vocabulaire de branche herméneutique de la philosophie continentale, dans la lignée de Dilthey, que des prétentions universalistes de la modélisation ou de la tradition analytique anglo-saxonne. Est-il imaginable de concilier ces approches et comment ? Un élément de réponse aux débats évoqués semblerait pouvoir être trouvé dans la *communication interpersonnelle* à la base de la culture et de la transmission des pratiques et des représentations, comme on l'a vu précédemment. En particulier, *l'activité langagière* joue un rôle central dans ces philosophies. On voit par exemple que la question de *l'interprétation*, qui sous-tend le processus communicationnel interpersonnel est au centre à la fois des débats de la philosophie analytique et de l'herméneutique. Les « jeux de langage » et les « airs de familles » de Wittgenstein sont au cœur de l'argumentation utilisée par Putnam pour justifier son évolution d'un fonctionnalisme réductionniste vers un « réalisme à visage humain ». Vouloir construire cette dimension interpersonnelle suppose une réflexion préalable sur la nature spécifique des « faits sociaux », que l'on se propose de mener en deux étapes, afin de souligner le rôle des processus cognitifs dans la « temporalisation » du social.

3.2. - La construction de la réalité sociale selon Searle (1995) : une tentative d'ontologie du social, principalement logique et atemporelle (non historique).

Searle (1995) se place d'un point de vue « réaliste » et adopte de plus la théorie de la « vérité -correspondance ». On se limitera ici à dire que cela implique que le monde physique existe en dehors de notre conscience, et que le critère de vérité se définit par l'adéquation entre les énoncés et les faits auxquels ils correspondent dans le monde « réel ». Searle soutient cependant que sa théorie reste valide même si on n'adopte pas le

¹⁰ cf. par exemple l'architecture BDI (Belief, Desire, Intentions) in Cohen et Levesque, (1988).

principe de la vérité-correspondance (p.253). Par contre, l'existence d'une réalité physique « objective » en dehors de l'observateur (réalisme) est nécessaire à son argumentation.

C'est dans ce cadre qu'il s'interroge sur la possibilité de faits « institutionnels », socialement construits, et sur le rôle du langage dans la constitution de ces faits. Pour poser le problème, il distingue entre les faits « bruts » et les faits « sociaux ». Dans son « ontologie fondamentale » l'organisation des particules constitutives de la matière en systèmes physiques et biologiques a produit certains systèmes doués de conscience. En adoptant la démarche de la *philosophie intentionnaliste de l'esprit*, la conscience permet en particulier l'intentionnalité, c'est à dire la capacité qu'à l'organisme considéré de se représenter des objets et des états du monde. Comment dans ce cadre rendre compte de l'existence des faits sociaux ? Pour répondre à cette question, Searle commence d'abord par distinguer les caractéristiques intrinsèques des éléments du monde (de la réalité) et les caractéristiques relatives à l'observateur, qui proviennent toujours de phénomènes mentaux intrinsèques à ce dernier. Searle qualifie les phénomènes mentaux d'ontologiquement subjectifs. Il en résulte pour lui que les caractéristiques relatives à l'observateur héritent de cette subjectivité ontologique¹¹ (p.27).

La proposition « cet objet est en métal » renvoie à une caractéristique intrinsèque du monde alors que « cet objet est un pièce de monnaie » renvoie à une caractéristique (subjective) relative à l'observateur, mais ces deux propositions sont épistémiquement objectives. Par contre, la proposition « cette pièce est belle » est à la fois ontologiquement et épistémiquement subjective. Il introduit ensuite trois éléments nécessaires : l'assignation de fonction, l'intentionnalité collective et les règles constitutives. Pour expliquer le fonctionnement causal des structures institutionnelles, il introduit ultérieurement un quatrième élément : la notion de « capacité d'arrière plan » qui décrit « les capacités dont disposent les hommes pour se débrouiller dans leur environnement ». Il s'agit d'aptitudes et de savoirs pratiques qui correspondraient à des fonctions neuro-physiologiques qui seraient activées pour assurer la mise en œuvre des états mentaux intentionnels.

L'assignation (ou imposition) de fonction prend en compte « la remarquable capacité qu'ont les humains et autres animaux d'imposer des fonctions aux objets » et se traduit par une proposition « La fonction de X est Y ». Une fonction ainsi imposée n'est jamais intrinsèque à l'objet considéré mais relative à l'observateur qui l'impose. Si « cet objet est une pièce de monnaie » renvoie à une caractéristique(subjective) relative à l'observateur, la fonction associée à l'état « un pièce de monnaie » est également subjective et relative à l'observateur ; il en est de même pour l'assignation de fonction qui permet à la pièce de monnaie à exister en tant que telle : « la fonction de cet objet est d'être de la monnaie ». La dimension normative associée à l'imposition de fonction ne se traduit pas nécessairement par une dépendance causale absolue. En effet, bien que la fonction

¹¹ Dans la partie de l'ouvrage auquel on se réfère., la présentation que donne Searle des caractéristiques subjectives ne permet pas de réinterpréter ces derniers comme des attributs des états mentaux, ou comme une catégorie particulière de la classe des états mentaux, (au sens de la modélisation objet).

assignée à X soit Y, il se peut que X ne parvienne pas toujours à causer Y. L'assignation de fonction peut résulter d'une démarche épistémique relative à des phénomènes naturels, ou à des objets ou entités produites dans ce but. *Searle laisse aussi ouverte la possibilité qu'une entité associée à une fonction puisse se voir imposer une autre fonction.* Par exemple une pièce conçue pour être de la monnaie peut aussi devenir un objet de collection¹². On peut y voir la *possibilité logique* d'introduire des *innovations sociales basées sur des apprentissages à l'usage*. Mais on verra aussi que ce cadre est insuffisant pour penser leur émergence. La dimension subjective de l'assignation de fonction se traduit enfin par l'association d'un ensemble de valeurs avec la fonction considérée, en particulier une fonction théologique. Searle distingue ainsi dans les fonctions assignées les « *fonctions non agentiques* » qui correspondent à « des processus causaux qui apparaissent naturellement et auxquels nous avons assignés une fin » et les fonctions « *agentiques* » qui « ont trait à l'usage que les agents confèrent aux entités » par exemple : « la fonction de cet objet est d'être de la monnaie » est agentique, alors que la « fonction du cœur est de pomper le sang » ne l'est pas. Searle distingue enfin dans la catégorie des fonctions agentiques, celles dont la fonction « est de *symboliser, représenter, être mis pour, - ou - en général - de signifier* telle ou telle chose ». (p.40).

On notera que si la catégorisation de Searle repose sur un réalisme ontologique, elle ne semble pas exclure un certain relativisme épistémique quand à notre connaissance du monde « qui existe en dehors de notre esprit ». En effet, le propre d'une fonction imposée est de replacer la fonction dans un système subjectif de valeurs propres à l'agent. Si l'on considère une fonction « non agentique » imposée à un objet du monde physique, il n'y a aucune raison pour que la théorie que nous formons sur la fonction de cet objet relativement à notre système de valeur corresponde à la réalité au sens de la thèse de la « vérité correspondance ».

Le second élément auquel recours Searle est défini comme « *l'intentionnalité collective* ». Pour lui, celle-ci se distingue de l'intentionnalité individuelle et ne peut y être réduite par un jeu (récuratif) de croyances mutuelles à la manière de la théorie des jeux (l'approche des conventions, que nous examinerons plus loin, représente une autre manière de sortir des difficultés du problèmes des croyances croisées) : « le fait de croire que vous croyez que je crois etc...(..) n'ajoute rien au sentiment qu'on peut avoir de la collectivité. Aucun ensemble de consciences en « je », même augmenté en de croyances, ne se monte à une conscience en « nous ». L'élément décisif dans l'intentionnalité collective est le sentiment que l'on a de faire (vouloir, croire etc.) quelque chose ensemble » (p.42). Searle désigne alors les « *faits sociaux* » comme ceux qui impliquent l'intentionnalité collective, et les « *faits institutionnels* » comme une sous catégorie de ces « faits sociaux ».

Les « *règles constitutives* » représentent le troisième pilier de la construction de Searle. Une règle constitutive peut se formuler de la manière suivante : « X est compté comme Y

¹² Il convient ici de demander aux informaticiens quelle pourrait être la forme de l'assignation de fonction dans un langage objet. Si l'on postule qu'une fonction peut être formalisée la présence de « services » spécifiques, il semblerait que quelque chose qui ressemblerait à une implémentation dynamique d'interface pourrait faire l'affaire ?

en C ». Ceci signifie que le terme Y assigne une fonction particulière à X en fonction d'un accord collectif, qui est la condition de validité de la règle. Searle considère que le processus qui institue cette règle constitutive peut dans certains cas ne pas être conscient, il en est de même selon lui du processus qui gouverne l'évolution ultérieure de l'institution. Il est également possible que les justifications qui sont avancées pour imposer cette fonction ne soient pas fondées, tout cela n'empêche pas la fonction en question d'être collectivement imposée : « tant que les gens continuent de reconnaître que le X a la fonction-statut Y, le fait institutionnel est créé et maintenu. Ils n'ont pas, en plus, à reconnaître que c'est ce qu'ils sont entrain de faire, et ils peuvent entretenir toutes sortes d'autres croyances fausses sur ce qu'ils font et sur les raisons pour lesquels ils le font »(op.cit. p.69). Il y a « également une relation entre imposition collective et langage. Les appellations qui désignent la fonction Y participent également à la dimension constitutive du fait ainsi désigné. Enfin, l'utilisation d'une fonction assignée renforce l'intentionnalité collective qui légitime cette fonction.

En résumé, les faits institutionnels, à la différence des objets physiques, n'existent que par la croyance collective en leur existence. Cette croyance collective ne suppose pas l'existence d'un quelconque « sujet collectif ». Chaque conscience individuelle est porteuse des quatre éléments nécessaires à l'existence du fait institutionnel, qui sont strictement mentaux. Néanmoins, pour fonder cette croyance collective, les faits institutionnels ont encore besoin, selon Searle, du langage, pour cinq raisons. Premièrement le langage est épistémiquement nécessaire pour que l'on puisse *reconnaître* symboliquement la fonction assignée. Deuxièmement, la nature sociale de ces faits nécessite un moyen de *communication publique* tel que le langage. Troisièmement, le langage est selon lui nécessaire en tant que système complexe de représentation *pour représenter* les phénomènes complexes associés à l'assignation de fonction. Cinquièmement, la pérennité temporelle du fait institutionnel suppose que sa représentation soit indépendante des états mentaux des participants à l'institution.

3.3. - Critique et dépassement du modèle de Searle : la perspective cognitive et temporelle de Munck

La description sommaire que nous avons donnée du cadre conceptuel proposé par Searle suggère que ce dernier pourrait être appliqué simplement à un monde d'agents, puisque la dimension sociale des faits institutionnels peut être ramenée à la conjonction d'états individuels à intentionnalité collective. Mais cette construction purement logique échoue à rendre compte des dimensions *cognitives* et *temporelles* nécessaires pour *les fonder d'un point de vue génératif*. Munck (1999) met ainsi en évidence un certain nombre de questions qui soulignent les limites des catégories retenues. La dimension publique des « faits institutionnels », en particulier des règles constitutives, leur donne une *autonomie relative*, et ces dernières ne sont pas réductibles à la simple conjonction de croyances privées, car elles nécessitent *des formes intersubjectives de validation*, et que ces dernières peuvent *évoluer dans le temps*. En associant faits institutionnels et actes de langage, Searle impose l'existence préalable de *conventions intersubjectives* nécessaires pour donner du sens.

Celles-ci « ne dépendent pas de l'intention du locuteur, mais de l'histoire de la communauté interprétative. Pour que les actes de langage ... voient leur prétention à la validité honorées, des conditions externes de l'intentionnalité subjective doivent être rencontrées, dans *l'a priori linguistique* : il s'agit de la conformité de mes jugements aux jugements d'autrui, conformité qui passe par le médium des interactions sociales (...) Comment la convention *publique* est-elle fixée, comment la référence *publique* est-elle déterminée, comment des locuteurs au savoir *fini* et *différencié* peuvent-ils faire référence aux mêmes significations. Sur tous ces points, Searle reste muet. C'est pourquoi *il importe de développer une autre conception de la règle et de son rapport à l'intention*. (...) la règle n'est pas seulement un instrument au service de la réalisation d'une intention communicationnelle du locuteur. Elle trouve sa racine dans des interactions pragmatiques » (op.cit. p. 118-9, souligné par nous).

On peut également compléter la critique de Munk sur la dimension contextuelle des règles qui permettent au discours de faire sens en se référant aux travaux de Dessalles (1992) sur les contraintes logiques des conversations spontanées. Selon ce dernier, une analyse logique du discours ordinaire est possible, car il possède des règles précises et finalement peu nombreuses qui permettent la modélisation d'une structure dans le contenu des échanges, pour peu que le contexte soit connu. Malheureusement « il n'existe pas actuellement de moyen d'extraire la connaissance contextuelle » (op.cit. p.4), et une l'étude logique est limitée à des conversations « pour lesquelles le contexte est connu sans ambiguïté » (ibid.) Ainsi conçues, les règles de communications sont conditionnelles à un contexte d'interaction et aux référents culturels des parties en conversation. On retrouve une dialectique du même type que celle du « cercle herméneutique » : l'interprétation locale nécessite une connaissance du contexte global, mais les éléments pertinents du contexte global ne peuvent être identifiés qu'à partir des éléments locaux. Une manière d'en sortir consiste à séparer les règles, qui sont modélisables, mais qui ne peuvent être interprétées que dans un certain contexte, et l'interprétation de ce contexte qui relève de ce qui n'est pas - actuellement formalisable. Ce passage par l'interprétation est incontournable. Nous savons que Searle, comme de nombreux philosophes de la tradition analytique, est un critique de la tradition continentale herméneutique. Celle-ci nous donne cependant une seconde perspective pour rendre compte du processus historique et intersubjectif de la formation du sens. Dans la tradition herméneutique, un texte possède une indépendance relative par rapport aux intentions de son auteur, et ce dernier doit lui-même interpréter sa propre intentionnalité, au même titre qu'un autre lecteur.

Munck souligne également le *logicisme fonctionnel* qui sous-tend l'intention collective selon Searle, qui exclue toute *émergence spontanée ou in-intentionnelle*. Le temps de la genèse est ainsi évacué de la reconstruction rationnelle. Le présupposé logique reconstruit ainsi *a posteriori* un *plan collectif* visant une fonction qui peut très bien ne pas correspondre ni au processus effectif ni aux visées intentionnelles *a priori*. En matière institutionnelle, la logique de la genèse diffère souvent de l'*adaptation* fonctionnelle *a posteriori*. Pour rendre compte de la temporalité des structures, c'est ce *processus*

adaptatif que l'on doit modéliser. Dans ce but, Munck introduit successivement les théories de *l'action située* et la notion procédurale de *dispositif cognitif collectif*. Le premier point de vue permet de percevoir les faits sociaux comme *des phénomènes émergents des interactions*. L'interaction est un processus temporel et dépendant du contexte, qui ne nécessite pas la conjonction d'intentionnalité pour imposer collectivement une fonction. Selon le point de vue de l'action située, la *fonction émergerait plutôt dans un processus collectif d'apprentissage*, dans lequel le rôle central se déplacerait de la conscience du sujet vers son mode contingent d'insertion dans les interactions. La détermination de la fonction institutionnelle résulterait alors plus de la « mise en conscience » des pratiques institutionnelles que d'une hypothétique assignation préalable de fonction. On pourrait alors substituer aux trois « building blocks » de Searle les trois axes de la *schématisation*, de *l'interaction* et de la *situation* (Munck p.131). Cette substitution soulève de nouvelles questions qui conduisent à de nouveaux dépassement. Là où la théorie de Searle présente les faits institutionnels comme des instruments au service d'une intention préalable, les théories de l'action située en font des produits contingents de l'interaction et de la situation qui les expose aux dilemmes du relativisme radical. On substitue à l'a-temporalité un excès de contextualité, et donc, dans une perspective plus large, d'historicité.

Pour Munck, le juste milieu doit être recherché dans la notion de *dispositif cognitif collectif*, proposé par Favereau. « L'institution n'est pas alors un ensemble de règles ou de fonctions, mais un ensemble de schémas normatifs permettant à la fois des mises –en-situation et des mises -en- discours des interactions pratiques entre les personnes et avec le monde » (op.cit. p.137). Selon cette perspective, la *règle* n'est pas un simple déterminant de l'action, comme chez Searle, mais un « *pattern* » (modèle) *conditionnant les interactions sociales*. Ce modèle permet une *interprétation souple, procédurale des normes*, qui *favorise les interactions en situation*, tout en les replaçant dans un *dispositif procédural* qui encadre les apprentissages par exemple en *définissant des rôles et des limites à l'interprétation* qui contribuent à caractériser l'historicité intrinsèque du dispositif et favorise la stabilisation de l'institution par auto-renforcement adaptatif.

Peut-on modéliser un tel dispositif ? Si oui, comment ? Il ne s'agit pas ici de répondre à ces questions, qui dépassent notre problématique de départ., mais de souligner une dernière fois que la prise en compte de l'historicité du « temps des structures sociales » présuppose une marge de liberté au niveau de l'interprétation d'un double point de vue. Au niveau du modèle, seules des procédures interprétatives associées à une modélisation réflexive des agents comme observateurs peuvent garantir les conditions nécessaires à une *émergence forte* indispensable pour engendrer une *évolution générative des structures*. Mais cette dernière doit elle-même être pré-conditionnée de manière générique, pour encadrer strictement les évolutions et leurs possibles issues dans un *méta-modèle intégrateur*. Au niveau de l'ensemble formé par le modélisateur-expérimentateur et son modèle, une articulation souple doit également être recherchée entre ce qui est modélisable de la manière précédemment décrite, et ce qui relève de l'interprétation

humaine, selon une perspective méthodologique différente, mais nécessairement complémentaire.

Conclusion

L'objectif de cette note était de mettre en perspective certaines questions qui apparaissent au chercheur qui désire modéliser la structuration « historique » des phénomènes sociaux au moyen d'une démarche centrée sur des agents et sur leurs interactions. La première question méthodologique que pose cette problématique est celle de la frontière, nécessairement floue et mouvante entre ce qui est modélisable et ce qui ne l'est pas, et relève donc de l'interprétation d'un observateur extérieur. Pratiquement, cette question renvoie à une approche des phénomènes sociaux en terme *de dualisme méthodologique*. Le tour d'horizon auquel nous nous sommes livrés est bien entendu aussi incomplet que superficiel. Il montre cependant que de nombreuses questions que nous avons soulevées à partir de différentes perspectives disciplinaires pouvaient être mises en rapport, et renvoyaient finalement à quelques questions génériques, généralement déjà bien connues des philosophes. De plus, il apparaît que la recherche de fondements explicites pour les position méthodologiques et de « l'épistémologie spontanée » des chercheurs de chaque champ disciplinaire peut faire apparaître des insuffisances, des incohérences voire des contradictions entre les différentes approches revendiquées. Un *dualisme méthodologique ne saurait être un éclectisme*. Une question centrale est alors celle de l'articulation entre les différentes dimension du modèle et celles de l'interprétation Pour progresser, il semble donc nécessaire d'aller au-delà des approfondissements propres à chaque champs disciplinaires, et d'engager une réflexion pluridisciplinaire qui associe des spécialistes des différents champs concernés avec des philosophes, selon une perspective élargie de « science cognitive et sociale », destinée réfléchir aux fondements épistémiques et ontologiques qu'il pourrait être possible de produire pour augmenter la cohérences de la mise en perspective des approches disciplinaires, délimiter les domaines de validité et de complémentarité des discours et des modèles et concilier les différents points de vue, lorsque cela est possible, dans un ensemble articulé de perspectives complémentaires.

Bibliographie

- Amy B., Bonabeau E. Dessalles J. L. Ducret J.-J. Giacometti A., Grumbach A. (1992) *Emergence dans les modèles de cognition*, séminaire ENST 15-16 Avril S003, ENST Paris.
- Axtell R. (2000) ; « Why Agents ? On the varied motivations for Agent computing in the social sciences » ; *Brooking institution, Center on Social and Economic Dynamics*, WPN°17, november.
- Axtell R. Epstein J.M., Young H.P. (2000) ; « The Emergence of Classes in a Multi-agent Bargaining Model » *Brooking institution, Center on Social and Economic Dynamics*, WPN° 9 february.
- Bachelard G. (1931) *L'intuition de l'instant* , Stock réed livre de poche 1992.
- Balandier G. (1988) *Le Désordre : éloge du mouvement* Fayard, Paris
- Boneabeau E., Dessalles J-L. (1997) « Détection and Emergence » *Intellectica*, 25 p.89-94.
- Boudon R. (1984) ; *La Place du désordre, critique des théories du changement social* ; Col. Sociologies, Presses Universitaires de France, Paris.

- Boudon R., Chazel F., Bouvier A. eds. (1999) *Cognition et sciences sociales*. Presse Universitaires de France, Paris.
- Bourgine P., Nadal J.P. eds. (2003) ; *Cognitive Economics* ; Springer (forthcomming)
- Chenet F. (2000) *Le Temps ; Temps cosmique, Temps vécu*, Armand Colin, Paris.
- Churchland P.M. (1981) « Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes », *The Journal of Philosophy*, vol LXXVIII p.67-90. trad. fr. « Le Matérialisme éliminativiste et les attitudes propositionnelles » in Fissette, Poirier (ed.) « Philosophie de l'esprit, Vrin 2002.
- Cohen P.R. et Levesque H.J. (1988) « Intention is choice with commitment » *Artificial Intelligence*, vol 42, p. 213-261.
- Dawkins R. (1976) *The Selfish Gene* Oxford University Press, trad.fr. *Le Gène égoïste*, Armand Colin, Paris, 1990.
- Dennett D.C. (1996) *Kinds of Minds*, Brockman, N.Y. trad. Fr. *La diversité des esprits*, Hachette, Paris, 1998.
- Dessalles, J.-L. (2000) *Aux origines du langage, une histoire naturelle de la parole*, Hermes Sciences, Paris.
- Dosse F. (1995) *L'empire du sens, l'humanisation des sciences humaines La découverte*, Paris.
- Douglas M. (1986) *How Institutions Think*, Syracuse University Press, trad. Fr. *Comment pensent les institutions*, La Découverte, Paris, 1999
- Ducret JJ, Schachner W. (1992a) « Constructivisme génétique et émergence » in Amy *et al.* (eds.) op cit., p.117.
- Ducret JJ, Schachner W. (1992b) « L'émergence d'abstractions, un pas de plus vers une intelligence artificielle génétique » in Amy *et al.* (eds.) op cit., p.117.
- Durlauf S.N., Young P. (2001) eds. ; *Social dynamics* ; The MIT Press, Cambridge Ma.
- Elias N. (1984) *Du temps* (traduction française de *Über die Zeit*), Fayard, Paris, 1996.
- Engel P. (1994) *Introduction à la philosophie de l'esprit*, Découverte, Paris.
- Engel P. dir. (2000) *Précis de philosophie analytique*, PUF, Paris.
- Epstein J.M. (1999) ; « Agent-Based Computational Models and Generative Social Science » ; *Complexity*, Vol.4 N°5, p.41-60.
- Epstein J.M. Axtell R. (1996); *Growing Artificial Societies, Social Sciences from the Bottom Up*, Brooking Institution Press, MIT Press Washington D.C.,Cambridge Mass.
- Ferber, J., Labbani O., Müller J.-P., Bourjault. A. (1997) *Formalizing emergent collective behaviours: Preliminary report. International Workshop on Decentralized Intelligent and Multi-Agent Systems*, St. Petersburg, pp. 113-122.
- Ferber J. (1999) *Multi-agent Systems* ; Addison Wesley Reading, MA.
- Ferber J. Guérin V. (2002) « Représentations et simulation : de la modélisation à la mise en situation » in *10^e journées de Rochebrune : le statut épistémologique de la simulation* S 001 ENST, Paris
- Forrest S. (1990) « Emergent computation » : Self-organizing, Collective, and Cooperative Phenomena in Natural and Artificial Computing Networks », introduction to the proceedings of the ninth annual CNLS Conference', in *Emergent computation*, MIT Press, Cambridge, M.A., 1990, p.1-11.
- Gadamer H.G. (1960) *Vérité et méthode, les grandes lignes d'une herméneutique philosophique*, (trad. Française de *Hermeneutik I*) coll. L'ordre philosophique, Seuil, Paris, 1996.
- Gadamer H.G. (1963) *Le problème de la conscience historique*, Editions Universitaires de Louvain rééd. Seuil, Paris, 1996
- Gardner H.(1985) *The Mind's new science a history of the cognitive revolution* Basic Book, NY, trad. fr *Histoire de la révolution cognitive la nouvelle science de l'esprit*, Payot, 1993..

- Giddens A. (1984) *The constitution of society*, Polity Press, Cambridge & Basil Blackwell, Oxford, trad. fr. *La constitution de la société*, PUF, Paris, 1987.
- Gilbert N. (1995) ; « Emergence in social simulations » ; in Gilbert, Conte (1995) op.cit. p. 114-156.
- Gilbert N., Conte R. (1995) eds. ; *Artificial Societies : The Computer Simulation of Social Life* UCL Press London.
- Lalande A. (1926) *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, PUF, réed. « Quadrige », Paris, 2002
- Le Moigne, J.-L. (1995) *Les épistémologies constructivistes*, col. Que sais-je ?, PUF, Paris.
- Lesourne J. (1991) ; *Economie de l'ordre et du désordre* ; Economica, Paris.
- Lesourne J., Orléan A. (1998) eds. ; *Advances in Self-Organization and Evolutionary Economics* ; Economica, Londres Paris.
- Levi Strauss C. (1958) *Anthropologie structurale*, Plon, Paris.
- McLaughlin Brian P. (1997) « Emergence and Supervenience », *Intellectica* 25 p.25-43
- Mesure S. (1990) *Dilthey et la fondation des sciences historiques*, PUF, Paris
- Mills J.S. (1843) *A system of Logic*, trad fr. Peisse sur la 6^e ed. anglaise : *Système de Logique déductive et inductive*, Ladrangé, Paris, 1866, réed Mardaga 1988
- Müller J.P. (1998) *Méthodologie de conception de systèmes multi-agents de résolution de problèmes par émergence*, JFIADSMASMA'98, Hermès, novembre.
- Müller J.P., Pesty S. (1998) *Interaction, coopération et émergence dans les systèmes multi-agents*, Assises nationales du PRC-GDR-I3, Lyon, juin 1998
- Müller J.P. (2000) « Modélisation organisationnelle en systèmes multi-agents Septième Ecole d'été de l'ARCo, Bonas, 10-21 juillet 2000.
- Müller J.P. (2002) *Des systèmes autonomes aux systèmes multi-agents : interactions, émergence et systèmes complexes* Rapport présenté pour l'obtention de l'HDR, 8 novembre, 58 p. http://cormas.cirad.fr/pdf/HDR_JP-Muller.pdf
- Munck (de) J. (1999) *L'institution sociale de l'esprit*, PUF, Paris
- Phan D. (2003) « From Agent-Based Computational Economics towards Cognitive Economics », in Bourguine, Nadal, (2003), op. cit.
- Piaget J. (1937) *La construction du réel chez l'enfant* réed Delachaux et Niestlé, Lausanne, 1967
- Piaget J. (1967) ed. ; *Logique et connaissance scientifique*, NRF Encyclopédie de la Pléiade, Paris.
- Piaget J. (1968) *Le structuralisme* ; Col. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris.
- Piaget J. (1973) *Le Développement de la notion de temps chez l'enfant*, Presses universitaires de France
- Piaget J. (1979) *L'Épistémologie génétique*, Col. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris.
- Pinkas D. (1995) *La matérialité de l'esprit, un examen critique des théories contemporaines de l'esprit*, La Découverte, Paris.
- Proust J. (1997) *Comment l'esprit vient aux bêtes. Essais sur la représentation* Gallimard, Paris.
- Proust J. (2003) *Les animaux pensent-ils ?* Col. Le Temps d'une question, Bayard.
- Putnam H. (1983) *Definitions* Cambridge University Press, trad française : *Définitions, pourquoi ne peut-on pas « naturaliser » la raison ?* éditions de l'éclat, 1992.
- Putnam, H. (1981), *Reason, Truth and History*, Cambridge University Press, trad. Française : *Raison, vérité et histoire*, Les Editions de Minuit, Paris 1984.
- Ricœur P. (1983) ; *Temps et Récit* , tome I. *L'intrigue et le récit historique* et tome III *Le temps raconté*, Col. « L'ordre Philosophique », réed. Col. « Points Essais », Seuil, Paris
- Ricœur P. (2000) *La mémoire, l'histoire, l'oubli* ; Col. « L'ordre Philosophique », Seuil, Paris.

- Searle, J.R. (1969) *Speech Acts. An Essay in the Philosophy of Language* Cambridge University press, NY, trad. Fr. *Les actes de langage* Paris Herman 1972, réed 1996.
- Searle J.R. (1992) *La redécouverte de l'esprit*, NRF-essais, Gallimard, Paris
- Searle J.R. (1995) *The Construction of Social Reality*, Free Press ; trad. Française : *La construction de la réalité sociale*, NRF-essais, Gallimard, Paris.
- Searle J. R., (2000) « Langage, conscience, rationalité » (entretien avec Philippe de Lara), *Le Débat*, n°109, mars-avril
- Sperber D. (1996) *La contagion des idées* Odile Jacob, Paris.
- Sperber D. (1997) « Individualisme méthodologique et cognitivisme » in Boudon, et al. eds., op cit. p. 123-136.
- Tesfatsion L. (2001) ; « Agent-Based Computational Economics : Growing Economies from the Bottom Up » ; ISU Economics Working Paper N°1 December 14, Iowa State University.
- Van de Vijver Gertrudis (1997) « Emergence et explication », *Intellectica* 25, p.7-23.
- Warnke G. (1987) *Gadamer, Hermeneutic, Tradition and Reason*, Basil Blackwell, trad. française : *Gadamer, Herméneutique, Tradition et Raison*, De Boeck, Bruxelles, 1991.
- Watzlawick P. dir. (1988) *L'invention de la réalité, contributions au constructivisme*, Points-essais, Seuil, Paris.
- Wittgenstein L. (1953) trad. Française : *Investigations philosophiques*, Gallimard, Paris 1961
- Zwirn H. (2000) *Les limites de la connaissance*, Odile Jacob, Paris.

Dynamique chaotique, avons nous toute l'information ?

Vincent Régnard
<regnard@ganil.fr>

*Ganil, Bd. H. Becquerel, BP 5527, 14076 Caen Cedex
LPC Caen, 6 Bd. Mal Juin 14050 Caen Cedex*

1 Introduction

L'une des motivations importantes de la physique est de prévoir l'évolution dans le temps des systèmes étudiés, c'est à dire savoir quel a été leur passé et quel sera leur avenir, étant donné la connaissance dont nous disposons de son état à un instant donné.

Cette approche, la **dynamique**, repose sur deux ingrédients essentiels : les équations de la dynamique qui propagent dans le temps les caractéristiques mesurables du système (son état) et les conditions initiales qui précisent l'état du système à un instant de référence. L'étude expérimentale de différents systèmes révèle deux catégories d'évolution très différentes l'une de l'autre. Dans un premier cas, deux systèmes identiques se trouvant dans des conditions initiales infiniment proches l'une de l'autre vont avoir un même devenir à des instants ultérieurs, on parle alors de **dynamique régulière**. Dans d'autres cas, l'évolution dans le temps de systèmes initialement "identiques" s'avère complètement dissemblable et diverge dans l'espace des configurations du système, on parle alors de **chaos déterministe** [1, 2, 3, 4]. Comment interpréter cette incapacité à décrire les phénomènes complexes ? Y-a-t-il réellement deux sortes de

dynamiques, deux catégories de systèmes, ceux pour lesquels nous savons prévoir le devenir précisément et ceux pour lesquels nous ne pouvons rien prédire, si ce n'est sur des intervalles de temps extrêmement courts ?

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, nous proposons dans cette contribution de présenter deux approches différentes de la dynamique de systèmes complexes. Dans un premier temps, nous rappellerons la façon dont est décrite la **dynamique de systèmes classiques** dans un espace de configuration continu et infini. Cette première approche nous permettra d'introduire les concepts nécessaires à la description du chaos. Dans un second temps, nous présenterons l'**approche quantique de la dynamique** d'un système complexe afin de proposer une interprétation possible du chaos se basant sur notre capacité à gérer la complexité de la description de ce système.

2 Dynamique classique d'un système complexe

La mécanique classique représente le système physique étudié, constitué de N entités élémentaires en interaction, dans un espace de configuration continu à $3N$ dimensions [1, 5], c'est à dire comprenant $3N$ axes correspondant à des mesures ou observations indépendantes réalisables sur ce système. L'état à un instant t donné du système est repéré dans cet espace par un vecteur contenant la valeur numérique de ces $3N$ observations. Supposons le système composé d'un grand nombre d'entités élémentaires, nous pouvons l'imaginer comme un ensemble de points matériels dans notre espace euclidien traditionnel à 3 dimensions (Figure 1) Chacun de ces points i étant repérés à tout instant par la donnée des trois coordonnées $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$ que l'on peut rassembler en un vecteurs $\vec{r}_i(t)$. L'ajout en chacun de ces points matériels d'une vitesse instantanée $\vec{v}_i(t)$ confère à la représentation de l'état du système une dimension dynamique. En regardant ce nouveau cliché, en haut à droite sur la figure 1, on peut imaginer comment était le système à l'instant précédant la photographie, son passé immédiat un infime instant plus tôt. Il nous est aussi possible d'imaginer ce qu'il deviendrait à l'instant juste après en déplaçant chacun des points le long de la flèche représentant sa vitesse d'une distance proportionnelle à l'intensité de cette dernière. Ceci nous conduit en fait à superposer au précédent espace des positions du système $\vec{r}_i(t)$ un

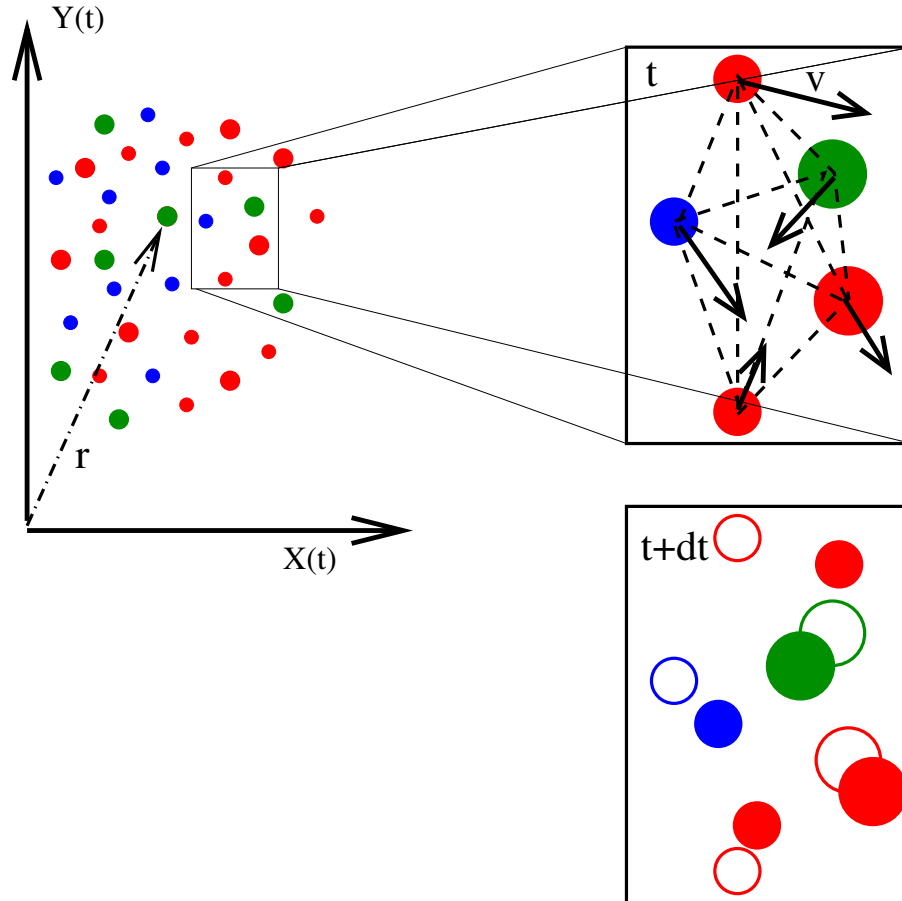


FIG. 1 – **Représentation du système** A gauche, l'ensemble des constituants du système peuvent être repérés par la donnée du vecteur position (\vec{r}) de chacun. A droite (haut) un grossissement de l'espace permet de voir schématiquement les interactions (tiret) entre tous les constituants ainsi que les vecteurs (flèches) représentant les vitesses de chacun à un instant t . En bas, le même système à un instant ultérieur très proche $t + \Delta t$, les constituants se sont déplacés parallèlement à leurs vitesses d'une longueur proportionnelle à celles-ci (les cercles vides représentent leurs positions à l'instant précédent).

deuxième espace, celui des vitesses $\vec{v}_i(t)$, permettant d’animer les objets du premier. La représentation de l’état dynamique du système implique donc l’utilisation d’un espace à $6N$ dimensions appelé espace des phases ou espace des configurations dans lequel chaque élément constituant le système est représenté par deux vecteurs $\vec{r}_i(t)$ et $\vec{v}_i(t)$ encore appelés coordonnées généralisées du système. Par cette simple expérience de pensée, nous venons de poser le principe de base de la dynamique classique d’un système physique complexe, c’est à dire l’évolution dans le temps de la représentation d’un ensemble d’entités en interaction.

Cette description simple ne tient jusqu’à présent pas compte du fait que toutes les entités élémentaires constituant le système interagissent les unes avec les autres. Pour ce faire, l’introduction d’une description mathématique un peu plus rigoureuse est nécessaire. Différentes approches ont été proposées au *XIX^e* siècle au moment où l’analyse mathématique et plus particulièrement le calcul différentiel connut un essor important. L’une d’entre elles propose de prendre en compte les interactions entre tous les constituants à travers une fonction mathématique appelée Hamiltonien $H(\vec{r}_i(t), \vec{v}_i(t))$. Cette fonction n’est autre que l’énergie totale du système exprimée en fonction des coordonnées généralisées du système à chaque instant. Elle contient généralement une partie cinétique traduisant l’agitation des corpuscules, une partie potentielle quand le système est soumis à un champ de force externe ou un potentiel de confinement et une partie d’interaction intrinsèque entre tous les constituants. La définition de cette fonction est cruciale dans toute étude dynamique d’un système, elle impose souvent une modélisation et des approximations.

Les équations d’Hamilton-Jacobi expriment la façon dont évolue à chaque instant l’ensemble des coordonnées du système. Elles lient toutes les positions $\vec{r}_i(t)$ et vitesses $\vec{v}_i(t)$ à travers des relations mettant en jeu l’Hamiltonien H pré-cité qui code mathématiquement “toute” la physique que l’on cherche à comprendre du système. Cet ensemble d’équations différentielles, que l’on nomme flot, fait intervenir des variations (dérivées) par rapport au temps des coordonnées représentant le système à chaque instant. Ces variations s’expriment elles-même en fonction de ces coordonnées, traduisant une auto-cohérence du système. La résolution de cet ensemble d’équations, c’est à dire la recherche des solutions $\vec{X} = \{\vec{r}_i(t), \vec{v}_i(t)\}$, est généralement complexe.

Les solutions de ce flot sont les trajectoires du système, c'est à dire l'ensemble des points représentant les états successifs du système dans l'espace des configurations. Cette trajectoire se développe sur une hypersurface de dimension $3N-1$ du fait de la conservation de l'énergie qui contraint et lie les coordonnées du système.

Ces flots peuvent être rangés en deux grandes catégories¹. Lorsque les équations ne sont pas ou très peu couplées, le flot est linéaire, la dynamique du système est dite stable, régulière ou intégrable. Il est possible, partant de conditions initiales particulières de prédire, avec les équations d'évolution, le devenir dans le temps du système pour tout instant t ultérieur fini. Si le flot est complexe, la dynamique devient très irrégulière. L'énergie du système se répartit alors très rapidement d'un degré de liberté vers un autre. Autrement dit, à un instant donné, une grande partie de l'information (l'énergie) concernant l'état du système se trouve contenue dans un petit nombre de coordonnées. Un bref instant plus tard, se sont d'autres coordonnées qui jouent un rôle important dans la dynamique, l'énergie s'est trouvée transférée des premières aux deuxièmes. Ainsi deux configurations proches dans le temps peuvent être très éloignées dans l'espace des configurations. La dynamique est de ce fait très sensible, une infime variation des conditions initiales conduit alors à deux dynamiques au devenir très différent.

Les équations d'évolution sont généralement très complexes et il est impossible de les résoudre exactement d'un point de vue analytique. Le problème doit alors être résolu numériquement. Connaissant la façon dont ces grandeurs varient instantanément, il est possible de les propager de façon itérative. Considérons la variation de la position de l'un des constituants de notre système pendant un intervalle de temps très court Δt . Sa position à l'instant $t + \Delta t$ est donnée par l'ajout à sa valeur initiale à l'instant t d'une contribution proportionnelle au temps écoulé Δt .

$$\vec{r}_i(t + \Delta t) = \vec{r}_i(t) + \frac{\partial \vec{r}_i(t)}{\partial t} \Delta t = \vec{r}_i(t) + \vec{v}_i(t) \Delta t \quad (1)$$

Cette opération n'est valide que si l'intervalle de temps Δt considéré

¹On considère que le flot devient chaotique lorsque apparaissent des courbes isopotentielles accessibles au système qui possèdent des singularités topologiques (points d'inflexions).

est très petit par rapport au temps caractéristique d'évolution du système. Cette opération constitue en fait une approximation (d'ordre un) qui considère que la variation de la position de chacun des constituants a si peu bougé que l'on peut considérer les vitesses constantes pendant cet intervalle de temps. Ces dernières seront évaluées de nouveau lors de l'itération suivante par des considérations complètement analogues toujours grâce aux équations d'Hamilton qui donnent pour la variation de la vitesse une expression analogue à (1). Notons que Lyapunov [1] nous rappelle qu'il faudrait en toute rigueur tenir compte de tous les ordres supérieurs. Mais en pratique l'intervalle de temps Δt est toujours petit, et il suffit simplement de s'assurer que cette approximation demeure justifiée tout au long de la dynamique. Ce type de raisonnement permettant l'intégration numérique des équations du mouvement est très familier des numériciens, il est utilisé par exemple dans les modèles de dynamique moléculaire. Différents algorithmes [6] permettent de résoudre numériquement la problématique pourvu que les systèmes étudiés soient assez simples.

L'étude d'un système très simple constitué de deux entités en interaction tels deux oscillateurs reliés par un élastique (comme deux enfants sur deux balançoires se tenant la main) nous permet d'étudier les différents types de dynamique. La mise en équations ne présente pas de difficultés, elle correspond à la description bien connue de deux oscillateurs rappelés par une force vers leur point d'équilibre auxquels nous avons pris soin d'ajouter une interaction élastique. Dans ce dernier terme est introduit un paramètre qui tient compte de la rigidité de cet élastique de sorte qu'il soit possible de faire varier à travers ce paramètre l'intensité du couplage entre les oscillateurs. La résolution numérique des équations d'évolution pour différentes intensités de couplage nous donne l'évolution dans le temps des coordonnées repérant l'état de ces oscillateurs à chaque instant (trajectoires) ainsi que les vitesses des deux objets.

La représentation graphique de ces grandeurs en fonction du temps nous apporte une première information qualitative concernant la nature des trajectoires et de la dynamique du système. Pour de très faibles couplages, les objets oscillent de façon périodique très régulière (sinusoïdes), l'amplitude des oscillations reste la même au cours du temps, ce comportement caractérise une dynamique régulière. L'augmentation progressive

de l'intensité du couplage entre ces deux systèmes conduit à une évolution dans le temps de moins en moins régulière. La fréquence des oscillations augmente, leur amplitude varie d'une oscillation à l'autre ainsi que la fréquence² pour devenir complètement erratiques lorsque le régime chaotique est atteint, la phase de désordre est alors réalisée. Il n'existe alors plus de fréquence d'oscillation privilégiée, l'évolution est complètement apériodique, l'énergie totale du système se transfère très rapidement d'un degré de liberté vers un autre. Connaissant l'état initial du système, il n'est alors pas possible de prévoir de façon analytique le devenir de chacune des grandeurs caractérisant ce système aux instants futurs. Seul un calcul numérique permet d'accéder à ces informations. Si le système est extrêmement chaotique, l'estimation de l'état du système à des instants éloignés peut s'avérer incalculable : le temps nécessaire pour obtenir cette information peut devenir infini et les troncatures des nombres peuvent induire un chaos numérique incontrôlable. De même, si l'on observe un tel système à un instant précis, la moindre erreur de mesure sur son état nous empêche de remonter son histoire pour savoir comment il pouvait être à des instants reculés, sauf peut-être pour des instants très proches.

En considérant deux trajectoires initialement très proches l'une de l'autre, toutes deux solutions des équations d'évolution, et en comparant leur devenir sur des courts instants il est possible de quantifier l'aspect chaotique de leur dynamique. Si la distance dans l'espace des configurations à $3N$ dimensions entre ces deux trajectoires évolue exponentiellement avec le temps, le système est chaotique et la mesure de l'intensité de leur divergence permet d'introduire le coefficient de Lyapunov mesurant la chaotité de la dynamique. Si ces trajectoires initialement très proches ne divergent pas mais s'écartent un peu puis se rapprochent l'une de l'autre tout en restant dans un infime volume autour de l'une d'elles prise comme référence, alors la dynamique est régulière. Il n'y a dans ce dernier cas pas d'amplification de l'indétermination ou imprécision initiale, et observer l'une ou l'autre des deux trajectoires est équivalent dans la mesure où leur différence initiale est négligeable.

²*Lorsque la phase désordonnée est réalisée, le spectre de Fourier associé à l'évolution dans le temps des coordonnées généralisées est plat tandis qu'une dynamique régulière est associée à un spectre de pics correspondant aux fréquences d'oscillations propres des sous-systèmes.*

Enfin la représentation (section) de Poincaré permet une représentation différente des trajectoires afin de statuer sur leur instabilité éventuelle. Retenons simplement que dans cette représentation, les trajectoires stables forment des courbes régulières (de dimension 1) tandis qu'une trajectoire extrêmement instable (ergodique) explore seule l'intégralité de l'espace des configurations et remplit uniformément la représentation de Poincaré.

Nous venons de présenter les caractéristiques d'un comportement chaotique dans la description classique. Nous avons vu qu'un tel comportement apparaît dans un système complexe quand les entités élémentaires le constituant interagissent fortement les unes avec les autres, que ce soit par l'intermédiaire de forces à longue portée ou par des chocs. Nous avons vu que le chaos se traduit par une extrême sensibilité aux conditions initiales et une divergence des trajectoires initialement proches sans en proposer d'explication. Dans la partie suivante, nous allons tenter d'apporter une piste explicative en regardant ce que peut nous apporter une description quantique d'un système analogue qui à la limite classique doit conduire aux mêmes observations.

3 Dynamique exacte d'un système quantique

La mécanique quantique adopte une description du système physique légèrement différente de celle que nous venons de présenter [7, 8, 9]. Elle associe à chaque système deux types d'objets, les états et les observables. L'état du système peut être repéré dans un espace discret par un jeu de coefficients, analogues des coordonnées de notre précédent système classique. Les observables sont des êtres mathématiques caractérisant les grandeurs physiques mesurables qui combinées à un état permettent de prévoir statistiquement le résultat des expériences envisagées. Par exemple l'Hamiltonien est l'observable correspondant à l'énergie totale du système et joue un rôle particulier puisqu'elle gouverne à elle seule toute la dynamique à travers l'équation d'évolution de Schroedinger.

Afin d'illustrer ce propos, considérons un système simple de deux petits aimants quantiques en interaction schématisés en haut de la figure 2. Chacun des petits aimants peut se trouver dans J états quantiques discrets différents indiqués sur l'axe de gauche et repérés par leur projection m_1 et m_2 . Il existe alors J^2 états quantiques possibles pour le système

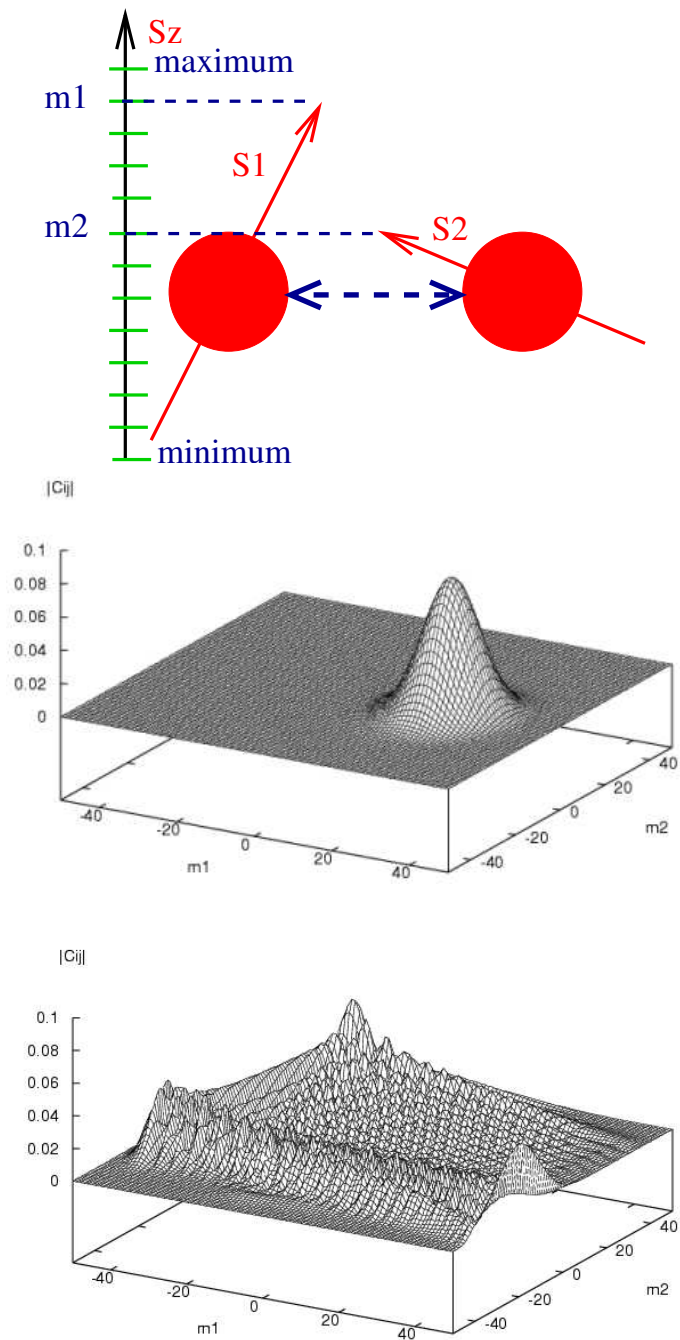


FIG. 2 – **État du système** En haut deux moments magnétiques S_1 et S_2 en interaction. Leurs projections sur l'axe d'observation S_z à gauche ne peut prendre que des valeurs discrètes entre un minimum et un maximum. Au centre, le paquet d'onde initial gaussien est facilement repéré par un petit jeu de paramètres tels le centroïde de la cloche et sa largeur. Du fait du couplage entre les deux aimants, ce paquet d'onde s'étale au cours du temps comme le montre la figure du bas et se diffuse dans l'espace des états, sa représentation devient complexe et nécessite l'évaluation de nombreuses observables.

total (toutes les combinaisons possibles des deux valeurs m_1 et m_2). Si l'on veut savoir dans quel état se trouve le système, il suffit d'effectuer J^2 observations indépendantes³, c'est à dire l'action de J^2 opérateurs sur l'état instantané du système. Ces J^2 observations permettent de déterminer les J^2 coefficients C_{ij} caractérisant l'état quantique du système à un quelconque instant. La figure centrale sur la figure 2 montre par exemple l'état initial que nous avons choisi pour notre simulation. Il s'agit d'un paquet d'onde gaussien à deux dimensions, centré sur une valeur de m_1 et une valeur de m_2 dans cette représentation choisie. L'axe s'étirant vers le haut figure les coefficients C_{ij} caractérisant l'état du système tandis que les deux autres axes du plan horizontal caractérisent les états possibles m_1 et m_2 de chacun des petits aimants. Nous voyons que la donnée des coordonnées du centre de cette courbe en cloche apporte une bonne information sur l'état total du système : globalement dire que l'aimant 1 à une aimantation $m_1 = 35$ et l'aimant 2 un aimantation $m_2 = -20$ caractérise assez bien le système. L'évaluation de deux observables Sz_1 et Sz_2 mesurant la valeur attendue de la projection de ce paquet d'onde sur chacun des axes m_1 et m_2 apporterait par exemple une information suffisante pour caractériser cet état. On dirait dans ce cas que ces deux observables Sz_1 et Sz_2 sont des observables pertinentes. Si l'on ajoute à ces deux dernières les observables mesurant la largeur du paquet, on dispose alors d'un ensemble d'observables pertinentes qui nous apporte une information relativement complète de notre système à un instant donné. On peut ainsi croire que suivre dans le temps la valeur de ces observations peut s'avérer suffisant pour bien décrire l'état du système.

Nous avons introduit une très faible interaction entre ces petits aimants et effectué le calcul de la dynamique exacte de ce système. L'état obtenu après un très court instant est représenté au bas de la figure 2. On remarque que l'information sur le système est alors répartie dans tous l'espace des états et non plus localisée dans une petite zone de celui-ci. Le couplage entre les degrés de liberté du système a réparti l'information initialement contenue dans un petit nombre d'observables sur tous les degrés de liberté du système. Dans cette représentation il devient difficile

³*Nous supposons ici que nous connaissons parfaitement l'Hamiltonien du système permettant de propager l'état initial parfaitement connu du système. L'espace des états est de dimension finie.*

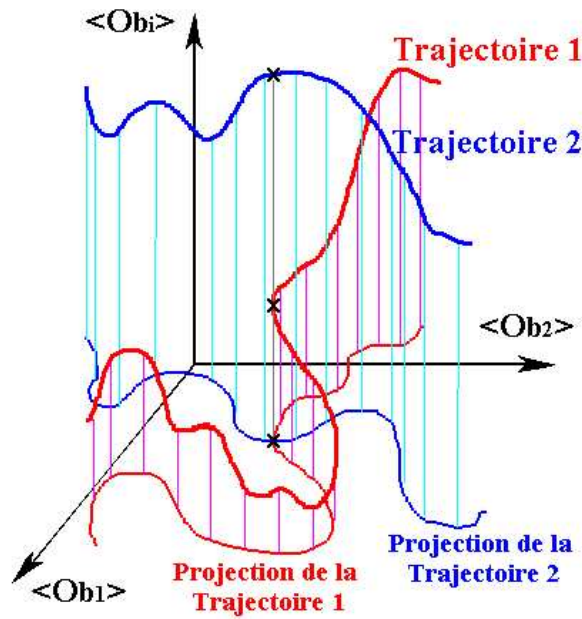


FIG. 3 – Projection de la dynamique

de caractériser l'état du système. Si l'on souhaitait se lancer dans une telle aventure, il faudrait faire appel à un grand nombre d'observations indépendantes. Il serait alors bien difficile de se représenter les valeurs attendues de toutes ces observables du fait de leur grand nombre et de leur sens physique difficilement perceptible. Si l'on se borne à ne regarder qu'un petit nombre d'observables simples, comme celle décrivant les intensités des moment magnétique m_1 et m_2 . L'information sur le système est alors très incomplète. L'évolution dans le temps de ces observations mime un comportement chaotique au même titre que ce que nous avons signalé au début de cette discussion concernant la description classique. L'évolution des observations est hautement apériodique, les trajectoires observées dans cet espace réduit envahissent à l'image des paquets d'ondes tous les recoins de cet espace d'observation.

D'un point de vue formel, si le Hamiltonien traduisant l'interaction de tous les constituants est défini et si l'on connaît exactement l'état du système à un instant précis, c'est à dire si l'on connaît la valeur numérique de tous les coefficients caractérisant le vecteur d'état, alors l'équation de Schroedinger permet de connaître exactement l'état du système à tout instant ultérieur. C'est en ce sens que l'on affirme qu'il ne peut y avoir de

chaos en mécanique quantique [10]. Les systèmes à N-corps que nous aimons étudier peuvent être décrits rigoureusement par ce formalisme, mais leur complexité fait qu'il est impossible et surtout inutile d'envisager une telle description. Il est alors préférable de restreindre l'étude de la dynamique à l'observation d'un petit nombre de variables pertinentes. Ainsi la dynamique quantique exacte du système doit être projetée dans un sous-espace d'observation pertinent comme le montre la figure 3. Sur cette représentation schématique, les différents axes d'observation servent à repérer les trajectoires du système. Les observations $\langle Ob1 \rangle$ et $\langle Ob2 \rangle$ correspondent à des observables pertinentes sensées apporter une information importante sur le système. Ce sont par exemple les projections $Sz1 = m1$ et $Sz2 = m2$ pour nos aimants. On attend de l'ensemble des observations pertinentes qu'il nous apporte une information globale aussi complète que possible sur le système. Le troisième axe vers le haut de la figure représente toutes les autres dimensions que l'on oublie en effectuant la projection de la dynamique dans le sous-espace $\{\langle Ob1 \rangle, \langle Ob2 \rangle\}$, ce sont les très nombreuses observables jugées non pertinentes qui jouent cependant un rôle sur la dynamique. La figure 3 montre deux trajectoires ainsi que leurs projections dans l'espace d'observation pertinent. Dans l'espace total ces deux trajectoires sont complètement différentes et ne coïncident jamais, ce sont deux histoires différentes d'un même système physique. Leurs projections sont aussi différentes comme le montrent les lignes dans le plan $\{\langle Ob1 \rangle, \langle Ob2 \rangle\}$. Mais ces dernières se coupent cependant, c'est à dire que les représentations coïncident, à un instant donné. Dans cette espace d'observation réduit où la dynamique a été projetée, nous avons l'illusion à cet instant de voir un même état du système. Si l'on considère uniquement ce point, on peut croire que les deux projections correspondent à une même trajectoire et imaginer que leur devenir doit être semblable aux instants à venir et que leur passé a aussi été le même. Or si l'on cherche à obtenir plus d'information sur ces états projetés du système, c'est à dire si l'on effectue d'autres observations complémentaires, ces dernières, comme le montre la figure, nous apparaîtront alors distinctes. On conçoit alors sans difficulté le fait qu'elle puissent avoir un passé et un avenir différents, et nous ne sommes pas surpris de les voir se séparer après une courte rencontre "virtuelle". Ainsi nous comprenons que si l'on possède une information restreinte sur l'état instantané d'un sys-

tème, deux états identiques dans un espace d'observation réduit peuvent très bien avoir des devenir divergents étant donné qu'ils ne sont équivalents à cet instant qu'en ce qui concerne un petit nombre de considérations mais qu'ils diffèrent l'un de l'autre à de nombreux autres égards.

Le chaos n'existe donc pas rigoureusement en mécanique quantique [10] mais notre incapacité à décrire de façon complète les objets que nous étudions nous conduit à restreindre notre connaissance sur ces systèmes à un petit nombre d'observations pertinentes. Ainsi l'évolution dans le temps de ces grandeurs peut mimer un comportement chaotique du fait de l'ignorance partielle que nous avons sur ce système qui joue un rôle non négligeable dans son évolution au cours du temps.

4 Conclusion

Dans cette contribution nous avons vu que l'évolution dans le temps d'un système physique complexe, constitué de plusieurs entités élémentaires en interaction les unes avec les autres, peut être représentée dans un espace multidimensionnel par une succession de points que l'on appelle trajectoire. Cette trajectoire est la solution d'une ou plusieurs équations différentielles traduisant l'évolution dans le temps de ce système physique et prenant en compte les interactions entre les constituants de ce système. Selon la complexité du système, deux classes d'évolutions dans le temps se présentent. Si le système est simple ou si sa description peut être réduite à un petit nombre contrôlable d'observations, l'évolution du système peut être prédite pendant un temps assez long. Si les constituants du système interagissent fortement les uns avec les autres, il devient alors nécessaire de prendre en compte toutes les corrélations entre les observables. La dynamique devient alors très complexe et notre incapacité à décrire ou appréhender l'évolution du système nous conduit à ne considérer qu'un petit nombre d'observations pertinentes. Cette projection de la dynamique dans un espace réduit d'observation a pour conséquence une perte d'information sur l'état exact du système. Une telle approximation peut alors mimer un comportement chaotique. Cette incapacité à prévoir l'évolution de l'état instantané du système nous conduit à adopter une approche statistique du problème. Celle-ci consiste à prendre en compte notre ignorance sur l'état exact instantané du système et ne plus chercher

à suivre dans le temps une unique trajectoire. Cette approche cherche à reproduire statistiquement toutes les configurations que le système emprunte au cours de son voyage chaotique dans l'espace des configurations.

5 Remerciements

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Philippe Chomaz et Chahouh Lyazidjian au Grand Accélérateur National d'Ions Lourds de Caen. De nombreuses discussions avec Francesca Gulminelli et Olivier Juillet du Laboratoire de physique corpusculaire de Caen ont permis d'orienter cette étude.

Références

- [1] A. Liapounov, Problème général de la stabilité du mouvement, Edition J. Gabay (1988)
- [2] L'ordre du chaos, Bibliothèque pour la science (1997)
- [3] P. Bergé, Y. Pomeau, Ch. Vidal, L'ordre dans le chaos, Hermann (1988)
- [4] P. Manneville, Systèmes dynamiques et chaos, Cours de l'Ecole Polytechnique (1999)
- [5] B. Diu, C. Guthmann, D. Lederer, B. Roulet, Physique Statistique, Hermann
- [6] Press, Flannery, Teukolsky, Vetterling, Numerical Recipes, The art of science computing, Cambridge University Press
- [7] O. Juillet, cours de physique statistique D.E.A de Caen <http://www.physique-eea.unicaen.fr/tice/pdf/cours.htm>
- [8] P. Chomaz, Stochastic approaches to out-of-equilibrium dynamics, Cours de l'école de Seville (1997)
- [9] P. Chomaz, Habilitation à diriger des recherches et cours de physique statistique du D.E.A de Caen
- [10] M. Berry, Quantum Chaology, Physica Scripta 40, 335 (1989)
- [11] S. Faure <http://www-lpm2c.grenoble.cnrs.fr/faure/>

L'Eternel retour *voilé*

Francis Rousseaux

Université de Reims, délégation CNRS à l'Ircam

francis.rousseau@ircam.fr

Mots Clés : la Mode, le changement, la répétition, le *même*, *l'Eternel retour*, la liturgie chrétienne de l'Église romaine, la ronde des saisons, le temps, le climat, le rituel, l'été, expérience singulière, épisode scandé, la séduction, la féminité, le corps propre.

Préambule : Début de l'été à Paris

Dieu que les filles sont jolies, ce matin, à Paris ! Aucun moyen d'échapper à l'attraction, dont la multiplicité donne le tournis ... Mieux vaut s'enfermer que de perdre la tête ... Misons que la langue de Cervantès fait fausse route lorsqu'elle confond l'enfermement avec la maladie ... Il doit bien y avoir un interstice, un enfermement préventif de la *enfermidad* ...

Il faut dire que c'est *presque* déjà l'été (nous sommes le 14 juin), que c'est même *déjà* l'été, abstraction faite du mouvement des planètes qui seul édicte la norme ... Tout y est : la chaleur, œuvrant depuis plusieurs semaines, la visée des vacances *d'été*, les invitations à dîner en terrasse à *partir de* 20h30, les bicyclettes remontant les rues et les trottoirs, et surtout l'agitation des filles qui viennent de remiser leurs affaires d'hiver pour s'essayer dans leurs nouvelles tenues légères et se familiariser avec leur nouveau corps porté (comme on dit l'ombre portée). C'est presque un nouveau corps en effet, et il leur faut réapprendre à marcher, à *bouger*, à parler, et à soutenir le regard des hommes.

Je me sens engagé malgré moi dans ce vaste exercice de ré-étalonnage, fasciné et confus, incapable de discerner le test de réglage, finalisé et clos, de l'entrouverture dialogique d'un rapport amoureux. Tout cela va trop vite, s'avère immédiatement vain et étourdissant, mais impossible de se détacher de la scène, de ne pas répéter ce regard concupiscent, de ne pas guetter du coin de l'œil le regard de la belle (les femmes savent voir sans être vues *regardant*), de ne pas s'abrutir et dévaler ...

Mieux vaut rentrer et attendre le retour à *la normale* en feuilletant le journal. Ça passera ...

Dérivation 1 : Pas de défilé Balmain cet été

La maison Balmain ne présentera pas, début juillet, de collection haute couture automne-hiver 2003-2004. La griffe parisienne, créée en 1945, évoque « *la conjoncture internationale* », mais précise que son activité couture n'est pas remise en cause. Elle sera présente dès janvier avec la collection printemps-été 2004, a-t-elle affirmé.

Balmain a également mis fin au contrat de son directeur artistique Laurent Mercier, 38 ans, nommé en novembre 2002 à ce poste, où il avait pris la succession d'Oscar de la Renta. Il a été le créateur attitré de plusieurs stars de la chanson dont Lenny Kravitz, Vanessa Paradis, Nina Hagen ou Sylvie Vartan. Ancien élève de l'école Berçot de Paris, M. Mercier a été notamment assistant de Jean-Paul Gaultier. Un nouveau directeur artistique sera nommé dans la première quinzaine de juillet, a indiqué la maison Balmain à l'AFP.

Pas de défilé Balmain cet été (*Le Monde* du samedi 14 juin 2003, page 21)

Les maisons de haute couture, les défilés de mannequins, les griffes de collections vestimentaires, *la Mode* ...

C'est vrai, j'oubliais de dire que toutes ces filles dans la rue (décidément, elles occupent encore mon esprit) qui paraissent mettre au point des dispositifs de séduction, disposent avec la Mode d'un formidable support.

Elles semblent puiser là des pulsations, des incitations à la fois ouvertes et restreintes, des inspirations, un rythme, des exigences qu'elles vont travailler, filtrer, s'approprier (il n'y a qu'à voir le travail que font les jeunes filles des rives de la Méditerranée avec la *passeggiata*, avec quel sérieux et régularité elles pratiquent cette mise en scène quotidienne de la posture de séduction, tirant profit de chaque répétition pour mesurer leur attraction différentielle, changeant de variable pour d'intuitives études d'impact, adaptant leur gestuelle pour optimiser leurs effets, synchronisant leur conduite sous l'effet des mystérieux édits de la Mode, qui prescrivent leur conduite sans négliger de s'arrimer aux atouts singuliers de chacune ...).

Mais *qui* fait la Mode ? La maison Balmain et ses concurrentes ? Laurent Mercier et son futur remplaçant ? Vanessa Paradis et Sylvie Vartan ? Les clientes des boutiques de vêtements ? Comment *fonctionne* la Mode, à la fois récurrente et permanente, arraisonnée par les saisons mais prétendant se substituer aux planètes pour les décider ? Comment procède-t-elle pour dédaigner tant de paramètres qui pourtant devraient la déterminer, et finalement les réduire en esclavage ? En quoi la Mode est-elle l'alliée infallible des séductrices ?

Il faudrait enquêter de ce côté-là ... Et peut-être parvenir ainsi à percer le *secret* que les filles s'échangent en chuchotant à travers les rues de Paris ...

Dérivation 2 : Nada es lo mismo

Pour l'heure, laissant *Le Monde* se souvenir et porter seul ma promesse d'investigation autour de la Mode, je tombe sur un poème, là sur le piano, que je me suis promis d'apprendre par cœur pour le plaisir de le gueuler ensuite (au sens de Flaubert) sur tous les tons, de faire rouler les « r » et tremper les « ll », de varier la vitesse d'élocution pour observer comment la prosodie et le sens s'en trouvent déplacés ...

C'est un poème en espagnol d'un auteur natif des Asturies, Angel González, et qui a vécu longtemps aux Etats-Unis, ayant fui la Guerre civile de 1936 (tiens ça aussi, il faudrait pouvoir en parler un jour, de la position – im-posture ? – française pendant la guerre d'Espagne). Le texte s'intitule *Nada es lo mismo*, qu'on pourrait peut-être traduire par “rien n'est jamais pareil”, ou de façon plus allusive aux présocratiques et à Héraclite “le *même* n'existe pas”.

La lágrima fue dicha.

Olvidemos
el llanto
y empecemos de nuevo,
con paciencia,
observando a las cosas
hasta hallar la menuda diferencia
que las separa
de su entidad de ayer
y que define
el transcurso del tiempo y su eficacia.

¿A qué llorar por el caído
fruto,
por el fracaso
de ese deseo hondo,
compacto como un grano de simiente?

No es bueno repetir lo que está dicho.
Después de haber hablado,
de haber vertido lágrimas,
silencio y sonreíd:
nada es lo mismo.

Habrá palabras nuevas para la nueva
historia
y es preciso encontrarlas antes de que sea
tarde.

La larme fut dite.

*Oublions
les pleurs
et commençons de nouveau,
avec patience,
observant les choses
jusqu'à découvrir la moindre différence
qui les sépare
de leur entité d'hier
et qui définit
le cours du temps et son efficacité.*

*Pourquoi pleurer le fruit
tombé,
l'échec
de ce désir profond,
dense comme un grain de semence ?*

*Il n'est pas bon de répéter ce qui fut dit.
Après avoir parlé,
après avoir versé des larmes,
silence, souriez :
rien n'est jamais pareil.*

*Il y aura des paroles neuves pour la
nouvelle histoire
et il est nécessaire de les trouver sans
tarder.*

(traduction sauvage Rousseaux)

J'aime qu'on essaie d'éloigner le *même* du noyau originare pour faire place première à l'expérience singulière. Car c'est bien à cela que nous invite le maître de cérémonie lorsqu'il nous enjoint de sécher ces larmes, versées en situation douloureusement éprouvée, pour réexaminer la situation : savoir tirer parti du temps et profiter de son efficacité, de sa faculté à entraîner le changement dans son cours. S'en remettre au différent est toujours à portée du regard et de la main, il suffit de se souvenir que le *même* est pur artifice, pure construction, et faire ainsi lâcher prise aux idées et aux concepts qui hypostasient la situation en la surdéterminant.

J'aime aussi cette intrication entre la synthèse et l'analyse, qui donne aux impasses de la première de renoncer au profit d'une reconstitution confiante, d'une réactualisation du réel ouverte par le temps, dépouillé au passage de ses habits d'apparat et de son primat sur l'expérience : le temps n'est plus condition de possibilité de l'expérience

en un sens *théorique* comme chez Kant; il vient *pratiquement* à notre secours lorsque le *même* fait montre d'une hégémonie trop catégorique.

J'aime encore cette simplicité paradoxale avec laquelle est traitée la répétition : car si rien n'est jamais pareil, comment pourrait-on, en répétant « lo que está dicho », faire autre chose que le dire *de nouveau*, ces mêmes paroles devenant alors paroles neuves, au sens des « palabras nuevas » du poème ? Mais peu important au poète ces possibles élucubrations, qui préfère révéler une solution silencieuse, souriante et apodictique : « silencio y sonreíd: nada es lo mismo ».

Car c'est bien une idée qui finalement triomphe, affranchie du temps par essence, celle que *le temps ne pourra jamais faire que le changement s'arrête, que le même se glisse subrepticement jusque dans le noyau originare.*

Le temps a certes sa productivité ... Mais c'est seulement en limite, par différenciation, qu'il permet à l'expérience singulière de détourner du *même* : sous condition du différent (qu'on pourrait aussi écrire ici à la Lyotard « différend »), qui lui confère efficacité. S'il conserve son seul privilège non usurpé, celui d'être l'opérateur efficace du changement, le temps est renvoyé à son impuissance à changer le changement en *même*. Il est vaincu, chez Angel González, par l'idée de la possibilité permanente du réexamen.

C'est comme s'il n'était mobilisé que pour construire des notions qui s'en affranchissent bientôt, à vivre dans la passion de leur validité (le fruit destiné à fructifier), mais qu'il faut impérativement laisser aussitôt qu'elles conduisent au bruit et aux larmes. Ainsi le temps est-il réduit à ne pouvoir être que l'éternel et vain contestataire du changement ... La mort constatée du fruit tombé n'est pas la fin du monde.

Dérivation 3 : Si le monde se renouvelait éternellement ...

Tout de même, comment le temps s'y prendrait-il pour contester le changement, s'il lui venait cette étrange fantaisie ? Quelle figure complice pourrait-il bien inventer pour accroître son efficacité jusqu'aux pleins pouvoirs ?

Il pourrait viser son repli dans la figure de *l'Eternel retour*, qui le verrait triompher dans sa prétention à fixer l'immuable, modulo la répétition d'un épisode. *L'Eternel retour*, en tant qu'il parviendrait à contraindre le changement à un repli sur lui-même, aurait ainsi la puissance de l'annihiler, en l'engageant au second degré dans un cercle vertueux irrévocable.

Ainsi le temps serait-il rendu maître absolu du changement, l'engendrant par simple jaillissement et pouvant *a volo* le nouer sur lui-même jusqu'à en inhiber toute manifestation.

Que dis-je ! La figure de *l'Eternel retour* n'exige nullement la répétition d'un *même* épisode pour pouvoir opérer; on saura toujours exhiber une raison, une occurrence ou une scansion, un rythme et un germe déployé : un rapport construit toujours les éléments qui s'y rapportent, pourvu qu'on l'analyse. Ainsi pourra-t-on prétendre reconnaître la figure de *l'Eternel retour* derrière la séquence d'un *même* se répétant sans cesse, mais aussi derrière un déploiement plus luxuriant, pourvu qu'on en exhibe a posteriori l'équation cachée.

Car s'il est impossible de *concevoir* un rapport ondulatoire, il est toujours possible d'*analyser* un rapport donné (comme non ondulatoire); l'effort des sciences positives est d'ailleurs entièrement tourné vers cet objectif depuis bien longtemps. Et les méthodes affluent.

Si la figure de *l'Eternel retour* ouvre au *même*, c'est parce qu'elle le suppose déjà. Et Nietzsche, un de ses plus ardents promoteurs ne s'y trompe pas lorsqu'il cherche à prouver la *nécessité* de cette figure : il procède à une démonstration par l'absurde (*La volonté de puissance*, § 322), qui lui évite de décrire son objet *de l'intérieur* :

« Si le monde *se renouvelait éternellement*, on supposerait qu'il est un être miraculeux, divinement libre de créer toujours de son fonds. Le *renouvellement* perpétuel suppose que la force grandisse d'elle-même par un libre choix, qu'elle ait non seulement l'intention, mais les moyens de *se garder* de toute répétition, de toute rechute dans une forme ancienne, donc qu'elle puisse à tout instant contrôler chacun de ses mouvements pour éviter cette répétition – ou encore qu'elle soit *incapable* de revenir à la même position : cela revient à dire que la masse de cette force ne serait rien de *constant*, pas plus que les qualités de cette force. *Il nous est absolument impossible de concevoir* une force *instable*, ondulatoire. »

Je pense pour ma part que la figure de *l'Eternel retour* nous leurre lorsqu'elle prétend circonscrire ou clore le changement dans une maîtrise. Je la vois davantage comme une figure stratégique de gestion ou de commandement, une fiction opérationnelle

qui fournit, à condition d'y adhérer dogmatiquement, le fond indispensable à toute économie, à toute pédagogie et à toute morale.

Pour moi, c'est *le vécu de répétition* (ou l'exhibition d'un rapport éprouvé) qui *crée le même* ainsi que *l'épisode*, et pas l'inverse, contrairement à une croyance tacite et naïve. Qu'on pense seulement au cas de la reconstitution judiciaire, dans laquelle on fait jouer à l'accusé (préssumé innocent) le rôle du coupable. Sait-il seulement lui-même s'il *est* le coupable ? N'est-il *même* que le coupable ? S'en souvient-il ? Aujourd'hui de toute façon, il est différent d'hier ... La question de sa culpabilité est pour lui une question seconde, sous condition de la mémoire et de la morale. Mais le problème juridique de la culpabilité sera bientôt tranché, révélé à travers la gestuelle dictée par le rôle : selon que le corps répète l'épisode ou le visite pour la première fois, le *même* jaillira ou non, accusant ou disculpant l'accusé.

Lorsque le corps propre répète, le *même* de l'accusé et du coupable s'en trouve prouvé, aux yeux même du répétant qui se retrouve comme arraisonné à son propre corps. Le *corps défendant* a un contraire, le *corps accusant*.

Ce qui est étrange, c'est qu'alors que rien n'est jamais pareil, rien aux yeux du juge ne peut commuer en innocence retrouvée le fait d'avoir été coupable. Et l'accusé doit vivre son inculpation de l'intérieur pour se convaincre que la justice des hommes ne fonctionne pas comme les choses humaines ordinaires. Être rassasié ne signifie nullement qu'on soit définitivement à l'abri de la faim (le temps transformera vite la satiété en faim, comme en témoigne Knut Hamsun dans son inoubliable Faim), mais être coupable de quelque chose signifie qu'on le restera quoi qu'il arrive, jusqu'à la peine purgée après qu'elle ait été prononcée lors du jugement.

Car si je suis juridiquement coupable, la reconstitution me conduira à répéter, et donc à signer infailliblement le *même* de la scène reconstituée avec la scène criminelle. Il s'agit en premier lieu que le coupable *reconnaisse* sa culpabilité, en un sens banal et non moral cette fois : il doit être convaincu, et donc révéler spontanément au monde, qu'il y a bien unité de personne (et donc de responsabilité) entre l'acteur *effectif* de l'époque et lui-même aujourd'hui.

Ainsi, le principe de responsabilité exige le dogme du *même* pour pouvoir s'exercer. *L'Éternel retour* de la subjectivité origine la morale ... et alimente la guillotine. Au fond, la justice des hommes est fondée sur une fiction temporelle, celle de l'intemporalité de la culpabilité, qui ressortirait exclusivement et définitivement d'une logique formelle inconditionnée par le temps.

Pour bien faire et ne pas brusquer les choses, il faudrait examiner de plus près les différentes figures que peut prendre le temps, en s'enchevêtrant, pour servir des fictions opérationnelles ...

Il me vient une idée à ce propos, en ces lendemains de Pentecôte ... Celle de rendre visite à un haut lieu d'habitation de *l'Eternel retour* comme fiction productive : la liturgie chrétienne, telle qu'elle a été imaginée au fil des Conciles et telle qu'elle opère aujourd'hui dans le rituel catholique romain.

Dérivation 4 : L'anniversaire du Soleil Invaincu

Henri-Irénée Marrou, dans son ouvrage *L'Eglise de l'Antiquité tardive (303-604)*, évoque en ces termes la question de la liturgie et des sacrements chrétiens à la fin du IV^{ème} siècle :

« La vie religieuse du chrétien a pour centre la participation au culte officiel, à la liturgie, au sacrifice eucharistique. Liturgie devenue presque partout quotidienne, célébrée avec plus de solennité le dimanche (en Egypte, le samedi et le dimanche) et aux jours de fête. L'année ecclésiastique commence à prendre forme, le temporel s'organisant autour de deux pôles.

Le premier est bien entendu Pâques (Orient grec et Occident latin n'en calculent pas encore la date d'après le même comput), la fête des fêtes se prolongeant d'un côté en direction de la Pentecôte, préparée d'autre part par un temps de pénitence, le carême; c'est au cours du IV^{ème} siècle que la discipline s'est précisée au sujet de celui-ci, avec des variantes régionales, notamment dans la durée du jeûne.

Le second pôle, celui des fêtes d'hiver consacrées au mystère de l'Incarnation, a une origine plus complexe. Les églises d'Orient avaient fixé au 6 janvier une fête en quelque sorte idéologique célébrant l'apparition, la manifestation de Dieu sur la terre, Epiphanie, Théophanie; la commémoration de la Nativité au 25 décembre apparaît à Rome quelque temps avant 336 : il semble bien que le christianisme triomphant se soit annexé, en lui imposant une signification nouvelle, la fête païenne de l'anniversaire du Soleil Invaincu dont l'empereur Aurélien en 274 avait cherché à faire la religion commune de l'Empire. Vers la fin du IV^{ème} siècle les diverses églises s'empruntèrent mutuellement leurs fêtes qui se juxtaposèrent ainsi dans leurs calendriers. »

Fut-ce pendant le concile d'Arles (314), le concile de Nicée (325), celui de Constantinople (381) ou de Vatican (386), d'Hippone (393) ou de Carthage (397), voire de Chalcédoine (451) ? Qui donc a eu l'idée géniale (peut-être y avait-on pensé bien avant la chrétienté) de replier la vie d'un homme sur le cercle de l'année solaire, pour en faire une année liturgique à la gloire exclusive de cet homme ?

Qui a pensé à indexer l'année solaire par les anniversaires des événements clés de la vie d'un homme, de façon à lier inextricablement le temps sidéral à celui de la commémoration ? Le cycle des saisons se fait alors moteur de la célébration, et rythme la scansion. Petit à petit, au fil des coïncidences, la vie religieuse vient surdéterminer le cycle solaire, sans jamais pour autant l'évacuer : il est épousé.

Imagine-t-on un cycle liturgique chrétien qui durerait aussi longtemps que la vie du Christ elle-même ? Imagine-t-on un cycle liturgique qui ne cadre pas avec le cycle solaire ? Oui, les Musulmans ont une liturgie lunaire, mais l'année temporelle est ici tout entière lunaire ... Il serait absurde de ne pas prendre les astres à témoin.

Je donnerais cher pour savoir comment on s'est organisé au fil des Conciles pour résoudre les mille problèmes techniques et mnémotechniques qui découlent de l'invention du cycle liturgique par repli de la vie chronologique de Jésus sur une année solaire. Car la chose ne va pas de soi ! Loin s'en faut ...

Imaginons un peu l'espace des contraintes, et jouons à les résoudre par propagation, un peu comme on programmerait un système informatisé d'ordonnancement, de planification ou d'allocation de ressources.

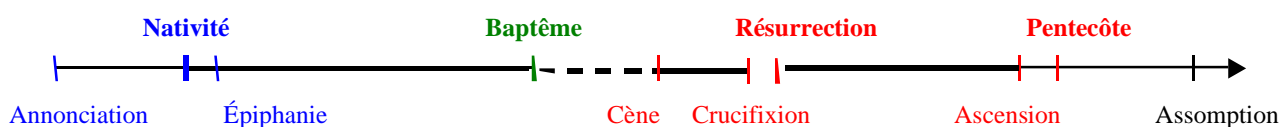


Figure 1: La vie chronologique de Jésus (en traits gras, plein ou pointillé) et les événements qui la ponctuent

1° D'abord il est *préférable* que les deux épisodes adhérents aux deux pôles principaux que sont Pâques et la Nativité ne se chevauchent pas (j'appelle épisode la durée qui enveloppe une série chronologique d'événements se déroulant dans la

cohérence d'une certaine logique – biologique, topologique, apostolique ou prophétique) : imagine t-on célébrer Noël entre la Crucifixion et la Résurrection ?

2° Ainsi, il est pédagogiquement *pertinent* de regrouper tout ce qui peut l'être autour de ces deux pôles, la proximité chronologique renforçant le sentiment épisodique et soulignant le caractère nécessaire de la succession. Par exemple, la célébration du Baptême du Christ par Jean le Baptiste (qui a lieu comme on sait alors que Jésus était adulte), est judicieusement rapprochée de sa naissance et fêtée le dimanche suivant l'Epiphanie, afin de dégager un épisode de croissance spirituelle du futur prophète.

3° Ainsi il est mnémotechniquement *judicieux* que la myriade d'événements d'importance non primordiale qui consolident le cycle liturgique se trouvent positionnés de manière à ne pas perturber la représentation d'une vie entière vécue en un an, sur un mode accéléré. Imaginez vous célébrer l'Assomption (la Dormition de Marie a été instaurée le 15/08 par l'empereur Maurice dès l'Antiquité) quelques jours avant la Crucifixion, scène abondamment décrite ou représentée en présence de Marie pleurant la mort de son fils ?

4° Enfin il faut faire place convenable aux cas particuliers. En examinant le calendrier liturgique de l'Eglise catholique romaine, j'ai d'abord été surpris d'y trouver l'Annonciation le 25 mars, date très proche de Pâques et qui risque de prêter à confusion et de nuire à la lisibilité de l'espace bipolaire. Mais où avais-je la tête ? Un rapide calcul montre que le 25 mars a lieu *neuf mois* avant le 25 décembre ... Le dogme de l'Immaculée Conception (aujourd'hui fêté le 8 décembre, juste avant Noël) étant très tardif, rien ne permettait à l'Eglise de l'Antiquité d'éviter de devoir rattacher *biologiquement* l'annonce faite à Marie par l'Ange Gabriel, précédant canoniquement la naissance des neuf mois de rigueur, à l'épisode de la Nativité.

Reste que cet événement est le seul qui chevauche le cercle liturgique, et qu'il faut comprendre comme ayant lieu *l'année précédente*. Pour le traiter en toute rigueur, il eut fallu étendre le cycle liturgique à deux ans, ce qui bien entendu en aurait rompu toute la puissance.

5° Il faut encore remarquer que *l'origine du récit* (la Nativité, passage par le recommencement du cycle narratif) est distincte de *l'origine de la foi* chrétienne (la Résurrection, source originaire de la croyance dans le Messie rédempteur).

Chacun des pôles peut ainsi jouer à sa façon le rôle d'un point de passage par zéro du temps circulaire.

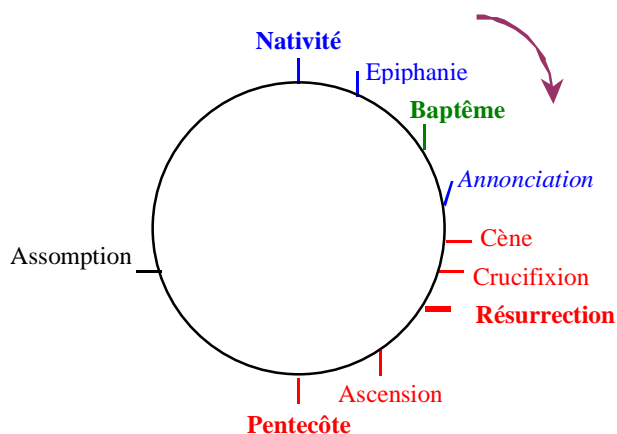


Figure 2: Le cycle liturgique catholique romain et les principaux événements qui le ponctuent

Le cycle liturgique du rite catholique romain vient surdéterminer le mouvement sidéral qui lui manquait, une fois la journée repérée par le sacrifice eucharistique de la messe et le temps de vie du croyant marqué par les sacrements : celui de l'année solaire. Une représentation de la vie de Jésus en modèle réduit et vécue sur un mode accéléré en une année est conçue, qui permet de *répéter* les célébrations au rythme des saisons.

Allier la ronde des saisons à la célébration de la vie d'un homme est une trouvaille géniale, une fiction qui démultiplie judicieusement la portée commémorative.

Le corrélat de *l'Eternel retour* de la célébration rituelle consiste en une imprégnation de la vie de Jésus dans la propre vie du pratiquant, qui pourra d'autant mieux développer la sensation d'être accompagné par (ou d'accompagner) le Christ et ainsi s'identifier à lui : croissance de la vie spirituelle, acceptation du Mystère du trépas et espérance dans la vie éternelle à venir.

Dérivation 5 : Le cycle astronomique des saisons

Examinons la chose de plus près : le mouvement des saisons prend sens à partir d'une direction obligée, portant la plante cultivée de sa germination à sa maturité. Pour le paysan de nos latitudes tempérées, l'année commence avec l'hiver, car c'est là qu'il jette le blé dans le sillon. Le cycle des saisons et des cultures donne aussi une image de l'existence humaine, elle-même soumise à un cours nécessaire. La saison est vécue

comme l'époque de l'année correspondant à la récolte de certains produits ou à des travaux agricoles : vendanges, moissons, saison des fraises.

Le travail du paysan n'est pas un travail abstrait qu'il pourrait mener à sa guise. Il s'accomplit en relation étroite avec la nature et, en particulier, avec le cycle des saisons. Chaque saison a sa spécificité, elle comporte des travaux qui lui sont propres. Et chaque saison existe dans une continuité, elle prépare la saison qui la suit. Les espèces végétales que cultive le paysan suivent un cours de naissance, croissance, maturation en accord avec les saisons.

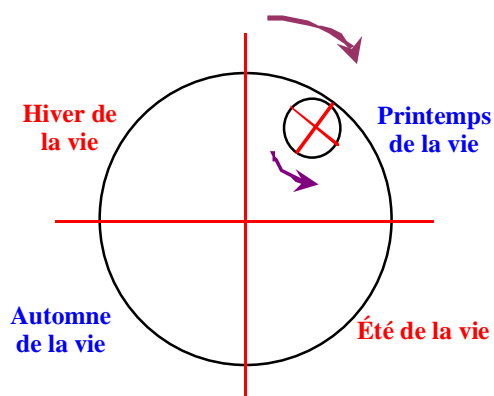


Figure 3: Le cycle des saisons et des âges de l'homme

Métaphoriquement, on peut également se figurer les quatre saisons de la vie, printemps, été, automne, hiver, comme caractérisant les âges de l'homme cheminant vers son ultime destination. Et la saison (astronomique) n'est pas toujours en correspondance avec la saison (de la vie) : la situation est même de ce fait toujours bidimensionnelle; une femme âgée au printemps, un jeune homme en hiver ... On peut représenter circulairement ces deux dimensions par une petite roue (l'année des saisons) engrenée dans la grande roue de la vie de la personne.

Nous habitons une planète d'un système solaire, la Terre. La période du mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil est d'une année. La division de l'année en saisons résulte de l'inclinaison constante de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la perpendiculaire du plan de son orbite autour du Soleil ($23^{\circ}26'$). Comme l'axe des pôles garde une direction fixe dans l'espace, c'est tantôt le pôle Nord, tantôt le pôle Sud qui est éclairé par le Soleil, et la durée du jour aux différents points du globe varie au cours de l'année.

Le phénomène des saisons est commun à toutes les planètes dont l'axe de rotation n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite. Une saison est une des quatre parties en lesquelles l'année se trouve divisée par les équinoxes et les solstices. La Terre ne se déplaçant pas à une vitesse constante sur son orbite parce que celle-ci est elliptique, il en résulte une légère inégalité dans la durée des saisons, et de faibles variations séculaires.

Ainsi, bien que la variabilité du temps météorologique soit évidente à l'échelle d'un jour (cycle diurne/nocturne, variations de température pendant la journée), il est incontestable que des tendances lourdes soient, en un lieu donné, caractéristiques de l'époque de l'année. Par commodité, on convient que les conditions climatiques restent à peu près constantes, à un endroit donné, pendant une saison donnée. C'est pourquoi on peut se plaindre avec quelque légitimité lorsque le temps météorologique n'est pas un « temps de saison ».

Nous vivons le mouvement de la Terre par le biais du cycle de variation d'ensoleillement journalier et de ses tendances lourdes saisonnières. Les années se succèdent ainsi dans le cycle des saisons, plus ou moins contrastées au plan du climat.

L'hiver, il fait froid, il est bon de sentir le poids de vêtements protecteurs, long manteau soyeux de couleurs sombre, pour capter la lumière rasante de l'hiver.

Un modèle en couches de recouvrement et d'englobement s'annonce : cohérence intra-couche (le manteau, les gants et le parapluie), cohérence inter couches (plusieurs couches de vêtement sont nécessaires pour permettre une adaptation aux niveaux d'intériorité : l'extérieur, l'intérieur mal chauffé, l'intérieur chauffé; une cohérence entre ces niveaux s'impose, mais aussi une harmonie des textures, des couleurs, des matières, des dimensions, en un mot des *styles* vestimentaires).

Sous les latitudes contrastées, les saisons prescrivent le modèle (nombre de couches, dimensionnement des couches). Et puis le manteau est sombre car il est cher, donc on n'en achète qu'un, et il doit être générique, être cohérent avec de nombreuses couches inférieures, donc sombre. Et puis l'usure de l'étoffe ... L'ensemble de ces considérations permettrait d'élaborer des modèles de la Mode tels ceux que Roland Barthes propose dans son *Système de la mode*.

Je me demande si la Mode n'est pas un des artifices les plus astucieux jamais inventés pour provoquer *l'Eternel retour* et l'amener à révéler lui-même le secret de sa supercherie, le contraignant à se déplier sans cesse en épisodes *voilés* et en cercles

vicieux. Mais ça n'est peut-être qu'une impression : le sentiment confus que la Mode démasque le dogme de *l'Eternel retour*, tout embusqué qu'il soit derrière le mouvement cyclique des planètes du système solaire et la ronde des saisons.

Épilogue : Aujourd'hui à Paris commencent les soldes d'été

Nous sommes maintenant le 25 juin. Onze jours ont passé depuis que la maison Balmain a décidé de ne pas présenter de collection haute couture automne/hiver cet été. Aujourd'hui commencent à Paris les soldes d'été, et certaines boutiques de marque ont ouvert leurs portes dès l'aube, en prévision de la foule des acheteurs.

Sont présentés de nouveaux modèles, au fil des saisons : les soldes pour liquider les stocks de l'ancien modèle, les défilés et promotions de la nouvelle version du modèle en vigueur. La Mode doit proposer des solutions vestimentaires adaptées au climat de la saison, typées par quelque événement singulier. L'été revient sous le signe de ...

Virginité éternelle du changement de saison : rupture avec la saison précédente, catégorisation comme la même que l'année dernière. Mais aussi oubli radical des catégories ...

« Cette robe ne m'avantage pas ... et de toute façon elle est démodée ». La nouvelle Mode, c'est se sentir différent(e), s'actualiser ...

Ainsi la confusion de la Mode ne tient pas à son statut mais aux limites de notre mémoire; le nombre des traits de la Mode est élevé, mais pas infini : on pourrait très bien concevoir une machine à faire la Mode. Naturellement la structure combinatoire de la Mode est transformée mythiquement en phénomène gracieux, en création intuitive, en foisonnement irrépressible, donc vital, de formes nouvelles : la Mode, dit-on, a horreur du système. Une fois de plus, le mythe renverse très précisément le réel : la Mode est un ordre dont on fait un désordre. Comment s'opère cette conversion du réel en mythe ? Par la rhétorique de Mode. L'une des fonctions de cette rhétorique est de brouiller le souvenir des Modes passées, de façon à censurer le nombre et le retour des formes; pour cela, elle donne sans cesse au signe de Mode l'alibi d'une fonction (ce qui semble soustraire la Mode à la systématique d'un langage), elle discrédite les termes de la Mode passée en euphorisant ceux de la Mode présente, elle joue des synonymes en feignant de les prendre pour des sens différents, elle multiplie les signifiés d'un même signifiant et les signifiants d'un même signifié. En somme le

système est noyé sous la littérature, le consommateur de Mode plongé dans un désordre qui est bientôt un oubli, puisqu'il lui fait voir l'actuel sous les espèces d'un nouveau absolu. (*d'après Roland Barthes*)

La ronde des saisons fait figure de défilé. Cet été n'est pas un été de plus, c'est l'été qui revient à *nouveau*, c'est le nouvel été, le renouveau de l'été. On ne compte pas les étés. Il n'y a pas *vraiment* de répétition, car la mémoire peine à constituer du *même* : l'arrivée de l'été est un phénomène singulier, et si l'on se souvient qu'il y eut d'autres étés, on ne peut pas se souvenir *vraiment* de l'été lorsqu'on est en hiver, pas plus qu'on ne se souvient *vraiment* de la satiété lorsqu'on est mordu par la faim, ou du froid lorsqu'on a trop chaud.

Toute Mode nouvelle est refus d'hériter, subversion contre l'oppression de la Mode ancienne; cette Mode refuse dogmatiquement la Mode qui l'a précédée, c'est-à-dire son propre passé. La Mode se vit elle-même comme un Droit, le droit naturel du présent sur le passé; définie par son infidélité à elle-même, la Mode vit cependant dans un monde qu'elle veut et voit idéalement stable, tout pénétré de regards conformistes. La rhétorique, et singulièrement la rationalisation du signe, permet de résoudre cette contradiction : c'est parce que le présent vindicatif qui la définit est à peine tenable, futile, difficilement avouable, que la Mode s'emploie à élaborer une temporalité fictive d'apparence plus dialectique, et qui comporte un ordre, une tenue, une maturité, empiriques au niveau des fonctions, institutionnels au niveau de la Loi, organiques au niveau du fait; l'agressivité de la Mode, dont le rythme est celui-là même des vendettas, se trouve ainsi désarmée par une image plus patiente du temps; dans ce présent absolu, dogmatique, vengeur, où la Mode parle, le système rhétorique dispose des raisons qui semblent la rattacher à un temps plus souple, plus lointain, et qui sont la politesse ou le regret du meurtre qu'elle commet sur son propre passé, comme si elle entendait vaguement cette voix possessive de l'année morte qui lui dit : hier j'étais ce que tu es, demain tu seras ce que je suis. (*d'après Roland Barthes*)

Il faut coller à l'été comme on colle à l'instant présent pour effacer le temps, ne pas le compter comme un été supplémentaire, ainsi qu'on doit compter les allers-retours dans la piscine municipale pour pouvoir maîtriser la distance parcourue en absence d'un but concret qui marquerait la fin de la traversée.

La Mode propose ainsi ce paradoxe précieux d'un système sémantique dont la seule fin est de décevoir (au sens étymologique de dépendre) le sens qu'il élabore luxueusement : le système abandonne alors le sens sans cependant rien céder du spectacle même de la signification. Cette activité réflexive a un modèle mental : la logique formelle. Comme la logique, la Mode est définie par la variation infinie d'une même tautologie; comme la logique, la Mode cherche des équivalences, des validités, non des vérités; comme la logique enfin, la Mode est dénuée de contenu, mais non pas de sens. Sorte de machine à entretenir le sens sans jamais le fixer, elle est sans cesse un sens déçu, mais elle est toujours un sens : sans contenu, elle devient alors le spectacle que les hommes se donnent à eux-mêmes du pouvoir qu'ils ont de faire signifier l'insignifiant; elle apparaît ainsi alors comme une forme exemplaire de l'acte général de signification, elle devient le signe du *proprement humain*. (d'après Roland Barthe)

La Mode vise à séparer le caractère *répété* de l'été de son caractère *singulier*. Ce que la Mode répète avec le retour de l'été, c'est la déclaration de sa singularité : cet été n'est pas un été comme les autres, c'est l'Été.

Être affamé ou rassasié : ces deux sensations ne sont pas en opposition, elles sont vécues en alternance, s'excluant l'une l'autre. Mais elles pourraient parfaitement être décrites positivement pour elles-mêmes et indépendamment, sans qu'on trouve probablement aucun lien particulier entre les deux descriptions. Les deux vécus ne sont pas opposés; on les oppose parce qu'ils sont en exclusion mutuelle et que l'on connaît leurs causes : s'alimenter suffisamment provoquera la satiété mais, pourvu qu'on attende suffisamment, la faim à nouveau prendra position envahissante.

Bibliographie

Roland Barthes, *Système de la mode*, SEUIL POINTS ESSAIS, 1967

Angel González, *Nada es lo mismo*, <http://www.poesia-inter.net/ag62010.htm>

Knut Hamsun, *Faim*, PUF QUADRIGE, 1994

Edmund Husserl, *La terre ne se meut pas*, LES EDITIONS DE MINUIT, 1989

Henri-Irénée Marrou, *L'Eglise de l'Antiquité tardive*, SEUIL POINTS HISTOIRE, 1985

Friedrich Nietzsche, *La volonté de puissance*, TEL GALLIMARD, 1995

Paul Ricœur, *Temps et Récit*, SEUIL POINTS ESSAIS, 1991

Les friches urbaines : des lieux à temporalité double.

Franck Saint-Girons, doctorant

Université de Pau et des Pays de l'Adour,
laboratoire SET (CNRS UMR 5603) IRSAM,
Domaine Universitaire, 64000 PAU

e-mail : franck.saint-girons@etud.univ-pau.fr

Mots clés : friche, lieu, expérience, sujet, artiste, évolution temporelle, ville, cycle, démystification, ouverture, altérité, dualité.

Résumé : La prise des friches par les artistes en France a démarré dès les années 1980 et s'est accélérée à la fin du millénaire. Véritable lieu d'expression, elles combinent à la fois expérimentation et création. Lieux temporels et a-temporels, elles représentent de multiples enjeux dans des villes qui, au cours de leur histoire, ont connu une crise. Elles expriment un passage, une évolution celle de la crise et du déclin économiques au renouveau artistique et culturel. Cette évolution non linéaire ne peut être envisagée que dans la mesure où la friche se met à représenter des intérêts aussi variés soient-ils. L'évolution statutaire de la friche s'apparente à un cycle spatio-temporel qui trouve des répercussions au sein des villes dans lesquelles ces lieux s'insèrent.

La fin du XX^{ème} siècle marque en Europe une très forte vague de désindustrialisation. Les friches, symboles de ce phénomène, « *représentaient en Europe 200 000 hectares dont 80% liés à la désindustrialisation (usines, entrepôts, halles)* »¹. La France, quant à elle, n'a pas échappé à ce phénomène si bien qu'à la fin des années 1990, « *20 000 hectares ont été recensés* »² sur les 200 000 européens. Disséminées sur tout le territoire européen, certaines sont situées au sein même des grandes villes et agglomérations européennes et sont dénommées dès lors friches urbaines quelles que soient leur nature. S'apparentant à des espaces délaissés, laissés à l'écart de tout système aussi varié soit-il, elles sont le témoin des évolutions économiques, temporelles, sociales et culturelles de la société contemporaine. Leur nature diverse nous permet de mettre en exergue dans les villes les mutations qui apparaissent dès lors que ces dernières furent en crise à un moment donné de l'Histoire.

Témoin d'une histoire mouvementée qui a sans cesse évolué, certaines friches représentent en France, mais aussi dans d'autres pays européens, des lieux très désirés. Cette convoitise, exprimée par exemple par certains artistes et collectifs artistiques dès les années 1980, s'est concrétisée par la prise de ces friches sous la forme légale ou sous la forme de squat. Cette installation nous laisse entrevoir ces espaces comme des entités spatiales duales combinant à la fois mise à l'écart et

¹ VANHAMME Marie et LOUBON Patrice. *Arts en friches, usines désaffectées : fabriques d'imaginaires*. Paris : Editions Alternatives, 2001. p.7.

² p. 7 MUSIKA Stéphane ; LEGGE Jean de ; ROMMELSPACHER Thomas [et al.]. *Friches : état des lieux ; table ronde animée par Jean Hurstel. Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. p. 7-13.

recherche pour faciliter la création sous toutes ces formes. Comment expliquer alors que ces espaces non utiles, tombés en désuétude au fil du temps puissent revêtir le moindre intérêt ? Comment caractériser et définir ces espaces, symboles des évolutions sociétales contemporaines des villes en mutation ? En quoi les friches témoignent-elles des évolutions temporelles de la société ?

Afin de répondre à ce questionnement, il nous a semblé pertinent de nous pencher sur l'évolution d'une friche urbaine française, l'ancienne préfecture de Toulouse, rue de Metz, investie par le collectif d'artistes *Mix Art Myrys* tout en faisant des références à d'autres friches urbaines notamment les *Abattoirs de Billère* où un projet d'installation d'artistes est à l'étude, ou encore les *entrepôts frigorifiques* de Paris. Après avoir tenté de montrer en quoi les friches peuvent présenter un certain intérêt pour les collectifs d'artistes, nous nous interrogerons sur le devenir de ces espaces qui apparaissent, selon nous, à la fois temporels et a-temporels, le tout éclairé par les friches urbaines citées auparavant qui présentent dans leurs institutions des processus paradoxaux.

1. La prise de la friche : une expérience à temporalité variable

Les milliers d'hectares de friche que comptent la France sur son territoire témoignent de l'activité en déclin de certains secteurs économiques. Révélateurs des évolutions de la société, elles semblent malgré cette mise à l'écart et cette tombée en désuétude revêtir de multiples intérêts. L'un d'eux est qu'elles offrent des infrastructures disponibles que des associations ou des artistes investissent et dotent de nouvelles fonctions, notamment culturelles. Les friches, en effet, « *parce qu'elles disent l'éphémère d'une organisation sociale, parce qu'elles contiennent en germe notre possible devenir, semblent offrir bien plus qu'une terre vierge* »³. Sites prisés depuis quelques années par les artistes qui ont un besoin de place pour pouvoir créer, elles semblent sur un mode pragmatique « *répondre au manque de lieux pour un certain type de création, de pratiques artistiques* »⁴, centrées notamment autour de l'art contemporain, grand consommateur d'espace.

L'histoire du mouvement de la prise de friches en France « *a commencé dans les années 1980 et s'est prodigieusement accéléré dans les cinq dernières années* »⁵ c'est-à-dire à partir de la deuxième moitié des années 1990. Au cours de ces années, des artistes ont investi des friches et ont « *décidé de s'engager dans ces expériences, parce qu'ils ne trouvaient pas dans les lieux et les pratiques institués la possibilité*

³ p. 27 MOUILLON Philippe. Les friches urbaines. *Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. pp. 27-31.

⁴ p. 18 GROMBEER Philippe ; BORDAGE Fazette ; SCHREBRACK Sabine [et al.]. La friche : cadre d'une aventure culturelle ; table ronde animée par Daniel Heschinger. *Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. pp. 15-20.

⁵ LEXTRAIT Fabrice ; VAN HAMME Marie et GROUSSARD Gwénaëlle. *Une nouvelle époque de l'action culturelle : rapport à Michel Duffour secrétariat d'Etat au patrimoine et à la Décentralisation culturelle mai 2001*. Paris : la Documentation Française, 2001. p. 183.

d'inventer de nouvelles aventures »⁶. Ce départ pour la friche, véritable expérience et aventure humaine, permet de développer « *dans ces espaces interstitiels de nouvelles figures de l'artiste* »⁷ et par conséquent, « *de nouvelles pratiques s'y sont multipliées* »⁸. En effet, en investissant la friche, les artistes commencent à développer une expérience qui leur permet de devenir le sujet actif œuvrant à l'élaboration de leur propre existence et à la construction de leur cadre de vie.

Cette expérience qui « *est une activité cognitive, est une manière de construire le réel et de le vérifier, de l'expérimenter* »⁹. Cependant, elle « *ne peut être légitime aux yeux des acteurs que dans la mesure où elle reste une expérience authentique, vécue comme l'expression d'une personnalité* »¹⁰. L'individu qui entreprend une telle expérience devient alors « *un sujet autonome dans la distance et le conflit* »¹¹, la subjectivation étant un des principes de la constitution de l'expérience. Ainsi ce type d'expérience représente un choix stratégique, pensé, conçu et élaboré de manière totalement réfléchi. Elle s'inscrit dans une temporalité limitée, au terme de laquelle plusieurs choix de sorties sont possibles bouclant ainsi l'expérience. Cette dernière se présente donc par conséquent comme un cycle passant par plusieurs phases qui permettent au sujet de s'affirmer au travers de son expérience personnelle.

Outre le côté pragmatique incarné par l'espace disponible, se pose la question de savoir pourquoi les artistes ont investi des friches et notamment les friches urbaines ?

L'une des réponses pouvant expliquer un tel choix semble être que « *les friches urbaines incarnent le questionnement des artistes et des populations sur la transformation de nos sociétés* »¹². Depuis l'amorce de ce phénomène, ces friches urbaines deviennent « *les lieux du possible, les lieux de rencontre, les lieux de doute et d'expérimentation du rapport art-société* »¹³. Elles apparaissent comme « *des friches artistiques qui ne correspondent à aucun modèle, aucun schéma préétabli* »¹⁴ et sont souvent constituées « *autour de la question culturelle, d'une culture de l'urgence* »¹⁵. Ces friches investies par les artistes « *à des fins culturelles traduisent ainsi un passage, une transition, et pourraient même en être une métaphore : la transformation des anciens symboles de la production industrielle en fabriques d'imaginaire* »¹⁶. En somme, elles sont « *le signe d'une mutation du secteur culturel*

⁶ *Ibid.* p. 184.

⁷ *Ibid.* p. 185.

⁸ *Ibid.* p. 187.

⁹ DUBET François. *Sociologie de l'expérience*. Paris : Editions du Seuil, 1994. p. 92.

¹⁰ *Ibid.* p. 100.

¹¹ *Ibid.* p. 255.

¹² LEXTRAIT Fabrice ; VAN HAMME Marie et GROUSSARD Gwénaëlle. *Une nouvelle époque de l'action culturelle : rapport à Michel Duffour secrétariat d'Etat au patrimoine et à la Décentralisation culturelle mai 2001*. Paris : la Documentation Française, 2001. p. 187.

¹³ *Ibid.* p. 184.

¹⁴ VANHAMME Marie et LOUBON Patrice. *Arts en friches, usines désaffectées : fabriques d'imaginaires*. Paris : Editions Alternatives, 2001. p. 8.

¹⁵ LEXTRAIT Fabrice ; VAN HAMME Marie et GROUSSARD Gwénaëlle. *Une nouvelle époque de l'action culturelle : rapport à Michel Duffour secrétariat d'Etat au patrimoine et à la Décentralisation culturelle mai 2001*. Paris : la Documentation Française, 2001. p. 194.

¹⁶ VANHAMME Marie et LOUBON Patrice. *Arts en friches, usines désaffectées : fabriques d'imaginaires*. Paris : Editions Alternatives, 2001. p. 8.

dans les villes en crise »¹⁷. Elles semblent au fil du temps être les témoins d'un passage, celui de l'activité économique en crise à la culture émergente qui cherche dans la friche un lieu pour s'exprimer. L'une de leurs spécificités réside dans le fait « *qu'aucune ne se ressemble* »¹⁸. Elles s'apparentent ainsi à des lieux alternatifs où une expression culturelle innovante se développe. Elles sont une et diverses et, pour apprécier leur particularité, il nous faut nous intéresser aux artistes qui les composent car c'est par leurs pratiques qu'émergent la spécificité et la singularité de chaque friche.

En s'installant dans les friches urbaines, les artistes transgressent toute une série de règles établies par l'effet du temps. En premier lieu, « *les nouveaux occupants transgressent les règles économiques qui l'ont taxée d'inutilité et l'ont condamnée à mort* »¹⁹. En second lieu « *ils transgressent aussi les règles politiques qui lui ont refusé toute valeur symbolique, patrimoniale, toute réhabilitation, tout avenir possible* »²⁰. En somme, par la transgression et l'installation d'artistes, le statut de la friche va évoluer. D'espace abandonné elle va devenir lieu recherché par les artistes qui veulent bénéficier d'un espace de liberté pour innover et créer, loin des centres institutionnels artistiques. Ce passage se traduit alors par le début de construction d'une friche artistique. Elle est ainsi un lieu qui va se créer, se développer et donc se construire, sa vocation artistique s'affinant au fur et à mesure du temps. Dès lors, les friches urbaines devenues friches artistiques représentent des lieux d'expression culturelle, ou contre-culturelle, au statut évolutif. Elles sont donc le signe des transformations culturelles des villes, et notamment de celles qui ont connu une crise économique. Elles permettent d'envisager la ville comme une entité spatiale évolutive, inscrite dans une dynamique spatio-temporelle où des changements sont développés et institués dans les friches urbaines, sortes de marges centrales au sein même du territoire. Les friches paraissent ainsi se situer actuellement au centre « *d'une nouvelle étape du développement culturel des villes* »²¹ qui passe par la reconnaissance des pratiques et des normes développées par les artistes. La prise de la friche urbaine s'inscrit dans une temporalité limitée qui fait évoluer le statut de cette dernière. Après avoir été friche, elle devient friche convoitée et recherchée pour développer une expérience artistique, puis friche artistique avant de devenir lieu artistique et culturel, le tout dû à une reconnaissance qui se manifeste de différentes façons. Cette évolution statutaire s'inscrit dans une échelle temporelle variable selon les friches, elle n'est pas linéaire et se développe dans une dimension conflictuelle omniprésente, ce que nous allons présenter dans la deuxième partie en développant deux exemples aux évolutions et aux dynamiques spatio-temporelles différentes.

¹⁷ *Ibid.* p. 8.

¹⁸ VANHAMME Marie et LOUBON Patrice. *Arts en friches, usines désaffectées : fabriques d'imaginaires*. Paris : Editions Alternatives, 2001. p. 8.

¹⁹ *Ibid.* p. 9.

²⁰ *Ibid.* p. 9.

²¹ LEXTRAIT Fabrice ; VAN HAMME Marie et GROUSSARD Gwénaëlle. *Une nouvelle époque de l'action culturelle : rapport à Michel Duffour secrétariat d'Etat au patrimoine et à la Décentralisation culturelle mai 2001*. Paris : la Documentation Française, 2001. p. 199.

2. La friche : un lieu ou des lieux temporels ?

En investissant ce type de lieu les collectifs d'artistes le dotent de fonctions propres. Celles-ci sont issues d'une pratique quotidienne du lieu. Cette fonctionnalité est souvent conditionnée par le type de lieux investis, si bien qu'elle nécessite des ajustements divers en fonction par exemple de son architecture. Ces ajustements permettent de rendre le lieu transformable à tout instant, évolutif et non figé dans l'espace. En y développant une dynamique de création, les artistes mettent en place des processus innovants et différents de ceux instaurés dans d'autres lieux artistiques beaucoup plus institutionnels. Ces pratiques sont définies sur des bases artistiques déjà existantes mais sont développées de façon différentes en associant par exemple deux procédés artistiques opposés.

Le *Mix Art Myrys* a investi l'ancienne préfecture en plein centre de Toulouse trois mois avant les élections municipales, il y a donc environ trois ans maintenant. Après avoir occupé pendant plusieurs années une usine à chaussures dans le quartier Saint-Cyprien, ce collectif d'artistes qui regroupe désormais environ 280 adhérents, s'est installé illégalement dans l'ancienne préfecture, 33 rue de Metz, dans l'un des quartiers faisant partie « du triangle d'or toulousain », l'équivalent du XVI^{ème} arrondissement parisien. Cette occupation « illégale mais légitime », comme aiment à la définir les Myryssiens, dans un bâtiment de 8 000 mètres carrés permet aux artistes de pouvoir créer en plein centre de Toulouse en remplaçant par leurs pratiques l'art et la culture dans le cœur même de la ville au sein de l'hypercentre voué généralement aux activités commerciales et tertiaires.

Cette situation et cette occupation ne sont pas sans conséquences dont la plus importante concerne le devenir de *Mix Art Myrys* et la pérennisation de « leur aventure humaine », selon leurs propres termes, aventure débutée il y a huit ans. Développant le système d'autogestion régie par les artistes eux-mêmes, a été mis en place un « buro » (terme Myryssien) renouvelable chaque année et composé de six membres élus pour un an. Des référents pour chaque expression artistique et pour chaque étage sont aussi présents, ce type d'organisation étant dû d'une part à l'architecture hausmanienne du bâtiment qui compte six étages en comptant le rez-de-chaussée et d'autre part au nombre élevé d'artistes éclectiques. Avant de monter dans les ateliers il faut signer l'équivalent d'un cahier de présence et des assemblées générales se tiennent plusieurs fois par mois à raison d'une minimum par semaine. Au cours de ces assemblées sont débattues dans l'ordre du jour toutes les questions inhérentes au fonctionnement du lieu ainsi que les manifestations à venir au sein de celui-ci. Tous les participants ont le droit à la parole, rien n'est jamais décidé sans présentation lors d'une AG et sans consensus général, auxquelles on peut rajouter les multiples réunions entre artistes. De plus une participation « libre mais nécessaire » dans le collectif et dans les diverses manifestations artistiques organisées sur le lieu est demandée à chaque myryssien. Aucune exigence de qualité artistique n'est réclamée pour entrer à *Myrys*, il faut présenter un projet artistique pour obtenir un atelier, l'élitisme étant totalement proscrit.

Ces modes de fonctionnement, présentés brièvement et partiellement, ajoutés aux expressions artistiques développées au sein du lieu font que ce lieu semble de l'

intérieur comme a-temporel car les normes et les règles tacites qui codifient et régissent le lieu apparaissent comme uniques et spécifiques donnant son sens propre au lieu. Elles sont héritées de certaines règles déjà existantes mais elles sont transformées et modifiées en fonction de la spécificité du lieu, de son architecture et de ses composantes. Celles-ci ne sont surtout pas une reproduction des normes du territoire extérieur ce qui provoquent parfois des difficultés d'adaptation pour les nouveaux arrivants qui continuent à se comporter dans la friche comme à l'extérieur, en reproduisant des comportements loin des normes du lieu. Leur adaptation au lieu et au collectif n'en est alors que plus difficile. Lieu aux multiples dynamiques, il semble aussi se caractériser par un passage, un roulement incessant de certains artistes qui viennent dans ces lieux renouveler et susciter de nouvelles créations en cherchant l'inspiration et en se confrontant aux autres artistes du lieu. Ces créations artistiques, à l'instar des normes du lieu, prouvent par leur côté décalé, l'a-temporalité de ce lieu aux règles et normes singulières.

Ces friches apparaissent cependant inscrites dans une temporalité limitée et éphémère qui fait osciller leur statut. En effet, d'espace anciennement rejeté puis recherché et investi par les artistes, elles sont au fil du temps convoitées par les instances dirigeantes institutionnelles qui voient dans ces lieux un nouveau lieu culturel à la mode, une sorte de vitrine culturelle pour la ville comme c'est par exemple le cas pour les *entrepôts frigorifiques* de Paris dans le XIII^{ème} arrondissement. Cette évolution n'est certes pas linéaire car ce phénomène est soumis au regard extérieur qui sous-tend lui-même un paradoxe, celui d'enchaîner simultanément rejet et convoitise. Comment en effet expliquer qu'après avoir été rejetée matériellement et idéologiquement, elles puissent être légalisées, légitimées et réappropriées par les instances dirigeantes du territoire ? Quel est alors le devenir de ces lieux, devenus lieux culturels ?

Le passage de friches à lieux culturels est à notre avis lié à la double mise en tension du lieu (de l'intérieur et de l'extérieur). La confrontation extérieure entraîne de nombreux stéréotypes et préjugés, reflets des perceptions des acteurs du territoire qui côtoient la friche. Sur *Myrys*, de nombreux clichés et stéréotypes sont véhiculés sur les artistes qui semblent développer, cristalliser et centraliser sur leur image nombre de problèmes sociétaux actuels. Pour certains riverains (commerçants et habitants) ils sont par exemple des « *zonards, des babas-cools, des hippies, des super-marginaux, des gens avec des trous aux vêtements, des drogués, il y a quelques SDF, des chômeurs, en somme des marginaux, etc.* »²². On peut toutefois noter dans cette caractérisation extérieure et dans ces stéréotypes une forme de récurrence, comme si au fil des années les stéréotypes évoluaient peu. Ces qualificatifs s'inscrivent en droite ligne de ceux qui foisonnaient dès le XIX^{ème} siècle, « *nouveaux barbares, prolétaires, nomades, populace, vagabonds, tourbe de nomades, sauvage* »²³, et soulignent une forme de récurrence dans les clichés et autres stéréotypes liés à la marginalité et à l'exclusion en prenant alors la forme de mythes contemporains et a-temporels, reflets dans le récit des acteurs du territoire de la perception extérieure des artistes.

²² Tous ces qualificatifs ont été employés par des personnes rencontrées à proximité de *Myrys*, ils sont le reflet de la pensée des riverains à l'égard des artistes installés dans la friche.

²³ BAREL Yves. *La marginalité sociale*. Paris : PUF, 1982. p. 38.

Une fois le dépassement de ces représentations et par conséquent la démystification du lieu et de ses composantes intrinsèques, se met alors en place une phase de reconnaissance du travail artistique. Cette phase ne peut être concevable que dans la mesure où les mythes et les représentations sont dépassés, laissant place à un certain intérêt, ce passage étant lié à l'ouverture du lieu. Les tentatives de réappropriation de la part des gestionnaires du territoire peuvent alors s'opérer, comme par exemple pour les *entrepôts frigorifiques* de Paris, bien que cela ne soit pas encore le cas pour Toulouse même si la légalisation est en projet. Cette dernière est uniquement envisagée si le collectif garde son autonomie et son fonctionnement propres.

Situés dans le XIII^{ème} arrondissement de la capitale française, les anciens entrepôts frigorifiques de la ville de Paris, ou plus couramment dénommés les «frigos de Paris», se trouvent entre la Bibliothèque Nationale de France et les Grands Moulins de Paris sur la rive gauche de la Seine face aux entrepôts de Bercy. Le véritable point de départ historique du 91, quai Panhard et Levassor se situe aux lendemains de la première Guerre Mondiale. La France se trouve à cette époque en proie à des privations de toute sorte, notamment de produits frais. La compagnie ferroviaire de Paris-Orléans entreprend alors la construction d'entrepôts frigorifiques afin de pouvoir stocker et approvisionner les Halles en produits frais. Pendant une quarantaine d'années les «frigos de Paris» vont maintenir leur activité de producteur de glace et de conservateur de denrées périssables. A la fin des années 1960, la disparition des Halles de Paris et l'ouverture du marché de Rungis entraînent l'arrêt des entrepôts frigorifiques qui sont laissés à l'abandon, devenant ainsi une friche industrielle pendant une quinzaine d'années. La SNCF, propriétaire des lieux depuis 1945, autorise la location d'un premier lot de bâtiments en 1980 et dès lors, c'est toute une population variée d'artistes qui investit cette zone industrielle en déprise totale.

Ainsi, il devient une sorte de «village d'artistes» où beaucoup demeurent à résidence. Avant cependant de pouvoir s'installer convenablement dans ces murs, toute une série de travaux ont dû être exécutés par les artistes eux-mêmes afin de transformer ces locaux vétustes en ateliers artistiques opérationnels. Les premiers travaux ont permis de mettre en valeur les qualités premières de ces bâtiments, à savoir une épaisseur de mur de soixante-dix centimètres qui offre une bonne isolation phonique et thermique et des sols qui peuvent supporter une charge de sept tonnes par mètre carré. Toute une succession de transformations est ensuite apportée à ce lieu : des cloisons et des fenêtres sont aménagées, l'eau, l'électricité, la ventilation et le chauffage sont mis en place toujours par les artistes eux-mêmes. Ainsi, après des mois de travaux, les anciens entrepôts frigorifiques de Paris ressortent complétement métamorphosés. De lieu délaissé, abandonné, laissé en marge, ils deviennent un lieu recherché pour enfin devenir lieu convoité et rénové par les artistes selon leurs propres normes et leurs propres codes. Maintenant qu'il a été réhabilité, de nombreuses questions se posent sur ses changements, son statut et son avenir, même si la restauration - et non plus la destruction du Quai - est désormais évoquée et envisagée par les instances dirigeantes de la ville. Ce quartier semble en effet devenir un quartier à la mode puisqu' autour de ce lieu va être construit une partie des

bâtiments de l'université de Paris VII, le cinéma MK2 se trouve également en face, et toute une série de travaux est encore envisagée au sein du projet Paris Rive Gauche où les *entrepôts frigorifiques* sont clairement dénommés comme le nouveau lieu culturel de la ville.

Cette évolution est liée au changement de vision de ce lieu et témoigne de l'intérêt contemporain que peut représenter ce genre de lieux. Cette zone contient une grande variété d'artistes pratiquant un type d'art souvent en décalage et totalement différent par rapport aux autres, de sorte qu'on pourrait le qualifier de mouvement artistique contre-culturel transgressif ou peut-être précurseur et novateur voire même tous à la fois. Ces lieux permettent aussi de sortir et de dépasser l'uniformité artistique et paysagère des villes. Ils apportent du changement si bien que certaines villes qui ont des friches sur leur territoire essaient de développer des tentatives d'installation d'artistes au sein de ces lieux comme par exemple aux *Abattoirs* de Billère. Ces lieux permettent de montrer que les villes sont évolutives, non figées dans l'espace et le temps et que les évolutions produites dans les friches peuvent se diffuser d'une marge vers le centre, et ce qu'elle que soit sa situation géographique. On remarque toutefois que toutes les friches ne finissent pas comme des lieux culturels car si la démystification ne s'effectue pas, elles périclitent et redeviennent des friches.

Le concept de lieu apparaît pertinent pour définir la friche à condition que des dimensions temporelles lui soient rajoutées. En effet, l'expérience de la prise de la marge et la construction de ce lieu ne peuvent se concevoir que dans des dimensions spatio-temporelles. C'est par la mobilité et par la prise, à un instant précis, d'un espace déshumanisé tombant en désuétude pour l'inscrire dans une nouvelle dynamique centrée autour des processus de création, que la friche va avoir un nouvel éclat en débutant en son sein une expérience trimodale : spatiale, sociale et culturelle, le tout dans des dimensions temporelles.

Conclusion

Les friches urbaines devenues des espaces culturels s'apparentent à de véritables lieux du sujet. Inscrites dans une dynamique temporelle duale et paradoxale, combinant temporalité et a-temporalité, elles s'instituent, se développent et s'équilibrent par la mise en tension et l'ouverture du lieu. Ce cycle d'évolution non linéaire permet de mettre en exergue à la fois les potentialités intrinsèques de certains lieux révélées par l'artiste et son côté visionnaire qui, dans de tels lieux démontre qu'il ne peut plus être envisagé uniquement au travers du domaine artistique. En les définissant à partir du concept de lieu, ces friches montrent que celui-ci recouvre des dimensions spatio-temporelles, imbriquées les unes dans les autres.

Bibliographie

- BAREL Yves. *La marginalité sociale*. Paris : PUF, 1982. 250 p.
- DUBET François. *Sociologie de l'expérience*. Paris : Editions du Seuil, 1994. 262 p.
- GROMBEER Philippe ; BORDAGE Fazette ; SCHREBRACK Sabine [et al.]. La friche : cadre d'une aventure culturelle ; table ronde animée par Daniel Heschinger. *Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. p. 15-20
- LEXTRAIT Fabrice ; VAN HAMME Marie et GROUSSARD Gwénaëlle. *Une nouvelle époque de l'action culturelle : rapport à Michel Duffour secrétariat d'Etat au patrimoine et à la Décentralisation culturelle mai 2001*. Paris : la Documentation Française, 2001. 253 p.
- MOUILLON Philippe. Les friches urbaines. *Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. p. 27-31
- MUSIKA Stéphane ; LEGGE Jean de ; ROMMELSPACHER Thomas [et al.]. Friches : état des lieux ; table ronde animée par Jean Hurstel. *Friches industrielles, lieux culturels : Actes du colloque 18-19 mai 1993 organisé à Strasbourg par La Laiterie Centre Européen de la Jeune Création*. Strasbourg : La Laiterie, 1994. p. 7-13
- VANHAMME Marie et LOUBON Patrice. *Arts en friches, usines désaffectées : fabriques d'imaginaires*. Paris : Editions Alternatives, 2001. 123p.

Relations temporelles qualitatives et langages formels

Sylviane R. Schwer
LaLICC-UMR8139
Université Paris-Sorbonne CNRS
96 bld Raspail.
Fr. 75006 Paris.
e-mail: Sylviane.Schwer@paris4.sorbonne.fr

Résumé

Situer les événements les uns par rapports aux autres dans le temps est un problème majeur des logiciens philosophes et/ou grammairiens. Ce problème est appelé dans les domaines de l'Intelligence Artificielle et des Sciences Cognitives *Représentation et raisonnement temporel qualitatif*. Depuis Whitehead, Nicod et Russell, ce problème est traité dans le cadre de la logique, en particulier des logiques modales. Après un aperçu rapide sur ces logiques, nous revisitons l'exemple bien connu du partage d'une ressource non consommable parmi n utilisateurs donné par Manna et Pnuelli [Manna et Pnuelli 1981] dans le cadre de la logique modale. Nous montrons ici que le cadre naturel de ce problème est celui des langages formels, et plus précisément celui des S-langages.

Mots clefs: Temps, Modalités temporelles, Systèmes concurrents, Langages formels.

Situer les événements les uns par rapports aux autres dans le temps est un problème majeur des logiciens philosophes et/ou grammairiens. Ce problème est appelé dans les domaines de l'Intelligence Artificielle et des Sciences Cognitives *Représentation et raisonnement temporel qualitatif*. Depuis Russell [Russell 1924], Whitehead [Whitehead 1920] et Nicod [Nicod 1923], ce problème est traité dans le cadre de la logique avec un traitement particulier des éléments temporels, et souvent, la mise en évidence d'algèbres relationnelles avec tables de transitivité [Randel et al. 1992]. Ces algèbres sont intégrées à diverses logiques.

Nous avons trois façons de représenter et de raisonner sur des informations temporelles, en prenant en compte la spécificité du temps : (i) la logique du premier ordre possédant un type temporel pour les constantes et les variables, dans laquelle on exprime les objets temporels et leurs relations, (ii) les logiques modales qui éliminent les objets temporels et leurs relations dans les formules, et au milieu, (iii) le calcul relationnel temporel qui oublie les objets pour ne se concentrer que sur les relations. Toutes ces approches se cantonnent aux relations temporelles binaires.

Le formalisme des S-langages se fonde sur une toute autre approche. Il s'agit d'associer à chaque objet temporel une identité, considérée comme une lettre, et de représenter l'aspect de ces éléments - qu'ils soient ponctuels ou duratifs, répétitifs ou sémelfectifs uniquement à l'aide de mots. Chaque mot se compose d'autant d'occurrences de l'identité de l'objet représenté que de bornes nécessaires à la description de l'aspect¹. Par exemple, un événement ponctuel d'identité a est décrit par le mot a , un événement duratif d'identité b par le mot bb . Décrire les positions temporelles relatives nécessite de pouvoir représenter à la fois la simultanéité et la précedence. C'est donc non sur l'alphabet des identités mais sur l'alphabet constitué des parties de l'ensemble des identités - appelé S-alphabet, dont les éléments sont les S-lettres - qu'il s'agit de travailler, l'ordre des occurrences des S-lettres dans le S-mot donnant de facto la précedence. Par exemple, si le premier élément est *simultané* au début du second, on écrit² le S-mot $\{a, b\}b$, s'il est *pendant*, on écrit bab . Si les relations sont imprécises ou incomplètes, c'est un ensemble de S-mots - appelé S-langage - qui représente la relation. Par exemple, entre ces deux objets, on représentera la définition grammaticale de la préposition anglaise *by* par $aa \text{ by } b = \{aab, a\{a, b\}\}$. Le raisonnement qui consiste à déduire les chronologies possibles se fait alors grâce aux deux opérations classiques des langages rationnels que sont l'entrelacs et l'intersection.

Dans cet article, nous rappelons comment le temps a été traité par la voie modale, puis nous revisitons l'exemple classique de Manna et Pnuelli pour spécifier des propriétés des systèmes concurrents : le problème classique de répartition équitable d'une ressource parmi n utilisateurs. Puis nous montrerons sur cet exemple, comment nous spécifions et résolvons le problème avec les S-langages, afin de montrer sa puissance d'expression.

1 La Voie Modale

1.1 Modalités du temps

1.1.1 Modalités antiques

Le raisonnement modal apparaît dès l'époque classique, aussi bien dans les formalisations des mégariques³ que d'Aristote. Il se fait à partir du présent et est tourné vers l'avenir. Pour les mégarico-stoïciens, au côté des modalités *possible* et *nécessaire*, il y a une modalité caractérisant le *présent*. $\bigcirc p$ est satisfait si le prédicat p est effectif maintenant. $\diamond p$ est satisfait si p est possible, c'est-à-dire si p est vrai

¹Si le nombre de fois du répétitif est inconnu, une $*$ remplace le nombre.

²En confondant pour la lisibilité singleton et son élément, puisque une relation s'écrit avec au moins deux lettres différentes alors qu'un objet ne s'écrit que sur une seule lettre.

³L'école Mégarique est fondée par Euclide de Mégare (v.-450,-380 av J.-C.) disciple de Socrate, comme Platon (à ne pas confondre avec Euclide d'Alexandrie, auteur des *Eléments* écrits vers -300 av J.-C.). Les Mégariques (Diodore, Philon et Eubulide) formaient une école opposée à celle d'Aristote et sont les fondateurs de la logique stoïcienne.

maintenant ou le sera dans le futur. $\Box p$ est satisfait si le prédicat p est nécessaire, c'est-à-dire maintenant et à jamais. Ces trois modalités déictiques peuvent être indexées par une date, ce qui a pour effet de substituer cette date à l'instant présent. L'école de Mégare utilise ces trois modalités sur toute la ligne temporelle (passée et future), conformément à l'impossibilité du mouvement, défendue par Diodore Cronos. Le possible a eu, a ou aura lieu, le nécessaire a été, est et sera. La contingence d'événements futurs est liée nécessairement à la présence d'une disjonction exclusive, c'est-à-dire d'un choix induit par une connaissance imparfaite d'un futur déterminé. Pour Aristote, les modalités peuvent évoluer en fonction du temps : certaines propositions peuvent être possibles avant un événement, simultanées à cet événement et nécessaires après. Cette relativation des modalités permet de raisonner sur un moment relativement à un autre moment. C'est l'introduction du temps de référence et du temps d'élocution de Bazée [Bazée 1789] ou Reichenbach⁴[Reichenbach 1947]. Ainsi Aristote dispose de $\Diamond_t p_{t_0}$.

Par ailleurs, les stoïciens classent les propositions suivant trois qualités temporelles : on distingue les propriétés *permanentes* comme “les humains sont des animaux vertébrés” ; des propriétés *stables* (ou à états persistants ou dispositions durables) c'est-à-dire avec la possibilité d'exception, par exemple la “prudence” est une disposition durable car “un homme prudent agit la plupart du temps prudemment” ; les propriétés *éphémères* (ou dispositions passagères) comme “être en train de marcher”.

1.1.2 Modalités Avicéennes

L'école logique arabe avicéenne du Moyen-âge va reprendre ces modalités et les utiliser comme relations entre événements, c'est-à-dire que le temps disparaît de la modalité même. On peut y distinguer quatre relations modales⁵ de base :

- $\Box_B A$ si A est nécessairement vrai toutes les fois que B est vrai,
- $\bigcirc_B A$ si A est vrai toutes les fois que B est vrai,
- $\bullet_B A$ si A est vrai à un moment où B est vrai,
- $\diamond_B A$ si A est possible à un instant où B est vrai.

Ces modalités sont essentiellement relationnelles. Ce sont les précurseurs des modalités *Since* et *Until*.

1.1.3 Modalités modernes

Logiques classiques

Ces logiques sont fondées sur les trois temps grammaticaux fondamentaux de passé, présent et futur. Les bases de ces logiques ont été établies par Prior [Prior 1957].

Les modalités de base ont été introduites dans le cadre d'une structure tem-

⁴En revanche, Aristote n'utilise pas le temps de référence pour caractériser les différents discours.

⁵Les notations sont personnelles.

porelle linéaire et sont au nombre de deux au minimum dans le futur et deux dans le passé, et reprennent les opérateurs modaux de nécessité et de possibilité respectivement dans le passé et le futur :

- sera au moins une fois dans le futur : F
- a été au moins une fois dans le passé : P
- toujours dans le futur : $G = \neg F \neg$
- toujours dans le passé: $H = \neg P \neg$ ⁶.

Ces modalités s'ajoutent au vocabulaire de base du langage de la logique classique utilisée. On remarque que le présent n'est pris en compte ni dans la signification du nécessaire ni dans celle du possible et qu'il y a une symétrie parfaite (donc pas de flèche temporelle) entre passé et futur. Profitant de cette symétrie, nous noterons \Box indifféremment G ou H et \Diamond F ou P à chaque fois qu'il sera inutile de les séparer.

La propriété de transitivité de la relation de précédence se traduit par les règles : $\Diamond\Diamond p \rightarrow \Diamond p$ et $\Box p \rightarrow \Box\Box p$. Des axiomes supplémentaires sont ajoutés à ceux de la logique propositionnelle : en particulier, les axiomes qui traduisent les propriétés de distributivité ou non des opérateurs G et H par rapport aux autres opérateurs classiques sont nécessaires. Par exemple $(\Box(p \rightarrow q) \rightarrow (\Box p \rightarrow \Box q))$.

Il faut aussi inscrire le présent dans la structure temporelle comme ce qui sera passé et a été futur. C'est écrire comme axiomes le caractère ineffaçable de la vérité temporelle : ce qui a lieu maintenant, pour tout temps postérieur, cela a eu lieu au moins une fois et pour tout temps antérieur, cela aura lieu c'est-à-dire $(p \rightarrow G P p)$ et $(p \rightarrow H F p)$. Dans les structures temporelles discrètes, l'opérateur *Next* est ajouté. Il permet de passer d'un point à l'ensemble de ses successeurs (ou prédécesseurs) quand celui-ci est non vide.

Dans les structures temporelles arborescentes, tous les futurs possibles sont également possibles et l'égalité $(\Diamond = \neg\Box\neg)$ n'est plus valide. En effet, ce qui est possible dans un futur peut ne pas l'être dans un autre futur. Il y a donc deux sens possibles au *possible* : *possible* (\Diamond_{\forall}) dans tous les futurs ou *possible* (\Diamond_{\exists}) dans au moins un futur. La dernière interprétation rejette cette égalité, en ne considérant plus cet opérateur comme "il est faux qu'il sera toujours le cas que p ne se produira pas" mais comme "p sera réalisé au moins dans un des futurs". Il est nécessaire de disposer de deux opérateurs distincts si l'on veut conserver ces deux interprétations.

Logiques modales pour les systèmes concurrents

La structure temporelle associée à un système concurrent est donnée par l'ensemble des suites d'états successifs qu'il peut prendre à partir d'un état initial. Cela donne une structure temporelle arborescente et discrète. Les opérateurs modaux sont donc l'opérateur *suivant*, noté \circ , permettant de passer d'un état au suivant, l'opérateur *toujours dans le futur*, noté \Box . Le temps réel ainsi construit est dynamique puisqu'il s'enrichit cumulativement des états successifs du système. C'est

⁶Cette égalité peut être remise en cause dans les structures arborescentes, cf infra.

dans ce cadre que trois classes importantes de propriétés temporelles des programmes concurrents ont été mises en évidence par Manna et Pnuelli [Manna et Pnuelli 1981]. Ce sont les propriétés d'invariance, de vivacité et de précédence.

2 Propriétés temporelles des systèmes concurrents

Les trois classes de propriétés - invariance, vivacité et précédence sont des propriétés temporelles qui dépassent largement le cadre des langages de programmation parallèles, puisqu'elles s'appliquent aux systèmes en général comme leurs définitions nous le montrent.

2.1 les types de propriétés temporelles

Cette classification dépend de la sémantique des trois modalités orientées vers le futur $\square = \textit{toujours}$, $\diamond = \textit{possible}$ et $\mathcal{U} = \textit{until}$.

La modalité \square caractérise la classe des propriétés d'invariance ou de sûreté. Il faut que certaines propriétés soient constamment vérifiées pour assurer le bon fonctionnement du système. Un système fonctionne bien si (i) il fait ce pour quoi il a été conçu. Une façon de le vérifier est de prouver qu'à chaque étape, une propriété "invariante" est toujours réalisée (ii) il le fera toujours correctement, à chaque manipulation. La correction partielle d'un programme, le comportement correct, l'exclusion mutuelle, l'absence de blocage sont des propriétés d'invariance.

La modalité \diamond caractérise la classe des propriétés de vivacité (ou de possibilités). Une propriété est vivace si quelque soit l'étape considérée, soit elle est vérifiée soit elle se vérifiera. La correction totale d'un programme, la terminaison, l'accessibilité, l'équité, l'absence de famine sont des propriétés de vivacité.

La troisième classe est liée à l'opérateur modal $\mathcal{U} = \textit{until}$ et caractérise dans le sens le plus large les propriétés de précédence. $p \mathcal{U} q$ signifie que q se produira, et qu'à partir de maintenant et jusqu'à l'occurrence de q , p se produit en continu.

2.2 Le problème

Nous reprenons ici le problème comme l'ont exprimé [Manna et Pnuelli 1981].

Considérons un programme G (Granté) qui gère une ressource unique à partager entre plusieurs processus R_1, \dots, R_k (Requesters) se disputant cette ressource. Supposons que chaque R_i communique avec G au moyen de deux variables booléennes r_i and g_i . La variable r_i reçoit la valeur 1 de R_i pour signifier une demande de requête. Dès que R_i détient la ressource, il le fait savoir en changeant la valeur de la variable, c'est-à-dire en affectant la valeur 0 à r_i . On peut se représenter r_i sous la forme d'une chaîne d'intervalles (cf. Figure 1), chaque intervalle de la chaîne correspondant aux périodes pendant lesquelles $r_i = 1$.

Le fournisseur G avertit R_i que la ressource lui est affectée en affectant la valeur 1 à la variable g_i , celui-ci lui accuse réception en changeant la valeur de r_i en 0. Quelque temps après, G reprend la ressource en modifiant la valeur de g_i qui devient 0. On peut donc aussi représenter G par k chaînes d'intervalles, chacune étant la fonction caractéristique d'une variable g_i .

Trois hypothèses sont implicitement faites :

- dès qu'une requête est faite, elle persiste jusqu'à ce qu'elle soit honorée.
- un processus n'est autorisé à faire une autre requête qu'après que la première a été satisfaite et que la ressource lui a été reprise.
- R_i reçoit autant de fois la ressource qu'il en a fait la demande.

La première hypothèse est le cas le plus simple de l'hypothèse du monde clos. La deuxième hypothèse ordonne les changements de valeurs des variables r_i et g_i , pour chaque i tel que $1 \leq i \leq n$. La troisième hypothèse oblige à autant de changements de valeurs de la variable r_i que de changements de la variable g_i pour chaque i tel que $1 \leq i \leq n$.

2.3 Spécification dans la logique modale

Voici la solution présentée par Manna et Pnuelli [Manna et Pnuelli 1981] : le fait qu'une variable x vaut 1 est représenté par x , si elle vaut 0, elle sera représentée par $\neg x$, comme il est d'usage en logique classique.

La ressource est toujours attribuée à au plus un demandeur à la fois.

C'est une propriété d'invariance. Elle s'exprime par le fait qu'à tout moment, la somme des r_i vaut au plus 1 : $\Box(\sum_{i=1}^k g_i \leq 1)$

Toute requête devra être satisfaite. C'est une propriété de vivacité.

Elle s'exprime par le fait que si $r_i = 1$ alors g_i (qui vaut 0 au moment de la requête) deviendra égal à 1 (dans un temps non précisé mais fini) : $(\forall i)(1 \leq i \leq k)(r_i \Rightarrow \Diamond g_i)$

Absence de réponse non sollicitée. C'est une propriété de précédence.

La ressource ne sera pas attribuée à un client qui n'en a pas fait la demande. Cette propriété est similaire à la propriété des réseaux de communication qui dit que tout message reçu a été envoyé par quelqu'un : $\neg g_i \Rightarrow (r_i < g_i)$ avec $p < q \equiv \neg((\neg p)\mathcal{U}q)$

Réponse (FIFO) stricte. C'est aussi une propriété de précédence.

Les réponses sont ordonnées en une séquence de même ordre que l'arrivée des requêtes correspondantes. $(\forall i, j)(i \neq j)(1 \leq i, j \leq k)((r_i \wedge \neg r_j \wedge \neg g_j) \Rightarrow (\neg g_j \mathcal{U} g_i))$

Le système est spécifié mais le calcul de l'ensemble des séquences possibles n'est pas réalisé. Nous allons faire les deux, dans le cadre des S-langages que nous introduisons maintenant.

3 S-langages

Nous prendrons comme exemple, le cas où nous avons trois demandeurs R_1, R_2, R_3 et que l'ordre des requêtes est $R_1R_2R_3R_1R_3$. Nous avons alors 6 variables r_1, r_2, r_3 et g_1, g_2, g_3 . Chaque demande de ressource correspond à une période de temps où les variables correspondantes (en r et g) valent 1. R_1 et R_3 réclamant deux fois la ressource, r_1, g_1, r_3, g_3 correspondent à des chaînes de 2 intervalles. R_2 ne la réclamant qu'une fois, r_2, g_2 correspondent chacun à un intervalle.

Comme nous l'avons expliqué dans l'introduction, chaque intervalle ou chaîne d'intervalles peut être facilement exprimé par un mot écrit sur leur identité, et les relations qui les lient par des S-mots. Commençons par définir plus formellement les objets que nous allons utiliser.

3.1 Aspects formels

Définition 3.1 Soit X un ensemble non vide d'éléments. Les éléments sont appelés lettres et l'ensemble un alphabet. Un S-alphabet sur X est un sous-ensemble non vide de 2^X , l'ensemble des parties de X ; un élément du S-alphabet sur X est une S-lettre, une suite finie de S-lettres est un S-mot, un ensemble de S-mots est un S-langage.

Dans ce travail, nous utilisons le S-alphabet $\widehat{X} = 2^X - \emptyset$, en identifiant tout singleton avec sa lettre, nous écrivons $X \subset \widehat{X}$ et $X^* \subset \widehat{X}^*$. Les S-lettres sont écrites indifféremment soit horizontalement, soit verticalement : $\widehat{\{a, b\}} = \{a, b, \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix}\}$. Afin de lier les S-mots sur X avec les lettres de X , nous posons :

Définition 3.2 Soit $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ un n -alphabet et soit $f \in \widehat{X}^*$. Nous notons $\|f\|_x$ le nombre d'occurrences d'une lettre x de X apparaissant dans les S-lettres de f , et $\|f\|$ l'entier $\sum_{1 \leq i \leq n} \|f\|_{x_i}$ (nombre d'occurrences totales de lettres dans f). Le vecteur de Parikh de f , noté \vec{f} , est le n -uplet $(\|f\|_{x_1}, \dots, \|f\|_{x_n})$.

Exemple 3.1 Sur l'alphabet $X = \{a, b, c\}$,

le S-mot $f = \left\{ \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \right\} cba \left\{ \begin{Bmatrix} a \\ c \end{Bmatrix} \right\} c \left\{ \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \right\} a \left\{ \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \right\} aaaa$ est un S-mot qui a pour vec-

teur de Parikh $\vec{f} = (10, 4, 4)$.

Définition 3.3 Soit X et Y deux alphabets disjoints, $f \in \widehat{X}^*$, $g \in \widehat{Y}^*$. Le S-entrelacs de f et g est le langage $[f||g] = \{\widehat{h_1 \dots h_r} | h_i \in \widehat{X \cup Y}, \text{avec } \max(|f|, |g|) \leq r \leq |f| + |g| \text{ et tel qu'il existe des décompositions de } f \text{ et } g : f = f_1 \dots f_k, g = g_1 \dots g_k, \text{ satisfaisant, } \forall i \in [r] \text{ (i) } |f_i|, |g_i| \leq 1 \text{ (ii) } 1 \leq |f_i| + |g_i| \text{ (iii) } h_i = f_i \cup g_i \}$.

Par exemple : $[aa||bb] = \{aabb, a \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} b, abab, \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} ab, ab \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix}, baab, ba \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix}, abba, \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} ba, baba, b \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} a, bbaa\} = \{f \in \widehat{\{a, b\}}^* | \vec{f} = (2, 2)\}$.

Le S-entrelacs de deux S-langages L et L' écrits sur deux alphabets disjoints est le langage $[L||L'] = \cup_{f \in L, f' \in L'} [f||f']$.

3.2 Représentation des objets temporels et de leurs relations

Les objets temporels que nous manipulons sont les traces temporelles sur la *ligne du temps* des objets phénoménologiques. Qu'ils soient ponctuels ou duratifs, sémelfectifs ou répétitifs, les placer les uns par rapport aux autres sur la ligne temporelle, consiste à placer les extrémités (points ou bornes des intervalles) les unes par rapport aux autres. Le modèle mathématique adéquat est celui qui modélise exactement la précédence et la simultanéité sur la droite temporelle. C'est celui des S-arrangements [Schwer 2002], équivalent aux S-langages. Ainsi le S-mot de l'exemple 3.1 représente-t-il la situation entre les trois chaînes de la Figure 1 en supposant que ces chaînes ont pour identité respectives a , b , et c , A décrit par $(aa)^5$, B par $(bb)^2$ et C par $(cc)^2$. Il est donc possible de décrire ainsi une relation n-aire et non, comme

Figure 1: Une relation entre 3 chaînes d'intervalles



dans les algèbres relationnelles, uniquement binaire. En particulier, l'ensemble de toutes les situations possibles entre des objets temporels est donné par l'entrelacs des mots représentant ces objets.

Le problème.

Cas général.

Les objets temporels sont les chaînes R_i, G_i dont on ignore a priori le nombre d'intervalles. On les écrit alors⁷ $(r_i \bar{r}_i)^*$ et $(g_i \bar{g}_i)^*$ pour $1 \leq i \leq k$. L'ensemble de toutes les situations possibles est exprimé par le langage $[(r_1 \bar{r}_1)^* || (g_1 \bar{g}_1)^* || \dots || (r_k \bar{r}_k)^* || (g_k \bar{g}_k)^*]$, c'est le S-langage des S-mots de vecteur de Parikh $(\underbrace{*, \dots, *}_{2k \text{ fois}})$ sur l'alphabet ordonné $\{r_1, g_1, \dots, r_k, g_k\}$ ⁸.

⁷Nous avons surligné les lettres marquant une borne finale pour aider à la lecture.

⁸Le surlignement n'est qu'une aide de lecture, nous ne l'intégrons pas dans l'alphabet, mais rien n'empêche de le faire, en dédoublant chaque lettre.

L'application

Les objets temporels sont les chaînes R_1, G_1, R_3, G_3 représentées par les mots $r_1\bar{r}_1r_1\bar{r}_1, g_1\bar{g}_1g_1\bar{g}_1, r_3\bar{r}_3r_3\bar{r}_3, g_3\bar{g}_3g_3\bar{g}_3$, et les intervalles R_2, G_2 représentés par les mots $r_2\bar{r}_2, g_2\bar{g}_2$. L'ensemble de toutes les situations possibles est exprimé par le langage $[r_1\bar{r}_1r_1\bar{r}_1||g_1\bar{g}_1g_1\bar{g}_1||r_3\bar{r}_3r_3\bar{r}_3||g_3\bar{g}_3g_3\bar{g}_3||r_2\bar{r}_2||g_2\bar{g}_2]$. C'est le S-langage des S-mots de vecteur de Parikh $(4,4,2,2,4,4)$ sur l'alphabet ordonné $\{r_1, g_1, r_2, g_2, r_3, g_3\}$.

3.3 Raisonnement temporel

En général, les contraintes temporelles, ou les relations temporelles exprimées ne concernent qu'une partie des objets temporels. Il faut alors faire la synthèse de toutes ses contraintes. Le principe utilisé dans le cadre des S-langages est le suivant : (i) transformer les langages exprimant les contraintes sur une partie des objets en un langage signifiant la même chose mais en l'exprimant sur l'ensemble des objets ; les langages ainsi obtenus sont tous écrits sur des mots de même vecteur de Parikh (ii) faire l'intersection de tous ces langages.

Ainsi, un langage L sur l'alphabet X qui n'utilise pas toutes les identités disponibles est transformé en un langage équivalent $\int_X L$ utilisant toutes les identités par *entrelacs*. Formellement, soit $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ la partie des lettres non utilisées par le langage L et $y_i^{n_i}$ (ou y_i^*) le mot représentant l'objet de d'identité y_i .

$$\int_X L = [L||y_1^{n_1}|| \dots ||y_p^{n_p}]$$

Le résultat fondamental est que toute relation sur p éléments peut être transformée en un langage équivalent (traduisant la même relation) écrit avec l'ensemble des lettres de l'alphabet représentant l'ensemble des identités de tous les objets, et appelé l'intégral sur l'alphabet du langage. Ainsi trouver l'ensemble de satisfaction des relations possibles entre les éléments temporels c'est calculer des unions et des intersections d'entrelacs de langages comme nous le montrons dans la spécification et la résolution du problème.

3.4 Expression des contraintes du problème dans le cadre des S-langages.

Soit L le S-langage recherché.

La ressource est toujours attribuée à au plus un demandeur à la fois.

Cette contrainte ne concerne que les G_i et exprime le fait qu'yant lu un g_i (début d'une allocation à R_i), la première occurrence d'une lettre de type g rencontrée dans le S-mot doit et ne peut être que \bar{g}_i (fin de l'allocation en cours pour R_i , ce qui s'écrit. $L \subseteq L_1 = \int_X (g_1\bar{g}_1, \dots, g_k\bar{g}_k)^*$.

Toute requête devra être satisfaite Cette contrainte concerne chaque R_i individuellement, et donc contraint les couples de S-mots $(r_i \bar{r}_i)^*$ et $(g_i \bar{g}_i)^*$ en disant qu'à chaque occurrence de r_i doit succéder une occurrence de g_i , ce qui s'écrit ainsi $L \subseteq \bigcap_{1 \leq i \leq k} \int_X (r_i g_i [\bar{r}_i | \bar{g}_i])^*$.

Mais cette contrainte est contenue dans la contrainte plus précise qui dit que la séquence des actions liée à une requête est de la forme requête, allocation, reprise et désallocation. Ainsi, nous avons plus précisément $L \subseteq L_2 = \bigcap_{1 \leq i \leq k} \int_X (r_i g_i \bar{r}_i \bar{g}_i)^*$

Absence de réponse non sollicitée La ressource ne sera pas attribuée à un client qui n'en a pas fait la demande. Cette contrainte est déjà écrite dans la contrainte précédente.

Réponse (FIFO) stricte Les réponses sont ordonnées en une séquence de même ordre que l'arrivée des requêtes correspondantes. Cette contrainte concerne la façon dont les r_i, r_j, g_i, g_j se positionnent entre eux.

$$L \subseteq L_3 = \bigcap_{1 \leq i \neq j \leq k} \int_X (r_i g_i, r_j g_j, r_i r_j g_i g_j, r_j r_i g_j g_i)^*$$

3.4.1 Résolution

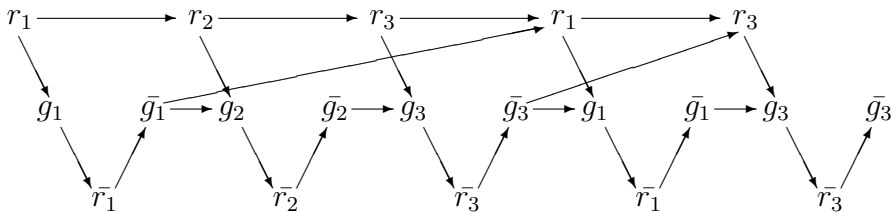
Tout S-mot contenu dans $L_1 \cap L_2 \cap L_3$ satisfait le problème et réciproquement. Donc

$$L = \int_X (g_1 \bar{g}_1, \dots, g_k \bar{g}_k)^* \cap \bigcap_{1 \leq i \leq k} \int_X (r_i g_i \bar{r}_i \bar{g}_i)^* \cap \bigcap_{1 \leq i \neq j \leq k} \int_X (r_i g_i, r_j g_j, r_i r_j g_i g_j, r_j r_i g_j g_i)^*$$

3.4.2 Résolution de l'application

En imposant l'ordre des requêtes $R_1 R_2 R_3 R_1 R_3$, cela contraint la séquence des r suivantes : $r_1 r_2 r_3 r_1 r_3$, L_2 impose les séquences $r_1 g_1 \bar{r}_1 \bar{g}_1 r_1 g_1 \bar{r}_1 \bar{g}_1$, $r_2 g_2 \bar{r}_2 \bar{g}_2$, $r_3 g_3 \bar{r}_3 \bar{g}_3$, $r_3 g_3 \bar{r}_3 \bar{g}_3$. L_3 impose la séquence des g identique à la séquence des r , soit $g_1 g_2 g_3 g_1 g_3$ et L_1 conduit à $g_1 \bar{g}_1 g_2 \bar{g}_2 g_3 \bar{g}_3 g_1 \bar{g}_1 g_3 \bar{g}_3$. En fusionnant ces segments, nous obtenons le diagramme de Hasse de la relation de précédence sur les instants de la figure 2, représentation graphique du S-langage résultat.

Figure 2: Diagramme des solutions possibles



C'est l'ensemble des commutations de chaque r_i avec toutes les autres lettres sauf r_j et g_i .

4 Conclusion

Dans cet article nous avons présenté le formalisme des S-langages pour représenter et situer les extensions temporelles des objets phénoménologiques. Ce travail est, en intelligence artificielle, dans le domaine de la représentation et du raisonnement temporel qualitatif, et repose essentiellement sur des modèles logiques et des graphes de contraintes. Nous avons appliqué sur un exemple classique du domaine des systèmes concurrents le modèle des S-langages, nous dégageant de l'emprise de la logique. Ce formalisme traduit la notion d'instant de Whitehead comme classe de simultanéité des événements et celle de précédence. Il est fondé sur la théorie des S-arrangements [Schwer 2002] et est en correspondance bi-univoque avec les chemins de Delannoy Généralisés [Autebert et Schwer 2003] qui donnent une représentation spatiale des relations temporelles qualitatives comme promenade dans un réseau, mais ceci est une autre histoire. Au cours de son stage de DEA MIASH de Paris 4, Étienne Picard [Picard 2003], sous la direction de Jean-Luc Minel et de nous-même, a implanté le modèle des intervalles topologiques de Jean-Pierre Desclés [Desclés 1989] dans ce formalisme, en valuant les identités avec la qualité des procès (état, événement, processus).

Remerciements pour Jean-Michel Autebert, Jérôme Cardot et Jean-Luc Minell pour leur relecture attentive du manuscrit.

Références

- [Autebert et Schwer 2003] Jean-Michel Autebert, Sylviane R. Schwer ; On generalized Delannoy Paths, *SIAM Journal on Discrete Mathematics* 16-2 (2003) 208–223.
- [Beauzée 1789] Nicolas Beauzée ; Temps, dans *Encyclopédie méthodique : grammaire et littérature, 1789* tome III, p. 494-522
- [Desclés 1989] Jean-Pierre Desclés ; State, event, process, and topology, *General Linguistics*, 29-3 (1989) 159–200.
- [Manna et Pnuelli 1981] Zohar Manna, A. Pnuelli ; Verification of Concurrent Programs: The temporal proof principles. *Springer, LNCS* 131 (1981) 200–252.
- [Nicod 1923] Jean Nicod ; *La géométrie dans le monde sensible* thèse de Doctorat, Alcan, Paris, 1923.

- [Picard 2003] Étienne Picard ; Étude des structures de données et des algorithmes pour une implantation des éléments et relations temporelles en vue du traitement automatique de la temporalité dans le langage naturel. *stage de DEA, Université Paris 4, ISHA, laboratoire LaLICC, septembre 2003*
- [Prior 1957] Arthur Prior ; *Time and Modality* Oxford University Press, London, 1957. Reprinted by Oxford University Press in 1968
- [Randel et al. 1992] David A. Randell, Anthony. C. Cohn, Zheng Cui ; Computing Transitivity Tables: A Challenge For Automated Theorem Provers. *Proc. CADE, LNCS, Springer Verlag, (1992)*
- [Reichenbach 1947] Hans Reichenbach ; *Elements of Symbolic Logic*, London MacMillan 1947
- [Russell 1924] Bertrand Russell ; *Our knowledge of the External World*, G. Allen & Unwin, London, 1924
- [Schwer 2002] Sylviane R. Schwer ; S-arrangements avec répétitions *C. R. Acad. Sc., Paris, Ser. I 334 (2002) 261–266*
- [Whitehead 1920] Arthur N. Whitehead ; *The concept of nature* Cambridge University Press, 1920

La spatialisation du temps musical : les Unités Sémiotiques Temporelles

C. Tijus, S. Poitrenaud, C. Bellissens, J. Heni, M. Frémiot
CNRS FRE - 2627 « Cognition & Usages » - Université Paris 8
Laboratoire Musique & Informatique de Marseille (MIM)

Résumé

L'équipe du Laboratoire Musique & Informatique de Marseille, autour de Marcel Frémiot, a mis en évidence des Unités Sémiotiques Temporelles (U.S.T.) ou "segment musical qui, même hors contexte, possède une signification temporelle précise, due à son organisation morphologique" (Delalande, Formosa, Frémiot, Gobin, Malbosc, Mandelbrojt & Pedler, 1996). Ainsi définies, les unités sémiotiques temporelles réfèrent aux unités de base permettant de dérouler et d'organiser la musique dans le temps. Leurs traits morphologiques renvoient à des attributs morphologiques et sémantiques et ces attributs sémantiques définissent une séquence. C'est grâce à cette signification temporelle que sont identifiées les UST que sont « Chute, Contracté étendu, Elan, En flottement, En suspension, Etirement, Freinage, Lourdeur, Obsessionnel, Par vagues, Qui avance, Qui tourne, Qui veut démarrer, Sans direction par divergence d'information, Sans direction par excès d'information, Stationnaire, Sur l'erre, Suspension Interrogation, Trajectoire inexorable ». Par exemple, l'UST « chute » est « une unité délimitée dans le temps, à deux phases : une première phase globalement uniforme, même si la matière est animée d'un mouvement interne et une deuxième phase qui comporte un mouvement d'accélération et évolue en hauteur soit en montant, soit en descendant ».

Le codage en UST de l'information musicale a une validité empirique puisque de nombreuses compositions ont pu ainsi être segmentées et codées. Qu'en est-il de leur validité psychologique ? A partir d'une analyse vectorielle et d'une analyse basée sur le treillis de Galois (Poitrenaud, 1995), nous avons représenté l'univers de description des UST, leurs dimensions, similitudes et distinctions que nous avons confrontées à une ontologie des mouvements spatiaux et aux catégorisations faites par des participants dans une tâche de classement. De la sorte, nous montrons la pertinence cognitive des UST et l'importance du codage spatial de l'information temporelle délivrée par la musique comme support à l'approche biosémiotique.

Mots clefs : Cognition, Musique, codage, Unités Sémiotiques Temporelles

La construction cognitive du temps à partir de l'espace

Le temps, la durée et le rythme sont des constructions cognitives pour lesquelles nous disposons de représentations symboliques externes (calendrier, cadran numérique, ...) mais surtout de nature spatiale (déplacement d'aiguilles, balancier, cadran solaire). A cet égard, l'appréhension cognitive du temps, des durées et des rythmes fait largement appel au codage analogique spatial à partir des mouvements et déplacements spatiaux. Prendre comme source l'espace, et la vision, pour représenter le temps a comme effet de fournir une capacité de traitement simultané de l'information séquentielle. Ceci se retrouve avec la représentation mentale de tâches à résoudre (Tijus, 2000) ou encore la compréhension de scènes narratives dans des œuvres picturales (Tijus, 2001). Qu'en est-il du codage cognitif de l'information musicale ?

Rappelons tout d'abord la nécessité qu'il y a à représenter les données visuelles qui ne peuvent être simultanément perçues par une spatialisation généralement opérée par des « vues d'en haut » avec les cartes (figure 1-a), les plans d'architectes, l'échiquier (figure 1-b), ou encore par des présentations simultanées de différents points de vue (figure 1-c). Il s'agit toutefois de données temporellement co-occurentes, qu'on puisse s'en assurer d'en haut (figure 1-a, 1-b) ou non (figure 1-c) par manque d'ubiquité. Plus troublante est la spatialisation de données visuelles qui ne sont pas co-occurentes (figure 1-d) avec la notion d'espace-problème (Newell & Simon, 1972 ; Tijus, 2001 pour une présentation) qui représente simultanément tous les états d'un problème alors que l'occurrence de l'un exclut tous les autres, tout comme un calendrier permet de représenter tous les jours de l'année. En résumé, les représentations externes spatiales nous permettent l'appréhension simultanée de données visuelles qui ne sont pas concomitantes, dans l'espace, mais aussi dans le temps. La saisie cognitive immédiate de ces représentations spatiales externes nécessite une abstraction qui se réalise par une réduction quantitative et qualitative des propriétés des objets et une amplification et amplification des propriétés utiles (les routes de figure 1-a, la forme distinctive des pièces de la figure 1-c), mais surtout par une intégration schématique (Schank & Abelson, 1977) externe et interne des parties (figure 1-a : centre-ville / le reste de la ville / extérieur à la ville ; figure 1-c : pièces noires / pièces blanches) ou encore seulement interne (figure 1-b : cuisine, balcon, séjour ; figure 1-d : les chemins qui permettent d'aller de 111 à 333) dans une structure de décomposition tout-parties (figure 1-a : région : [ville : centre-ville / le reste de la ville] [extérieur à la ville] ; figure 1-c : pièces : [pièces noires : Roi, Reine, ...] [pièces blanches] ; figure 1-b : maison : [intérieur : cuisine, séjour], [extérieur : balcon] ; figure 1-d : but 333 [sous but 223] [sous-but 133] [sous 333]) qui permet l'intégration cohérente de données visuelles non-concomitantes.

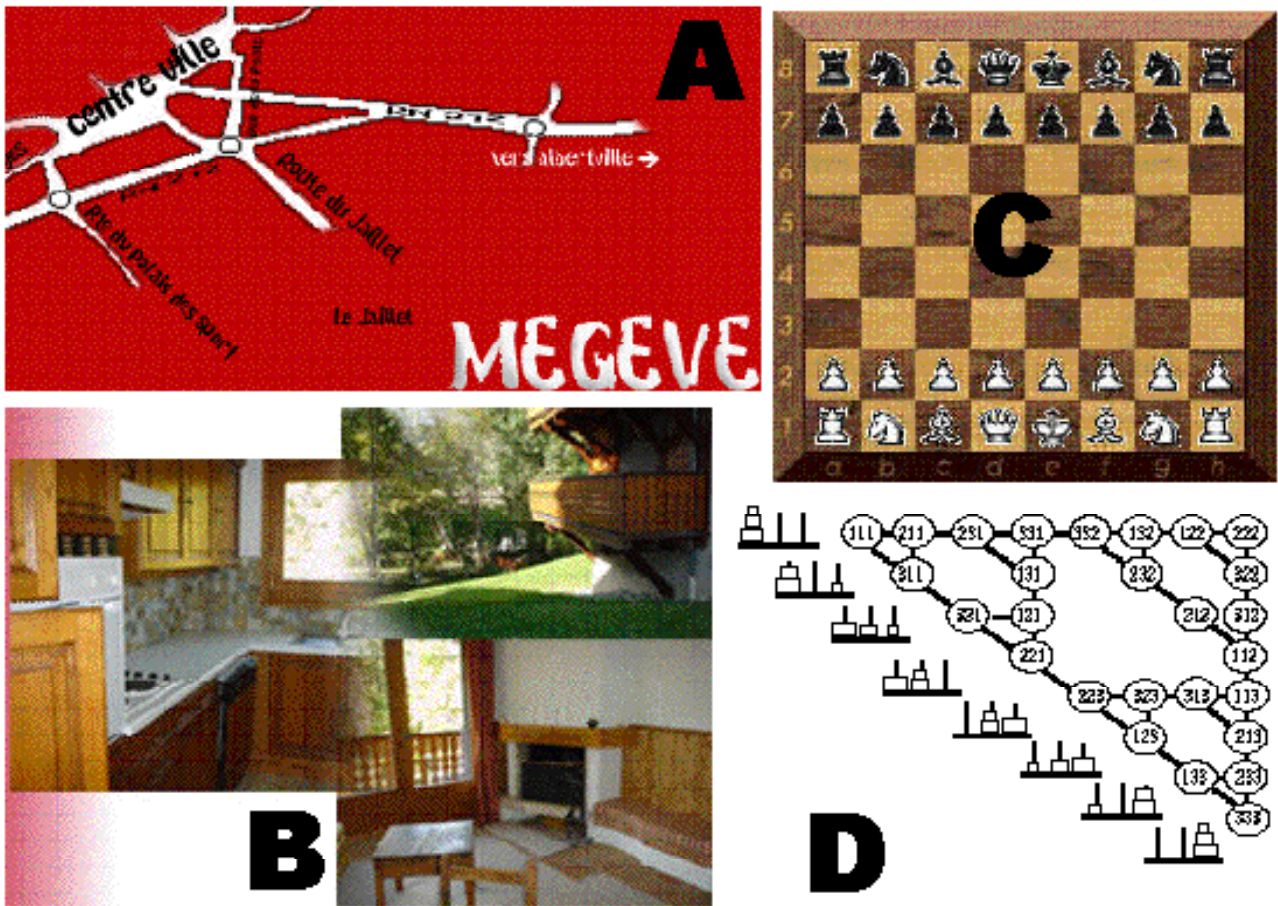


Figure 1. Spatialisation de données visuelles : a -plan d'une ville, b – points de vue multiples, c : échiquier vu de haut avec pièces à plat, d – espace problème de la Tour de Hanoi : les états successifs sont simultanément perçus.

Ainsi, les données visuelles, de nature spatiale, qui ne peuvent être directement perçues simultanément sont codées spatialement pour être appréhendées en un tout cohérent. Il en va de même pour les données spatio-temporelles (figure 1-d ; comme autre exemple, on pensera aux notices techniques qui montrent simultanément les états successifs du montage d'un dispositif, ou encore le tracé d'un parcours sur une carte). Notre hypothèse est que ces processus de schématisation spatiale (réduction et ampliation-amplification, structure partie-tout) sont également ceux qui ont cours pour traiter les données qui ne sont pas de nature spatiale, mais temporelle, par exemple les flux sonores et spécialement la musique. Ce codage nécessite en outre la position et l'orientation dans un espace mentalement construit.

Les flux sonores ont manifestement une dimension physique spatiale qui relève de la position de la source (ou des sources) par rapport à l'auditeur. Nous ne traitons pas ici de cette dimension. On notera également que la partition musicale sur support avec ses blanches et ses noires et triples croches correspond à cette schématisation spatiale qui fait appréhender simultanément des événements sonores temporellement disjoints avec pour chaque note une position spatiale, une direction (de droite à

gauche et de haut en bas, comme pour la lecture). Elle n'est toutefois pas cognitivement valide comme mode de représentation interne de la musique parce qu'elle est apprise, et surtout parce que tout comme lorsque nous percevons quelqu'un en train de faire quelque chose, nous ne nous créons pas des suites de lettres, lorsque nous écoutons de la musique nous ne nous créons pas des suite de blanches, noires et triple croches. Sans oublier que ce système de notation est inadéquat pour nombre de musiques.

A l'écoute d'un flux sonore, le problème pour un système cognitif (qui a pour objectif la signification de ce qui est entendu) est de pouvoir intégrer ce qui n'est plus (ce qui a été entendu et qui n'existe plus physiquement), ce qu'on est en train d'entendre (qui existe physiquement) et ce qu'on va entendre (qui n'existe pas encore et auquel il faut être préparé). Pour cela, il faut de la mémoire (Ornstein, 1969), une fenêtre attentionnelle qui fait que deux événements sonores physiquement non-occurents, mais temporellement proches, soient simultanément appréhendés, et qu'on évalue d'une latence comprise entre 1.5 et 2 secondes (Handel, 1989) et un mode de représentation qui permette d'anticiper les événements à venir à partir de ce qu'on connaît, ce qu'on a vient d'entendre et ce qu'on est en train d'entendre.

Afin de comprendre comment sont évaluées les durées, mais aussi les rythmes, la psychologie du temps (e.g., Church & Broadbent, 1990, Denhiere & Pelissier, 2003) a développé les notions d'horloge interne (pacemaker) et d'accumulateur à partir desquels ce qui est écouté pourrait être codé et stocké en mémoire. Il s'agit en quelque sorte de coder le temps, et les événements temporels, en les discrétisant. Cette approche correspond de notre point de vue à une fonction fondamentale de la cognition humaine qui est sa capacité de simulation en reproduisant. Cette capacité de reproduction est probablement une manière de recréer du temps en rejouant les événements sonores. Les modèles mentaux qui permettent cette simulation ne sont pas incompatibles avec une approche schématique (Brewer, 1987) intermodale.

Toutefois si les capacités de simulation de l'esprit humain sont déterminantes pour la production d'événements temporels, on voit mal comment elles permettraient l'appréhension simultanée des événements passés, présents et futurs. En revanche le codage spatial permet de se représenter ces trois moments comme une trajectoire spatiale appréhendée comme un tout qui se déroule. C'est un premier argument basé sur l'économie cognitive. Un deuxième argument est de nature écologique. Les sons naturels, par opposition aux sons fabriqués, produits par des dispositifs, ont deux sources: le mouvement d'objets qui se déplacent (une tasse qui tombe, un ballon qui roule, etc.) et l'action faite sur des objets (taper sur une casserole, gratter une corde). C'est que trouvent (Figure 2) Anne Faure et Steve MacAdams qui ont demandé à des musiciens et des non-musiciens de décrire douze sons, six étant des sons de synthèse (Faure & Mc Adams, 1997; Faure, Mc Adams, Poitrenaud & Tijus, en préparation): pour décrire un son, les personnes parlent du déroulement du son et de sa forme, mais surtout de la source qui aurait bien pu produire le son. Le son se trouve ainsi associé au mouvement dans l'espace physique.

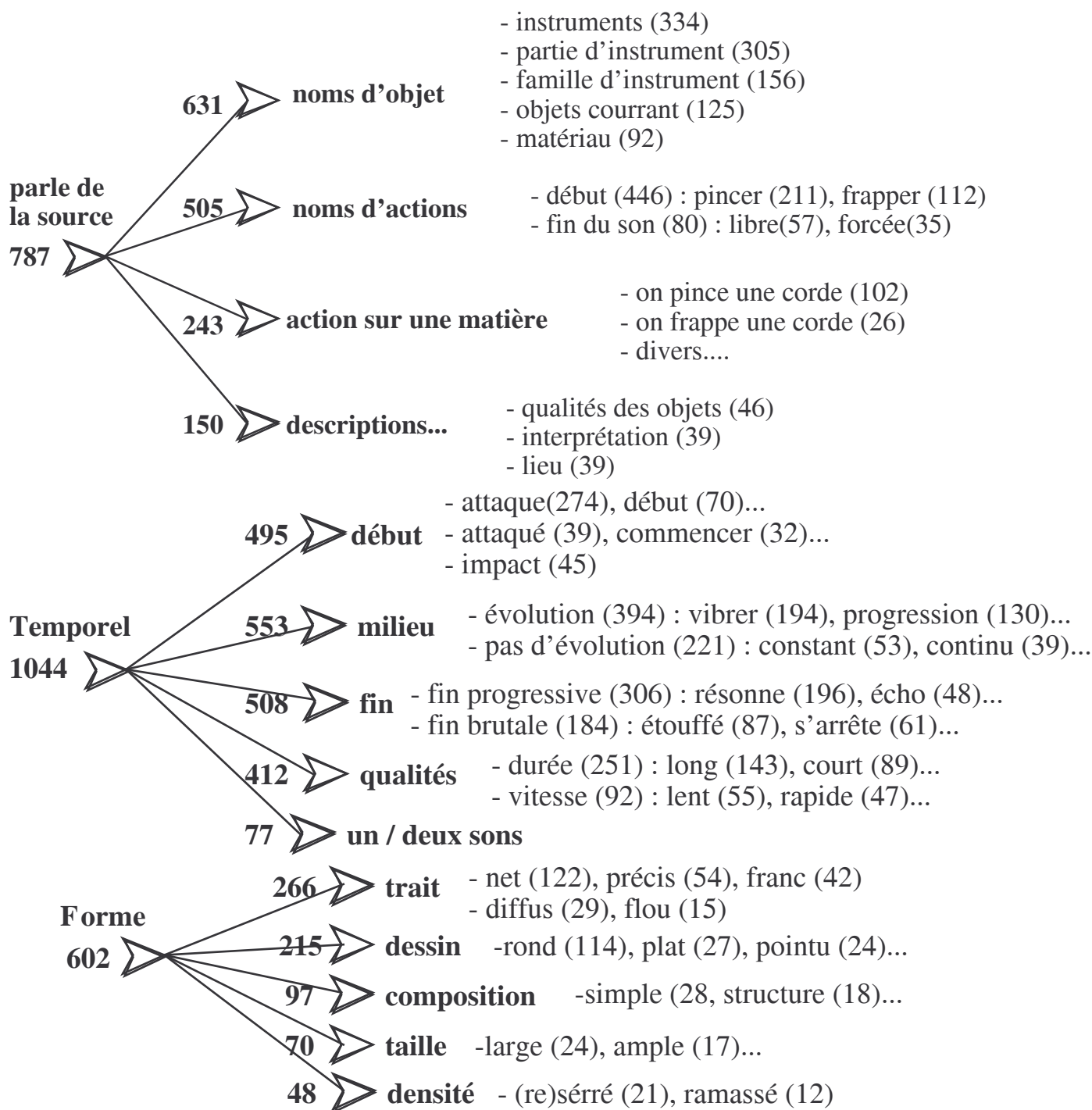


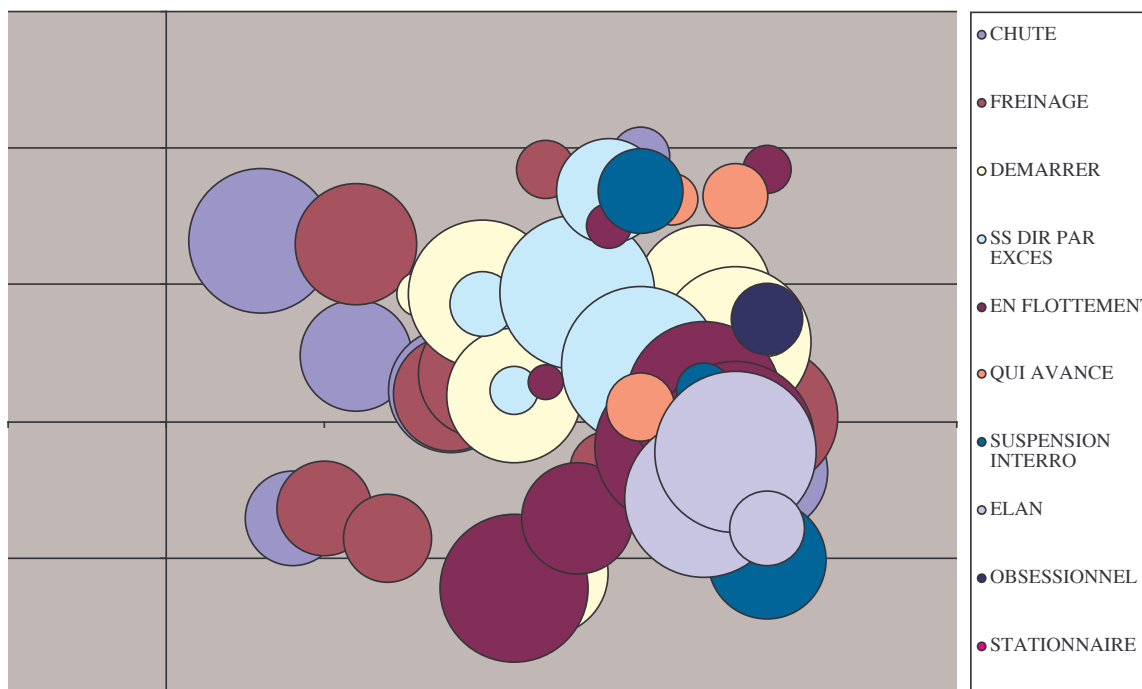
Figure 2. Typologie des termes employés pour décrire douze sons, dont six sont artificiels.

Les unités sémiotiques temporelles de l'équipe du MIM sont basées sur l'analyse du déroulement temporel de la musique et sont typées à partir de leur nom (qui avance, qui veut démarrer, trajectoire inexorable, qui tourne, chute, freinage, etc.) et d'attributs (mouvement, direction, accélération, etc.) qui relèvent largement d'une terminologie spatiale: "elles peuvent être considérés comme des représentations iconiques qui entretiennent des rapports de ressemblance avec des

modèles temporels naturels" (Timsit-Berthier et al., ce volume). Tout comme pour l'expérience de A. Faure et S. Mc Adams, relaté ci-dessus, ce pourrait être par une analogie de surface : n'ayant pas de termes propres aux événements temporels, on les emprunte aux événements spatiaux. Notre hypothèse est qu'il s'agit d'une analogie profonde : les événements temporels sont traités, reconnus et identifiés à partir d'événements spatiaux; les sons sont traités, reconnus et identifiés à partir des événements physiques spatiaux qui les produisent (ou auraient pu les produire) et la musique est traitée, reconnue et identifiée à partir de déplacements et de mouvements spatiaux. En résumé, dans le monde naturel, il n'y a pas de bruit sans mouvement d'objet. Un son implique un mouvement et beaucoup d'inférences sur les mouvements non perçus sont faites à partir de sons entendus (la porte qui claque). Si c'est bien le cas, alors les UST doivent avoir une pertinence psychologique et les principes de schématisation spatiale (réduction et ampliation-amplification, structure partie-tout) doivent être à l'œuvre dans les UST.

Pertinence psychologique des UST

Nous avons mené trois analyses des UST. La première analyse (figure 3) relève d'un calcul de similarité sémantique basé sur une décomposition en valeur singulière et une analyse vectorielle de type LSA (Landauer & Dumais, 1997).



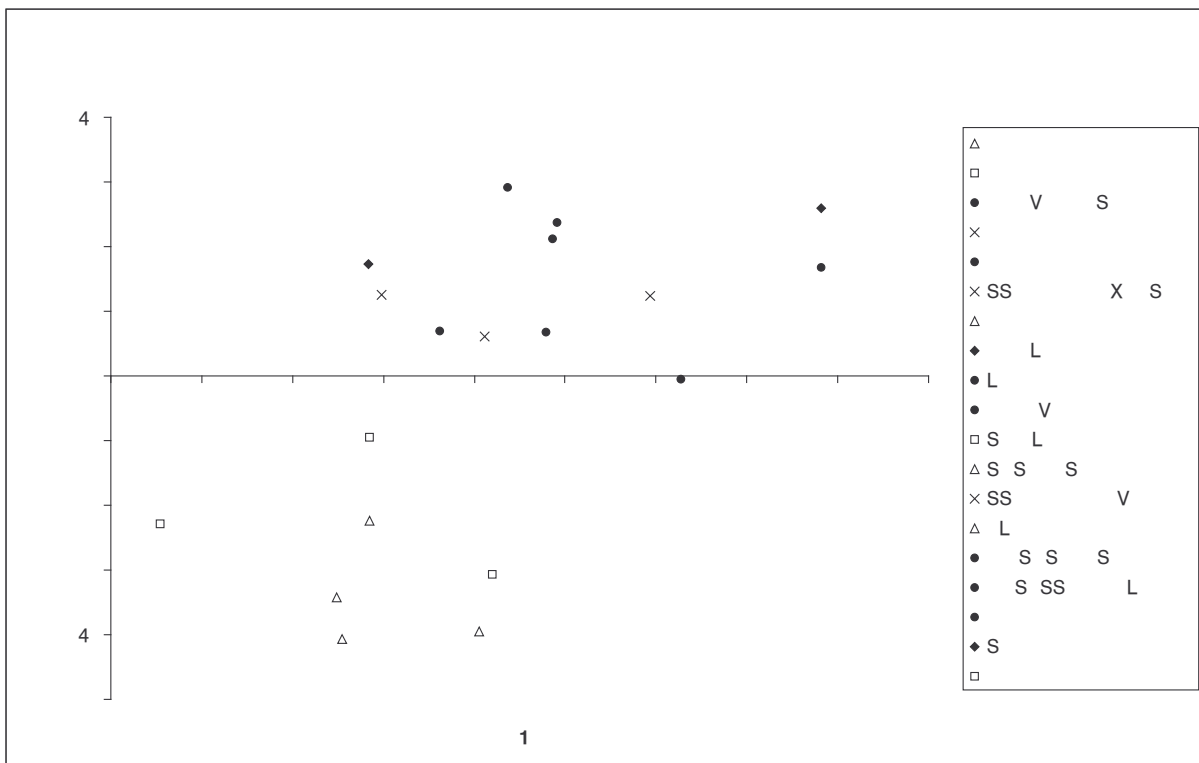


Figure 3. Vecteurs représentant chaque UST après analyse (haut) et tableau de corrélation entre les vecteurs (cosinus de l'angle formé par deux vecteurs).

Les résultats montrent l'existence de 4 groupes : g1 : stationnaire, en flottement; g2 : sans direction (2), démarrer; g3 : par vague, trajectoire inexorable, lourdeur, qui avance, en suspension, obsessionnel, qui tourne; g4 : chute, contracté-étendu, suspension-interrogation, élan, freinage, sur l'erre, étirement,. Notre interprétation est qu'on a des groupes caractéristiques : sans trajectoire (g1), trajectoire inconnue (g2), trajectoire connue (g3), trajectoire particulière (g4). On a bien une réduction des traits et une amplification de certaines caractéristiques qui permettent d'appréhender la diversité sous un petit nombre de catégories.

La seconde analyse relève de l'élaboration du treillis de Galois (figure 4) en considérant les descripteurs comme des parties de la définition que chaque UST a ou n'a pas. La structure hiérarchisée de l'ensemble des ensembles de parties fournit l'organisation des UST dans la mesure où chacune est placée comparativement aux autres du point de vue des descripteurs partagés (Poitrenaud, 1995, 2001).

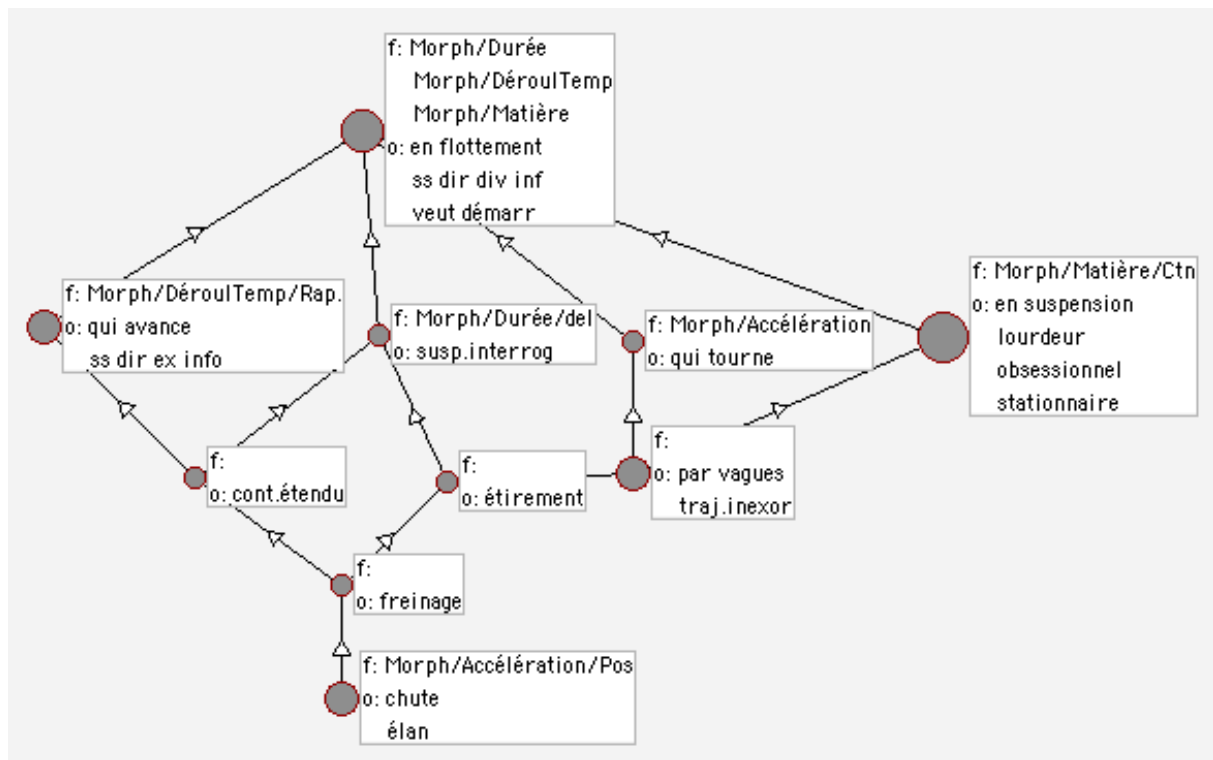


Figure 4. L'analyse hiérarchique STONE des UST à partir de descripteurs caractéristiques.

Les résultats dévoilent une structure hiérarchique aux UST compatible avec une représentation schématique basée sur une composition partie-tout : du non-déplacement (en flottement, veut démarrer) aux déplacements les plus spécifiques (chute, élán), en passant par les déplacements généraux (qui tourne, par vague, etc.).

La troisième analyse relève de l'approche expérimentale. Elle a consisté à demander à des participants (8 musiciens et 8 non-musiciens) d'écouter vingt extraits musicaux (quatre exemplaires par type d'UST pour 5 types d'UST: contracté-étendu, obsessionnel, qui avance, qui tourne, trajet inexorable) sur un ordinateur et de les mettre ensemble ou de les différencier selon leur déroulement temporel. Pour cela, les participants plaçaient les icônes des UST écoutés dans l'espace à deux dimensions de la fenêtre d'un dossier (figure 5).



Figure 5. Exemple de réalisation de la répartition de 20 extraits musicaux par un participant.

Selon l'analyse en UST, les extraits musicaux relèvent de 5 groupes. En moyenne, les participants réalisent 6 groupes lorsqu'ils sont musiciens et 6.7 groupes lorsqu'ils sont non musiciens. Lorsqu'on regarde avec quels autres UST, un extrait musical a été placé (tableau 1), on remarque que l'UST "trajet inexorable" est toujours placé avec un autre "trajet inexorable" et que les autres UST ont tendance à être groupé avec "trajet inexorable" qui a une sorte de fonction d'appel, mais qu'en deuxième position une UST est groupé avec l'UST du même type. Ainsi, mis à part l'effet induit par "trajet inexorable", les participants semblent bien traiter les extraits musicaux comme des UST.

P	nt of Row Tot	fo	ST	nt A	N1	
		a	é	b	t	t u
nt a t ét						
b nn l				4		
u a an	4			4		
u t u n	4					
t a n						
tal		4	4			4

Tableau 1. Pourcentages de répartition des extraits musicaux relevant d'un type d'UST avec d'autres segments musicaux relevant ou non de la même UST (av: qui avance, cé: contracté-étendu, ob: obsessionnel, ti: trajet inexorable, tou: qui tourne).

Conclusion : vers une taxonomie du mouvement

Il peut paraître surprenant d'envisager une typologie taxonomique des mouvements puisqu'on a une infinité de déplacements possibles dans l'espace 3D. D'un autre côté, la prise en compte de contraintes et la schématisation peuvent grandement réduire les

cas envisageables. Une première contrainte est le point de départ de tout mouvement qu'on peut ramener à un point unique : le centre de l'espace qu'on peut réduire à 2 dimensions dans une schématisation. Une seconde contrainte est la direction du mouvement qui peut être de gauche à droite et qui peut être projetable par symétrie de droite à gauche. Il en va de même pour l'orientation où monter équivaut à descendre par symétrie, si bien que l'idée de chute qui monte a une signification. Considérant les événements possible, il peut y avoir le cas « sans mouvement » : demeurer sur place. Il peut y avoir des cas d'oscillations en avant, en diagonale, en montant avec retour à la position initiale. Il peut y avoir les cas de changement de position sur un déplacement (durée) variable dans l'une des trois directions, à vitesse constante, avec accélération ou décélération. On a ainsi des éléments de base qui peuvent se composer et des compositions dont on peut tester la pertinence (ont-elles une signification ?) et la représentativité cognitive (est-ce suffisant pour représenter le perçu ?). Enfin, il serait possible de voir si ces compositions temporelles et spatiales sont à l'œuvre dans les UST. Le fondement épistémique d'une telle approche est qu'il n'y a pas de son sans mouvement spatial et que le mouvement spatial est mode appréciable de codage des événements temporels qui pourrait bien servir de support à l'appréhension des événements sonores, dont la musique.

Références

- Brewer, W. F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris, Ed., *Modelling Cognition*. Chichester, UK: Wiley, (pp. 187-197).
- Church, R.M., & Broadbent, H.A. (1990). Alternative representation of time, number and Rate. *Cognition*, 37, 57-81
- Delalande, F., Formosa, M., Frémiot, M., Gobin, P., Malbosc, P., Mandelbrojt, J. & Pedler, E. (1996). *Les Unités Sémiotiques Temporelles : Éléments nouveaux d'analyse musicale*. Marseille : Éditions MIM - Documents Mesurgia, 96 pages
- Denhiere, G., & Pelissier, A. (2003). Temps et Cognition. Journées interdisciplinaires de l'ED 224 "Cognition, Langage, Interaction, sur le temps, 24-25 avril 2005.
- Faure, A. & McAdams, S. (1997). Comparaison de profils sémantiques et de l'espace perceptif des timbres musicaux. 4eme Congrès Français d'Acoustique, Marseille, France, Teknea.
- Faure, A. McAdams, S. Poitrenaud, S. & Tijus, C. (en préparation). Analyse du contenu de verbalisations sur des timbres : Comment parle-t-on des sons ?
- Handel, S. (1989). *Listening*. M.I.T. Press : Cambridge, MA.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall
- Ornstein, R. E. (1969). *On the experience of time*. Baltimore: Penguin Books
- Poitrenaud, S. (1995). The Procopé Semantic Network: an alternative to action grammars. *International Journal of Human-Computer Studies*, 42, 31-69.
- Poitrenaud, S. (2001). *Complexité cognitive des interactions homme-machine : modélisation par la méthode ProcOpe*. Paris : L'Harmattan.
- Schank, R. C., and R. P. Abelson. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum

- T. Landauer and S. Dumais. A solution to plato's problem: The latent semantic analysis : theory of acquisition, induction and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104(2):211–240, 1997.
- Tijus, C. (2000). Le temps projeté : planification, anticipation, mémoire". *Journées scientifiques Réseau des Sciences cognitives d'Ile de France*, Collège de France, 20 et 21 octobre 2000.
- Tijus, C. (2001). La spatialisation du temps : La reconstruction cognitive du temps imagé de Giovanni Bellini à Marta Pérez. *Colloque "Forme et Temps"*, IRCAM, Centre George Pompidou, juin 2001
- Tijus, C. (2001). *Psychologie Cognitive : une introduction*. Paris : Nathan Université, collection Fac, Psychologie.
- Timsit-Berthie, M., Bootz, Ph., Favory, J., Formosa, M., Mandelbrojt, J., Paillard, J., Pro'dhomme, L., & Frémiot, M. (2004). Les Unités Temporelles Sémiotiques (UST) : un nouvel outil d'analyse musicale. Description et approche biosémiotique. Colloque de Rochebrune, 26-30 janvier 2004.

Les Unités Temporelles Sémiotiques (UST)

Un nouvel outil d'analyse musicale.

Description et approche biosémiotique.

M. Timsit-Berthier¹, Ph. Bootz, J. Favory, , M Formosa,
J. Mandelbrojt, J.Paillard L.Pro'dhomme et M. Frémot

Laboratoire Musique et Informatique de Marseille (MIM)
Cité de la Musique
4 Rue Bernard du Bois. 13001 Marseille.

Résumé

Définition et description (J. Favory)

Les Unités Sémiotiques Temporelles (U.S.T.), sont un outil d'analyse musicale élaboré par les musiciens-chercheurs du MIM. Elles sont nées d'une série de remarques sur la pratique de la musique électroacoustique qui, à la suite des travaux de Pierre Schaeffer sur l'Objet Sonore, nous ont incité à réintroduire la signification dans la description des éléments sonores.

En effet, le matériau sonore des musiques électroacoustiques échappe à une description selon des modèles d'organisation en termes de hauteurs et de durées relatives. D'autre part, dans leur pratique, les musiciens appréhendent les phénomènes sonores plutôt par des considérations de sens que par des considérations typomorphologiques comme le propose Schaeffer, c'est-à-dire à travers ce qu'ils évoquent "en arrière plan", soit au niveau des images suscitées par les sons, soit au niveau de "l'aventure" de la matière sonore elle-même.

Il nous est alors apparu que c'est le temps, et plus précisément la manière dont la matière sonore se déroule dans le temps, qui pouvait nous fournir les moyens d'une définition d'Objets Sémiotiques. Le croisement de ces problématiques du temps et de la signification a donné naissance aux êtres analytiques que sont les U.S.T. Développées à l'origine pour les musiques électroacoustiques, elles se révèlent tout aussi efficaces dans d'autres répertoires.

L'auteur présentera les 19 différentes UST par l'intermédiaire d'un CD-ROM.

Approche bio sémiotique.(M.Timsit)

Le problème posé consiste à trouver des correspondances entre les "figures temporelles" dénommées par les musiciens et des modèles temporels "naturels" qui émergeraient de nos expériences corporelles. Cette confrontation s'inscrit dans la perspective de la "Bio sémiotique" qui postule la nécessité de prendre en compte le

timsit.berthier@wanadoo.fr

corps humain et son interaction avec l'environnement dans toute théorie de la signification .

On peut remarquer tout d'abord que le temps n'a pas d'existence propre en tant que concept en psychophysiologie et dans les neurosciences cognitives. Il entre en jeu lorsqu'on étudie les capacités d'adaptation d'un organisme à son environnement toujours changeant. D'un point de vue phénoménologique, il intervient dans deux circonstances particulières, lors de situations d'attente et d'attention et lors d'expériences kinesthésiques. Les expériences kinesthésiques s'organisent en fonction d'une référence égocentrique (Topocinèse) et en fonction d'une référence allocentrique (Morphocinèse).

En s'appuyant sur ces concepts , on a tenté de regrouper les 19 UST précédemment décrites au sein de quatre classes. L'hypothèse est que chaque classe d'UST ouvre des potentialités à l'interprète et à l'auditeur qui pourraient passer, à l'intérieur d'une classe donnée, d'une UST à l'autre en fonction de leur subjectivité ou du contexte du matériel sonore. Cette démarche biosémiotique a pour but d'apporter une dimension sémantique supplémentaire à la description des UST.

MOTS-CLEFS : Unités sémiotiques temporelles, Analyse musicale, Biosémiotique, Mouvement, Temps.

1° Introduction

Le temps dans la musique.

La relation de la musique avec le temps ouvre un vaste horizon et ce thème a suscité, de tout temps, de nombreuses réflexions. Récemment, Eric Emery a abordé ce problème dans une perspective philosophique et phénoménologique et y a consacré un volumineux ouvrage (1998). Il y définit l'intention du musicien comme « un projet de durer et de communiquer avec autrui ». Et il se demande si la musique est un art strictement temporel comme l'ont suggéré Schopenhauer , Hegel et Bergson ou s'il n'existe pas aussi « un espace musical » ?

Plus récemment encore, Christian Accaoui (2001) s'est attaché à décrire les relations entre les différentes conceptions du temps, du Moyen Age à nos jours, et la structuration de l'ordre temporel interne de la musique instrumentale. En effet, la gestion du temps musical et la musique elle-même ont évolué au cours des siècles et cette évolution traduit peut-être des modifications structurelles de la société (M. Frémiot 1996).

Certes, à toutes les époques, la musique a pu présenter un caractère métronomique lorsqu'elle s'associait à la danse et, à l'inverse, un caractère non mesuré lorsqu'elle doublait des psaumes et des récitatifs. Mais on peut remarquer qu' avant le XII° siècle, l'appréhension du temps qui s'exprimait dans des monodies grégoriennes était mobile. En revanche, fin du XII° siècle, début du XIII°, il y a eu dans la musique instrumentale une appréhension relativement fixée du temps, renforcée peut

être par la notation musicale et à la fin du XIX^e siècle au XX^e siècle, il y a de nouveau une appréhension mobile du temps avec une musique d'une extrême mouvance. Cette nouvelle gestion du temps qui se voit déjà dans la musique de Debussy est entièrement réalisée dans la musique électro-acoustique.

Il est vrai que la musique offre une expérience particulière de la temporalité. À la différence du récit, du temps narratif qui peut soutenir plusieurs plans temporels simultanément, le temps musical vit sur un seul plan temporel (B. Sève 2002).. À la différence de la peinture et de l'art plastique qui s'offre d'un seul coup d'œil dans sa globalité, le temps de la perception musicale se fait dans un ordre déterminé et il est strictement contemporain du temps propre de l'œuvre. (J. Mandelbrojt, 2003)

B. Stiegler (2002) développe une idée analogue en reprenant le concept d'« objet temporel » créé par Husserl. Il fait remarquer que l'écoute d'une mélodie coïncide avec le flux de la conscience, « ce qui permet de le modifier et à un certain point de l'influencer, voire de le contrôler, d'où les fonctions militaires ou religieuses de la musique ».

Nécessité de nouveaux moyens d'analyse.

Le besoin d'analyse correspond au besoin de comprendre et de s'approprier l'œuvre musicale. Et ce besoin s'est modifié au cours des dernières années.

En effet, depuis près d'un siècle, avec le développement de la musicologie, l'analyse des œuvres de musique populaire comme de musique savante s'était surtout concentrée sur le déroulement des mélodies et sur la construction harmonique. Grâce à l'étude de la partition musicale, elle permettait de déterminer de quelle façon s'organisent les différents thèmes et les modulations harmoniques, mais elle s'intéressait moins au timbre. Or, la notion de « timbre » a été renouvelée au cours du XX^e siècle et elle a été remplacée par celle de « son », concept nouveau qui est issu de la rencontre des techniques électroacoustiques et informatiques et de la musique (F. Delalande 2001) . Ainsi, l'universalité des techniques d'enregistrement et de reproduction sonore, en mettant sur le même niveau une musique de pygmée et une symphonie de Beethoven a ouvert des perspectives entièrement nouvelles.

Ainsi, les nouvelles œuvres musicales qui donnent prépondérance à la qualité sonore et qui ne sont pas écrites échappent complètement à ce type d'analyse. C'est dans un tel contexte que P. Schaeffer a postulé la nécessité d'une révision radicale des idées au sujet de la musique et a proposé un renouvellement de l'écoute qui doit se tourner vers « le son » envisagé pour lui-même, dans ses qualités « d'objet sonore ». Il a proposé de faire porter l'analyse sur la perception et non sur les partitions et, il a élaboré une description typo morphologique reposant sur « une écoute réduite » qui fait abstraction de toute signification (Traité des objets musicaux, 1966).

En effet, les objets sonores de Schaeffer sont des unités morphologiques qui se détachent de leur contexte en fonction de lois statistiques. On considère comme objet sonore « tout phénomène sonore et événement sonore perçu comme un ensemble,

comme un tout cohérent et entendu dans une écoute réduite qui le vise pour lui-même, indépendamment de sa provenance et de sa signification » (M. Chion 1983). Schaeffer évoque l'existence « d'un sentiment temporel fluctuant » « qui rend vain le recours au temps métrique, dès que les objets sont rigoureusement formés ou s'organisent dans des structures temporelles fortement différenciées. Schaeffer a eu conscience des limites de cette approche puisqu'il déclare « le sens que la structure donne à l'objet sonore est la véritable naissance du musical ».

L'équipe du MIM a essayé d'aller au-delà de cette description morphologique. Ainsi, depuis 1991, elle a élaboré un nouvel instrument d'analyse musicale basée sur la définition d'Unités Sémiotiques Temporelles.(UST).

Notre travail sera présenté en deux parties.

Tout d'abord, nous présenterons en détail cette nouvelle méthode d'analyse en précisant la méthodologie qui a été utilisée pour lui donner naissance.

Dans un deuxième temps, nous viserons à confronter cette démarche, purement musicale et une approche neurobiologique de la temporalité en formulant l'hypothèse que les métaphores utilisées pour décrire les UST auraient pour fondement un vécu corporel.

2° Les Unités Sémiotiques Temporelles (UST)

Définition :

Les UST sont des segments musicaux, qui possèdent une signification temporelle en raison de leur organisation morphologique et cinétique. Elles peuvent être considérées comme des représentations iconiques qui entretiennent des rapports de ressemblance avec des modèles temporels naturels. L'UST ne traduit pas le phénomène musical à son niveau acoustique, mais cherche à y trouver en quelque sorte une intentionnalité. (Cf. Livre UST et CD-Rom)

Méthodologie

La méthodologie utilisée pour découvrir et décrire les UST est empirique et elle s'est basée essentiellement sur des impressions perceptives et des raisonnements par analogies. Elle a été mise au point par une équipe pluridisciplinaire comprenant des compositeurs, des peintres et des scientifiques. À l'origine de leurs hypothèses se trouve une intuition provenant de leur pratique : certaines figures sonores semblent produire un effet kinesthésique et/ou paraissent avoir une certaine « signification » temporelle. Elles apparaissent dans des contextes divers et sous des formes différentes. Ainsi, telle séquence peut évoquer des impressions d'accélération ou de ralentissement, parfois des impressions d'immobilité et d'éternité. En se basant sur cette intuition, les auteurs ont cherché à constituer un véritable répertoire de figures temporelles. Pour cela, ils ont écouté de façon collective et avec l'esprit critique un grand nombre de musiques contemporaines, classiques et populaires. Leur écoute ne

cherchait ni à entendre les successions de hauteur, ni les cadences, ni les nuances mais à repérer les figures sonores en termes de vitesse, régulière ou non, de matière sonore, de trajectoire. Ils ont donc utilisé une procédure d'observation basée sur d'une écoute orientée d'œuvres musicales. Leur tâche était triple :

-Repérer les figures musicales qui présentaient une certaine signification temporelle en opérant une segmentation de certaines parties de l'œuvre écoutée et en les extrayant du répertoire. Le but était de constituer un inventaire de segments musicaux, qui évoquaient une signification temporelle (Par exemple, une impression de stationnarité, de mouvement, d'attente). Cette fragmentation de l'œuvre sonore s'est faite après discussion et obtention d'un certain consensus,

-Regrouper les « unités temporelle » (UST) qui semblaient présenter des significations analogues et leur attribuer des qualités sémiotiques en essayant de trouver des analogies avec des « modèles naturels ». Là encore, c'est après discussion et obtention d'un certain consensus que des noms ont été données à ces unités temporelles.

- L'étape suivante a consisté, dans une démarche plus intellectuelle, à clarifier la raison de cette classification et à constituer une fiche de description de chacune des différentes U.S.T en fonction de leurs caractères morphologiques et cinétiques.

Description

Pour chaque UST, des caractéristiques morphologiques et cinétiques ont été décrites.

Les caractéristiques morphologiques sont au nombre de quatre. Ce sont :

- La durée, qui peut être non délimitée ou délimitée dans le temps ; cette dernière caractéristique correspond à une configuration sonore dont le début et la fin sont précisément marqués dans le temps alors que la première correspond à une configuration sonore perçue comme un état qui pourrait se perpétuer. Dans ce cas, une portion seulement de l'unité suffit pour que la signification temporelle apparaisse.
- La présence d'une seule ou de plusieurs phases, une phase correspondant à chacun des moments successifs et différents constituant une UST. À noter que dans les UST non délimitées dans le temps, il n'y a jamais plusieurs phases.
- - La présence de répétitions,
- -La matière, ensemble des caractéristiques liées à la façon d'occuper le champ des hauteurs, (profil de masse), au timbre, au grain, au profil mélodique. La matière peut être stable ou peut évoluer de façon continue ou discontinue au cours d'une UST.

Les caractéristiques cinétiques sont au nombre de deux.

- L'accélération s'applique aussi bien à l'évolution rythmique qu'au défilement interne de la matière. Elle peut être positive ou négative avec une stabilité des positions relatives.

-Le déroulement temporel qui a trait à la rapidité et à la lenteur de la pièce.

De la configuration de ces différentes caractéristiques émergent des qualités sémantiques en rapport avec les impressions ressenties par le sujet à l'écoute de l'œuvre musicale. Trois caractéristiques sémantiques ont ainsi été décrites : :

-La direction : un ensemble de variables évolue dans le même sens ce qui rend prévisible cette évolution.

- Le mouvement: qualité faisant référence à la sensation de mobilité ressentie à l'écoute.
- L'énergie : Forces dégagées par la matière sonore qui sous-tendent son trajet temporel.

Dix-neuf UST ont été décrites. Ce sont : Chute, Trajectoire inexorable, Contracté-étendu, Elan, Etirement, En flottement, Sans direction par divergence d'information, Lourdeur, Freinage, Obsessionnel, Qui avance, Qui tourne, Qui veut démarrer, Sans direction par excès d'information, Suspension-interrogation, En suspension, Par vagues, Stationnaire, Sur l'erre. Des exemples sonores de ces diverses UST seront présentés.

Les essais de regroupements de ces UST se sont avérés difficiles à effectuer. Et, c'est, en partie, devant ces difficultés que les musiciens se sont tournés vers les psychophysicistes avec l'idée que la confrontation avec un autre champ de connaissance pouvait aider à affiner voire modifier la grille d'analyse des UST.

Les UST constituent des outils qui permettent d'aborder l'analyse musicale avec un éclairage original mais il est bien évident que cette analyse n'empêche pas la saisie cohérente des successions sonores et que la musique n'est pas réductible à la somme des UST.

3° Approche « biosémiotique ».

Définition de la biosémiotique

Le problème posé aux psychophysicistes consistait à trouver des correspondances entre les « figures temporelles » dénommées par les musiciens et des modèles temporels « naturels » qui émergeraient de nos expériences corporelles. Cette confrontation s'inscrit dans la perspective de la « Bio sémiotique » qui postule la nécessité de prendre en compte le corps humain et son interaction avec l'environnement dans toute théorie de la signification (Sebeok T 2001, Brier S.2000). Elle s'inspire également de- la théorie de Varéla qui considère que nos capacités perceptives et cognitives sont le résultat d'une interprétation permanente qui s'enracine dans les structures de notre corporéité biologique. (Varéla et al. 1993) Ainsi, on ne peut dissocier l'univers perçu de celui de l'activité propre.

Cette démarche a pour but d'apporter une dimension sémantique supplémentaire à la description des UST, dimension qui introduirait des concepts différents de ceux

qui sont utilisés dans la description précédente. Une telle approche de la signification en musique a déjà été évoquée par Francès R. et Bruchon-Schweitzer M (1982) qui ont tenté de trouver des liens entre la forme musicale et l'expérience de l'individu, expérience qui dépendrait de la constitution de « schèmes affectifs » et de « schèmes gestuels ».

Methodologie :

Cette démarche s'est effectuée de façon empirique et elle a comporté plusieurs étapes.

Tout d'abord, nous avons confronté les vocabulaires utilisés afin de mieux spécifier leur signification dans nos disciplines respectives.

Puis, les psychophysicistes ont exposé aux musiciens le savoir auquel il est habituel de se référer quand ils veulent aborder le problème du temps. Seul un savoir relativement « macroscopique » et susceptible d'avoir un ressenti et un vécu phénoménologique a été pris en compte, les théories ayant trait aux différents oscillateurs cérébraux ont été volontairement omises.

Ensuite, les concepts psychophysicologiques qui paraissaient les plus pertinents pour enrichir la description des UST ont été recherchés et l'on a examiné certaines des nombreuses convergences possibles entre ces concepts et les différents descripteurs des UST.

Enfin, des regroupements d'UST différentes qui semblaient avoir en commun une analogie avec certaines caractéristiques psychophysicologiques ont été tentés. Ainsi, de nouveaux échafaudages conceptuels ont été créés.

Résultats :

Il est apparu très vite qu'un effort devait être fait pour harmoniser les termes choisis par les musiciens pour caractériser les UST et ceux qui sont utilisés par les physiologistes. Comment un physiologiste peut accepter, par exemple, que dans une UST nommée « stationnaire » on trouve la caractéristique « mouvement »? Et inversement, comment comprendre une UST dénommée « qui tourne » ou « par vagues » mais dans laquelle il n'existe pas cette caractéristique ? Ainsi, il nous a fallu affiner nos terminologies et nous avons été amenés à modifier la dénomination de deux caractéristiques sémantiques proposée par les musiciens : Direction a été remplacée par prévisibilité et Mouvement a été remplacé par mobilité. Par ailleurs, les caractéristiques, matière et énergie n'ont pas semblé pertinentes pour une discussion interdisciplinaire.

L'exposé du savoir psychophysicologique sur le temps n'a pas été facile car le concept du temps n'a pas d'existence propre dans cette discipline. Il est évoqué principalement pour étudier les capacités d'adaptation de l'organisme aux

changements. Ainsi, il entre en jeu plus particulièrement dans deux domaines différents, celui de l'étude de l'attention et celui de l'expérience kinesthésique.

Dans le domaine de l'étude du cycle veille/sommeil, il est classique de décrire différents niveaux d'activation cérébrale allant du sommeil à l'état d'anxiété en passant par des états intermédiaires de somnolence, d'attention flottante et de veille attentive. Au cours de la veille, il existe plusieurs types de processus attentionnels, automatiques et volontaires, qui permettent de moduler les données perceptives en fonction des motivations et des contraintes biologiques (Näätänen, 1992, Timsit-Berthier, 1998).

Dans le domaine de la psychomotricité, on peut décrire également un gradient qui va de l'immobilité à l'état d'agitation. Mais une telle description paraît nettement insuffisante au regard des nouvelles connaissances apportées par les Neurosciences dans la connaissance du contrôle moteur.

À un niveau très global, l'approche phénoménologique des mouvements telle qu'elle a été effectuée par le physiologiste F.J. Buytendijk (1957) nous a paru intéressante. Cet auteur a cherché l'intelligibilité des mouvements en définissant leur fonctionnalité c'est-à-dire leur rapport significatif au monde extérieur. L'expérience kinesthésique n'est pas décrite comme un processus comprenant une succession d'évènements, mais elle est définie par son but, son point d'aboutissement. Ainsi, le mouvement d'un homme ou d'un animal est toujours en relation avec leur intentionnalité à la différence des mouvements des objets qui sont attribués à des causes extérieures à eux-mêmes.

Cet auteur distingue deux grandes familles de mouvements fonctionnels :

-Les mouvements transitifs, qui ont un dynamisme orienté vers l'extérieur et qui sont organisés en fonction de l'avenir car ils ont un but et une finalité. Ils sont constitués d'une succession de phases.

-Les mouvements expressifs qui ne renvoient pas directement à un objectif extérieur et qui sont la manifestation extérieure d'une intériorité. Leur structure temporelle y est bien différente car ils n'ont qu'une phase et la temporalité est englobée dans la fonction même.

Il y a interaction entre ces deux types de mouvements, les mouvements expressifs pouvant être la phase initiale ou la phase finale d'une action transitive.

Sans rentrer dans les mécanismes intimes du contrôle des mouvements, il nous a paru intéressant d'exposer aussi un des grands principes qui préside à l'organisation psychomotrice et perceptive. Il existe en effet deux grands systèmes cérébraux, qui diffèrent par leur localisation et leur vitesse de traitement, celui qui permet de détecter et de s'adapter à ce qui change et celui qui permet de traiter ce qui est invariant. (Paillard, 1991).

-Le premier de ces systèmes est le plus archaïque dans l'évolution animale et celui qui apparaît le plus précocement chez le jeune enfant. Il est relatif à la localisation d'un objet dans l'espace et à la capacité de s'en approcher ou de l'éviter. C'est un système de topocinèse dont le référentiel est égocentrique et qui s'organise dans un espace unidirectionnel.

-Le deuxième de ces systèmes apparaît plus tardivement que le premier au cours de la maturation. Il est relatif à l'identification des objets et à la capacité de configurer des mouvements complexes dans un espace bi ou tridimensionnel. Ce sont les repères stables de l'environnement physique qui servent de référence aux déplacements du corps et des objets. Il s'agit là d'un système de morphocinèse aux références allocentriques.

Ensuite, nous avons cherché des correspondances entre ces concepts psychophysiologiques et les différentes UST.

Il nous est apparu que les UST délimitées dans le temps et qui comprenaient plusieurs phases constituaient un ensemble assez homogène ; elles présentaient une figure temporelle de caractère configural qui était analogue à celle des mouvements transitifs. En revanche, les UST qui n'avaient qu'une seule phase et qui n'étaient pas délimitées dans le temps semblaient constituer un ensemble plus hétérogène. Nous y avons distingué les UST qui faisaient appel à la notion d'espace et celles qui semblaient n'y faire aucune référence et nous les avons mis en correspondance d'une part avec des mouvements transitifs et d'autre part avec des mouvements expressifs. Il nous a semblé qu'à la différence des UST délimitées dans le temps, les UST non délimitées dans le temps nous renvoient à un caractère topométrique et font référence à un espace unidirectionnel à référence égocentrique. Finalement, parmi ces dernières nous avons distingué les UST qui évoquent une intentionnalité et qui retiennent activement l'attention volontaire de celles dont les mouvements semblent en relation avec des causes extérieures et qui permettent une attention plus automatique. Les UST en relation avec des mouvements expressifs ont été mises en relation avec des niveaux d'activation différents.

Proposition de regroupement des UST

Nous avons tenté de regrouper les UST en fonction des figures temporelles kinesthésiques et attentionnelles qu'elles évoquent.

1° groupe

Il comprend les UST délimitées dans le temps, comportant les caractères de prévisibilité, de mobilité, avec des points d'appui et/ou des points de rupture. La dénomination donnée par les musiciens évoque un trajet dans un espace pluridimensionnel et une finalité. Ces UST évoquent des mouvements transitifs, orientés vers un but et présentant un caractère configural. Leur trace sonore suscite l'attention de l'auditeur.

On y trouve : Elan, Chute, Etirement, Freinage, Contracté-Etendu, sur l'erre, Suspension-Interrogation

2° groupe

On y trouve les UST non délimitées dans le temps comportant les caractères de prévisibilité, de mobilité comme le précédent mais avec une absence de rupture et de

contraste. Les dénominations données par les musiciens se réfèrent à un espace unidirectionnel et évoquent des mouvements transitifs à caractère topométrique. Ces UST captent et retiennent l'attention de l'auditeur par leur caractère insistant. On y trouve : Qui avance, Lourdeur, Qui veut démarrer, Trajectoire inexorable, Obsessionnel.

3° groupe

Ce groupe réunit des UST non délimitées dans le temps comportant bien des caractères du groupe précédent. Cependant l'espace n'est pas franchement directionnel et les mouvements évoqués semblent être subis passivement, sans intentionnalité. Les répétitions et leur schème rythmique statique évoquent des impressions archaïques que l'on retrouve aussi bien dans les bruits du monde intérieur (cœur, respiration), que dans les mouvements subis par le corps (bercement, balancement). Ils induisent une attention flottante.

On y trouve : Par vagues, Qui tourne, Stationnaire.

4° groupe

Ce groupe réunit les UST non délimitées dans le temps, sans mobilité et sans prévisibilité, avec une énergie stable. Elles présentent une organisation temporelle floue et les dénominations qu'en donnent les musiciens ne font pas référence à l'espace. Aucun mouvement ne peut être évoqué et l'on peut y trouver une analogie avec les mouvements expressifs décrits par Buytendijk.

On y trouve : En flottement, qui envoie à l'attention flottante, En suspension, qui renvoie à un sentiment d'attente, Sans direction par Divergence d'information qui renvoie à une attention saturée par l'excès d'information et Sans direction par excès d'information qui renvoie à un état de tension et d'anxiété.

4° Intérêt et limite de ce travail pluridisciplinaire.

L'intérêt de cette approche biosémiotique des UST nous semble double. D'une part, elle peut permettre une meilleure compréhension des UST en les enrichissant de significations nouvelles qui trouvent leur fondement dans un vécu corporel accessible à chacun et partagé par tous. D'autre part elle peut aider à l'appropriation de cette nouvelle méthode d'analyse. En effet, en regroupant ainsi les différentes UST elle ouvre des potentialités à l'interprète et à l'auditeur qui peuvent passer, à l'intérieur d'un même groupe, d'une UST à l'autre en fonction de leur subjectivité et de leur intentionnalité. On peut reprocher à cette approche d'être basée uniquement sur des raisonnements de type abduction et sur des métaphores. Certes l'analogie « spontanée » peut être considérée comme un outil qui permet de comprendre le nouveau à partir de l'ancien en révélant des correspondances entre des représentations particulières et des expériences quotidiennes (E. Sander, 2003), mais il est évident qu'elle doit être confortée par une approche plus théorique et à ce propos des essais de classification à partir d'un treillis sémantique sont en cours (C Tijus 2001). Par ailleurs, une enquête sociologique de réception est engagée (Cf ce colloque).

Références bibliographiques

- C Accaoui** : Le temps musical. Desclée de Brouwer. Paris, 2001.
- S Brier** : Biosemiotic and Cognitive Semantics. Cybernetics and Human knowing. 7, 1, 2000 ; p57-75.
- J.J. Buytendijk : **Attitude et mouvements. Etude fonctionnelle du mouvement humain. Desclée de Brouwer, 1957.**
- M Chion** : Guide des objets sonores. Buchet/Chastel. Paris 1983
- F. Delalande** : Le son des musiques. Entre technologie et esthétique. Buchet/Chastel. Paris. 2001
- E. Emery** : Temps et musique. Editons L'Age d'Homme. Lausanne. Suisse. 1998
- R. Francès R. et M. Bruchon-Schweitze** : Expression musicale et expression corporelle. L'année psychologique, 1982, 82, 155-172.
- M. Frémiot** D'histoires et de temps. In Les Unités Sémiotiques Temporelles. Eléments nouveaux d'analyse musicale. Documents Musurgia. Diffusion ESKA. P11-171996
- J. Mandelbrojt**. La peinture s'exprime-t-elle, comme la musique en UST ? 2003
- R. Näätänen** : Attention and Brain function. Lawrence Erlbaum associates. London . 1992
- J. Paillard** : Motor and representational framing of space . Brain and Space, edited by J. Paillard. chap. 10 .Oxford University Press. Oxford. Pp : 163-182 , 1991)
- E. Sander** Les analogies spontanées : analogies ou catégorisation. In Métaphores et analogies édité par Ch. Tijus , Hermes, Sciences. Paris. P83-109, 2003
- T.A. Sebeok** :Global Semiotics. Bloomington :Indiana University Press
- B. Sève**. L'altération musicale. Seuil Paris. 2002
- B. Stiegler**. Le cinéma des consciences. Artpress 276, 14-19, février 2002
- C Tijus**, (2001). Contextual Categorization and Cognitive Phenomena, in V. Akman, P. Bouquet, R. Thomason, & R. A. Young, Modeling and Using Context. Berlin: Springer-Verlag, pp. 316-329.
- M.Timsit-Berthier et A. Gérono** : Manuel d'interprétation des Potentiels Évoqués endogènes (P300 et VCN). Mardaga, Spimont (Belgique) 1998.
- Varéla F, Thompson E and Rosh Z** : L'inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine. Seuil Paris. 1993

Documents

- Les Unités sémiotiques temporelles. Eléments nouveaux d'analyse musicale.** Documents Musurgia. Diffusion MIM.. 1996
- Les Unités sémiotiques temporelles. Nouvelles clés pour l'écoute.** Outil d'analyse musicale.CD-Rom diffusé par le MIM. 2002

La *sérendipité* au travail: le rôle du temps et du moment

Pek van Anandel

Faculté de Médecine, Université de Groningue, Pays-Bas
m.v.van.andel@med.rug.nl

Ἦνωθι καιρον` : 'Sois attentif au moment juste`.

Καιρος (Kairos) est le dieu grec du moment juste, ce petit dieu joue quelque fois un rôle crucial dans le phénomène de *sérendipité*. Regardons d'abord l'iconographie de cette allégorie antique et ensuite la *sérendipité*.

Kairos

La plus belle sculpture de ce génie de l'occasion favorable est exposée dans le musée de Turin. C'est un bas-relief d'une hauteur de soixante centimètres. Kairos a des ailes à ses chevilles et à ses paules. Son crâne est presque chauve mais son front et ses tempes sont chevelus comme sil voulait s'échapper de ses poursuivants. Quand on le laissait passer, on ne pouvait plus l'attraper par derrière. On devait le saisir par devant au moment où il se présentait. L'expression 'attraper la chance par les cheveux` vient de là. Kairos a une lame dans sa main gauche sur laquelle repose une balance. Avec son index il sent si la balance bascule: c'est le *momentum* en latin. Notre mot 'moment` vient de là.

Le poète Posidippos écrivit un épigramme connu sur la sculpture de Kairos taillée par Lysippos et qui devint un modèle pour de futures sculptures (elle a aujourd'hui disparu):

ἮD'ou vient ton createur?`

ἮDe Sikyon.`

ἮSon nom?`

ἮLysippos.`

ἮEt toi?`

ἮJe suis Kairos, dompteur de tout.`

ἮEt bien! Tu déambules sur la pointe de tes pieds?`

ἮJe cours sans m'arrêter.`

ἮLes ailes doubles qui se déploient à tes chevilles?`

'Je vagabonde en volant`
 'Dans ta main droite, ton couteau à raser?`
 'Cela montre aux gens que je suis plus aigu que n'importe quel couteau.`
 'Et ces cheveux devant ton visage`
 'C'est pour me saisir quand tu me rencontres.`
 'Par Zeus! Ton crâne est chauve.`
 'Cela c'est pour éviter que quelqu'un qui me suit de façon insistante ne m'attrape pas.`
 'Et avec quel but, l'artiste t'a fait comme cela?`
 'Pour toi, étranger; et placé dans ce vestibule je t'enseigne quelque chose.`
 Erasmus donne dans ses *Adagia* un épigramme d'Ausonius, dans lequel Kairos dit:
 'Je suis le dieu Opportunité, rarement vu et seulement reconnu par quelques-uns.`
 'Pourquoi caches-tu ton visage avec tes cheveux?`
 'Je ne veux pas être reconnu.`
 [..]
 'Et toi, quand tu me posais ces questions et perdais ton temps avec ta vaine curiosité, tu remarqueras que tu me laissais t'échapper.`



Sérendipité

Victor Hugo disait 'qu'il faut peu de temps pour changer toute chose`. Son aperçu peut être illustré de façon convaincante avec des exemples de *sérendipité*, dans lesquelles le moment juste - et donc le temps - joua un rôle inopiné.

À propos, parlant du temps, quel hasard : le mot *sérendipité* a un âge de 250 ans exactement pendant la semaine de ce séminaire. Il y a deux siècles et demi, le 28 janvier 1754, Horace Walpole (1717-1797) forgea ce mot à Londres à partir d'un

conte persan. Amir Khusrau (1253-1327) raconte dans cette fable, qui a aussi inspiré le *Zadig* de Voltaire, l'histoire des trois princes de Serendip (ancien nom arabe de l'île de Sri Lanka), qui 'découvraient toujours par accidents et sagacité des choses qu'ils ne cherchaient pas'.

Le mot *sérendipité* n'est pas encore incorporé dans les dictionnaires français. Peut-être l'Académie Française a refusé jusqu'à maintenant cette transcription du mot anglais *serendipity* pour éviter un anglicisme. *Serendipity* est traduit dans les dictionnaires Anglais-Français comme 'l'art de faire des trouvailles'. Mais le mot 'trouvaille' a hélas une connotation péjorative comme d'autres mots qui finissent en 'aille'.

Pourquoi le mot 'zadigité' (forgé à Rochebrune) n'existe pas non plus en français?

Zadigité

Voltaire écrivit *Zadig, ou la destinée*, en 1748, inspiré par une version française du conte *Les trois Princes de Sarendib*. Il était même accusé de plagiat - non-justifié - en 1782 à cause de *Zadig*, parce que *Zadig* raconte la même histoire (mais avec un cheval et un chien perdus, qu'il n'a jamais rencontrés).

Le zoologue Cuvier (1769-1832) fit une référence à *Zadig* dans son ouvrage *Ossements Fossiles* (4^e éd., V. 1, p. 164). Pour lui, une empreinte de pied fourchu est un signe que l'animal rumine, et trahit aussi la forme de ses dents, de ses mâchoires, de tous ses os et jambes, de ses épaules et du bassin de l'animal qui passait. Cuvier écrit que c'était un signe plus sûr que ceux de *Zadig*, qui étaient spéculatifs.

Cette texte fut cité par l'anglais Huxley. Et Eco illustra les différentes manières de faire des abductions avec *Zadig*.

Zadig a la charme d'un *déetective novel*, un genre littéraire qui est une source riche de *sérendipité*. La prémisse d'un 'déetective novel' est présente dans quelques contes des *Mille et un Nuits*, *Les Trois Princes de Sarendib* et *Zadig*. Edgar Allan Poe (1809-1849) qui est le fondateur du roman policier - comme genre- avec *The Murders in the Rue Morgue*, publié par son *Graham's magazine* créa le premier 'déetective' *Monsieur C. Auguste Dupin*. Le mot *déetective* fut forgé par Charles Dickens par la suite. Ce genre, fondé sur un problème à résoudre pour la police par investigation, abduction, déduction et induction, fut inspiré par l'oeuvre de Poe et se perfectionna de Agatha Christie à Georges Simenon. Dans un roman policier une observation surprenante peut donner la solution de l'énigme. Par exemple, dans Eco's *Le nom de la rose*, le moine Guillaume de Baskerville observe que tous les cadavres ont une langue noire et un doigt noir et il en conclut qu'ils ont été intoxiqués par la lecture d'un livre empoisonné.

Mais alors: pourquoi les mot *sérendipité* ou *zadigité* n'existent pas en français?

Claude Bernard (1813-1878) avait déjà écrit en 1865 sur l'art de faire une trouvaille un passage qui est devenu classique:

‘J’ai dit, en effet, qu’il ne faut jamais rien négliger dans l’observation des faits, et je regarde comme une règle indispensable de critique expérimentale de ne jamais admettre sans preuve l’existence d’une cause d’erreur dans une expérience, et de chercher toujours à se rendre raison de toutes les circonstances anormales qu’on observe. Il n’y a rien d’accidentel, et ce qui pour nous est accident n’est qu’un fait inconnu qui peut devenir, si on l’explique, l’occasion d’une découverte plus ou moins importante. C’est ce qui m’est arrivé dans ce cas.’

Une observation surprenante, après une interruption courte ou longue d’un travail ‘normal’, peut devenir parfois une découverte originale, quand on réalise que l’interruption est à l’origine de l’anomalie. C’est sur ce point essentiel que porte mon intervention sur le rôle ‘heuristique’ de l’écoulement du temps dans la découverte scientifique, technique et artistique. J’ai sélectionné dans mon cabinet de trouvailles dix-sept exemples pour illustrer cette hypothèse.

1. Cognac

Le cognac est à l’origine le stock invendu d’une guerre. Pendant la guerre entre la France et l’Espagne en 1702, l’exportation du vin distillé s’arrêta. Le stock fut vendu seulement après la guerre: sa qualité était devenue bien meilleure. À la fois moins brûlant et plus doré, le ‘cognac’ était né.

2. ‘Spätlese’

L’archevêque de Mainz donna le ‘mons Episcopi’ aux Bénédictins du monastère St. Alban. Il appela le flanc de la montagne ‘Mont Johannes’ et planta une vigne, considérée maintenant comme une des meilleures de Rheingau. Pour la récolte une permission écrite de l’évêque de Fulda était nécessaire. Le premier messenger ayant été volé et tué, quelques semaines se passèrent avant que la deuxième permission arriva. Entre-temps les raisins se racornissaient, éclataient et furent recouverts par de la moisissure. Les raisins non abîmés furent utilisés, comme dans les autres années, pour faire du vin. Mais ce vin était tellement miraculeux que l’ordre fut donné de récolter les raisins à l’avenir deux semaines plus tard, si le temps le permettait. Ce fut ainsi que le ‘Spätlese’, la cueillette tardive, était née.

3. La sauce Worcester

La sauce Worcester est le nom abrégé pour la sauce de Worcestershire, une région d’Angleterre. William Perrins, un chimiste, y ouvrit une pharmacie avec John Wheely Lea. En 1835 Lord Sandys, qui revenait des Indes, commanda une sauce

suivant une recette qu'il avait rapportée de l'Orient. La sauce fut faite mais Lord Sandys n'aimait pas le goût. Le tonneau avec la sauce fut oublié, et retrouvé trois années plus tard. L'arôme était devenu tellement spécial, que la sauce fut mise en production, avec un procédé de trois ans. Actuellement 35 millions de bouteilles sont vendues par an.

4. Alizarine

La garance a été pendant des siècles un des rares colorants naturels à la disposition des teinturiers. La culture des précieuses racines dont l'extrait faisait la richesse des paysans provençaux ruina la Badische Anilin und Soda Fabrik (BASF) en fabriquant par synthèse l'alizarine qu'ils produisaient. Un jour de 1868, le chimiste Caro chauffait doucement un mélange dans l'espoir de réaliser une réaction considérée jusqu'alors comme impossible. Il était prêt à observer un nouvel échec quand on l'appela hors de son laboratoire. Lorsqu'il revint à sa réaction abandonnée sur le gaz, un épais nuage de vapeur remplissait la pièce, mais la capsule surchauffée contenait le produit longtemps et vainement cherché.

5. Cobalt-Amines

Juste avant les vacances en 1847, Frederick Genth avait enlevé les métaux précipités du groupe analytique II en les filtrant d'une solution acide. Et il voulait faire la solution basique avec du potassium hydroxide avant de le saturer avec de l'hydrogène sulfide. Mais il n'y avait pas plus de potassium hydroxide dans le laboratoire de démonstration en Islande. Genth le remplaça avec de l'ammoniaque, mais il n'avait pas le temps de restaurer la solution basique avec de l'hydrogène sulfide, et il le mit de côté. Après les vacances il retrouva des cristaux: grands, beaux, colorés et non-expliquables. Il répéta la procédure, exposant la solution avec du cobalt et de l'ammoniaque. Il put alors préparer différents types de cristaux. Il les exposa dans le laboratoire de l'Université de Giessen.

6. Glycogène

Claude Bernard écrivit lui-même sur sa découverte:

Le grand principe est donc, dans les sciences aussi complexes et aussi peu avancées que la physiologie, de se préoccuper très peu de la valeur des hypothèses ou des théories, et d'avoir toujours l'oeil attentif pour observer tout ce qui apparaît dans une expérience. Une circonstance en apparence accidentelle et inexplicable peut devenir l'occasion de la découverte d'un fait nouveau important, comme on va le voir [..].

Après avoir trouvé [..], qu'il existe, dans le foie des animaux du sucre à l'état normal [..], je voulais connaître la proportion de cette substance et ses variations

dans certains états physiologiques et pathologiques. Je commençai donc des dosages de sucre dans le foie d'animaux placés dans diverses circonstances physiologiquement déterminées. Je répétais toujours deux dosages de la matière sucrée, et d'une manière simultanée, avec le même tissu hépatique. Mais un jour il m'arriva, étant pressé par le temps, de ne pas pouvoir faire mes deux analyses au même moment; je fis rapidement un dosage immédiatement après la mort de l'animal, et je renvoyai l'autre analyse au lendemain. Mais je trouvai cette fois des quantités de sucre beaucoup plus grandes que celles que j'avais obtenues la veille pour le même tissu hépatique [..]. [..] Je ne savais pas à quoi rapporter cette singulière variation obtenue avec le même foie et le même procédé d'analyse. Que fallait-il faire? Fallait-il considérer ces deux dosages si discordants comme une mauvaise expérience et ne pas en tenir compte? Fallait-il prendre une moyenne entre les deux expériences? C'est un expédient que plusieurs expérimentateurs auraient pu choisir pour se tirer d'embarras. Mais je n'approuve pas cette manière d'agir, par des raisons que j'ai données ailleurs.`

Jusque là Claude Bernard réagit de façon traditionnelle comme d'autres expérimentateurs dans la même situation. Ensuite il montre son oeil pour le rôle éventuel du temps qui s'écoule dans l'expérience:

`Je voulus savoir en effet quelle était la raison qui m'avait fait trouver deux nombres si différents dans le dosage du foie de mon lapin. Après m'être assuré qu'il n'y avait pas d'erreur tenant au procédé de dosage; après avoir constaté que les diverses parties du foie sont sensiblement toutes également riches en sucre, il ne me resta plus à examiner que l'influence du temps qui s'était écoulé depuis la mort de l'animal jusqu'au moment de mon deuxième dosage. [..] En physiologie, les questions de temps ont toujours une grande importance, [..]. [..]Je fus donc ainsi amené [..] à découvrir ce fait nouveau, à savoir que des quantités considérables de sucre se produisent dans le foie des animaux après la mort [..] à l'aide d'une matière [..] que j'ai isolée et que j'ai appelée *matière glycogène*.`

7. 'truc à arrê`

Un exemple en art est tiré du récit de Georges Méliès, un pionnier du cinéma français, qui décrit en 1907 comment il inventa (en 1896) ce qui maintenant est appelé 'truc à arrê` :

On veut savoir comment j'eus la première idée d'un trucage au cinéma? [..] Un jour je photographiai simplement la Place de l'Opéra : je passai une minute à débloquer le film et à faire marcher de nouveau l'appareil. Pendant cette minute les gens qui passaient, les omnibus, les voitures avaient changé de place naturellement. En projetant le film, où la rupture avait été restaurée je vis soudain que l'omnibus

Madeleine-Bastille s'était transformé en corbillard et que les hommes étaient devenus des femmes. Le trucage par substitution appelé truc à arrêt était trouvé, et deux jours plus tard j'exécutai les premières métamorphoses d'homme en femme et les premières disparitions qui avaient, au commencement un tel succès. C'est grâce à ce trucage extrêmement simple que je réalisais mes premières oeuvres spectaculaires: *Le Manoir du Diable*, *Le Diable au Couvent*, *Cendrillon*, etc., etc.`

8. Le savon flottant

En 1878, pour faire une expérience, une nouvelle formule de savon blanc, sans huile d'olive considérée comme trop chère, fut mise dans une machine à mélanger. Quelqu'un oublia d'arrêter la machine pendant son déjeuner. Le résultat, un savon dur, flotta! Les clients furent particulièrement intéressés par ce savon flottant. Alors l'accident fut recommencé exprès. Procter & Gamble appela le savon flottant 'ivory`.

9. Anthracite

Un homme essayait d'allumer de l'anthracite dans un poêle, mais sans succès: le charbon ne voulait pas brûler. Par la suite, au milieu d'une expérience, il fut appelé chez lui pour déjeuner et il partit sans éteindre le feu. Quand il retourna, il trouva un lit chaud de braises et il apprit ainsi que l'anthracite avait besoin de temps pour être allumée. Le résultat provoqua une révolution dans la façon de chauffer les habitations.

10. 'Eiswein`

Le premier Eiswein allemand fut fait en 1962, après une récolte partiellement gelée, due à un gel précoce. Ce vin était si spécial et facile à garder, que les paysans laissèrent geler une petite partie de leur raisins, dans la mesure du possible. On pressa alors les raisins gelés. Au Canada on fabrique désormais aussi du 'Vin de Glace`.

11. Synthétisé par le temps

Les universitaires se plaignent que le progrès de leur recherche est retardé par leurs obligations d'enseigner. Mais le Dr. Graham Lewis profita d'une telle interruption. Il fit une expérience avec l'absorption d'ultraviolet visible de cis et trans isomères de azobenzène dans de l'acide sulfurique. Le travail fut interrompu quelques jours. Quelques flacons furent abandonnés sur la table et décolorés par la lumière du soleil, qui tombait par les fenêtres du laboratoire. Les flacons restés dans le spectromètre avaient gardé leur couleur orange. L'examen des flacons décolorés révéla une absorption totalement nouvelle, indiquant la présence d'une molécule

aromatique et polycyclique. Cette réaction fut développée par Lewis et ses élèves dans une méthode pour synthétiser les benzo[*c*]cinolines.

12. Cornflakes

Le médecin américain John Kellogg (1852-1943) essayait d'améliorer la nourriture de ses patients. Un jour, en 1896, il oublia d'enlever les grains de maïs de son four et créa ainsi les premiers cornflakes.

13. Peinture pour un pistolet

DuPont essayait de développer une peinture pour automobiles qui sécherait plus vite. Pendant longtemps il n'y eut pas de progrès. Une quantité de coton nitré, un gel visqueux, dans un container fut transporté à côté de la machine pour le mélanger. C'était l'été, il faisait chaud, et pour faire un expérience de la soude caustique fut ajoutée. Mais la machine était en panne. Après quelques jours le mélangeur marcha et on voulut vider le container dans la machine. On découvrit alors que le gel était devenu liquide et qu'il pouvait être utilisé dans un pistolet.

14. La réaction de Kober

Dr. Salomon Kober nettoyait des tubes avec un solution de menformon, qui est une hormone féminine, et d'acide sulfurique. Il voulait jeter le contenu dans l'évier. À ce moment même il fut appelé au téléphone. Quand il revint il vit une couleur caractéristique dans les tubes, maintenant connue et décrite comme la réaction de Kober. Kober vit le phénomène et en réalisa la signification potentielle immédiatement. La réaction fut développée quantitativement et devint un outil incroyablement utile, pas seulement dans la recherche, mais aussi dans la contrôle de la procédure de production. Kober publia sa méthode en 1931. Maintenant chaque chimiste clinique connaît la réaction de Kober pour la recherche d'oestrogène.

15. Insoluble dans l'alcool

En 1932 le peintre hollandais Han van Meegeren essaya à Rocquebrune en France de trouver une technique pour peindre un faux Vermeer. Il chercha un moyen pour faire une peinture non-soluble dans l'alcool. Il utilisa une résine, mélangée avec un pigment, l'étendit sur du lin, et chauffa le tout dans un four. Il le fit 188 fois, mais la peinture blanche devenait jaune et restait soluble dans l'alcool. Un jour il mit le panneau dans son four, et alla voir son médecin. En s'en retournant, son pneu creva : son panneau expérimental était encore dans le four. Trois heures après, il rentra. Il s'attendait à ce que le panneau soit noir et l'enleva du four qui avait été chauffé cinq heures au lieu de deux! Le panneau était resté blanc. Le faux Vermeer était

terminé, vendu et 'découvert' en 1937. En 1945 le toile fut connue comme un vrai Van Meegeren.

16. En attendant

Percy Bridgeman étudiait des phénomènes optiques sous pression. Un jour la portion en verre de son appareil cassa. En attendant de le remplacer, il essaya de trouver un autre usage pour son appareil de pression. Un truc à étancher marchait mieux que prévu, et Bridgeman devint intéressé dans l'art de faire des chambres à haute pression. Il changea la limite de 3000kg/cm² à 500.000 kg/cm². Il reçut le Prix Nobel pour cette découverte en 1946.

17. Croma

Un stagiaire chez Unilever faisait un test de routine et oublia la margarine bouillante. La margarine devenue trop dure pour beurrer du pain, devint la base d'une margarine à frire et à cuire, qui n'éclate pas, parce qu'elle ne contient pas d'eau: Croma.

Conclusion

Dans les dix-sept exemples que je viens d'énumérer, le temps a joué un rôle crucial et inopiné dans la découverte. Le travail humain ou le processus physique, chimique ou artistique a été interrompu involontairement pendant quelques minutes, quelques heures, quelques jours, quelques semaines ou quelques années. Cette interruption provoqua ainsi un phénomène nouveau, qui fut expliqué correctement par une abduction. Dans tous les cas le chercheur réalisa que le temps, qui s'était écoulé pendant l'interruption, avait joué un rôle fondamental dans la production du fait nouveau. Cela montre le rôle subtil (et éventuel) du temps quand on observe un fait surprenant, et qu'on doit l'expliquer. Comme le disait Victor Hugo, 'il faut peu de temps pour changer toute chose', et en rétrospective l'on peut affirmer que c'est bien la compréhension de l'effet crucial du temps - aussi minime soit-il - qui a rendu possible toutes ces découvertes.

Références bibliographiques

J. Gagé, 'La Balance de Kairos', *Revue Archéologique*, Paris, 1954, XLVIII, p. 146-151.

Posidippos' epigram vient de l'*Anthologie grecque*, XVI, p. 275, traduit par E.A. Moutsopoulos, 'Kairos: La mise et l'enjeu', dans 'Diotima', *Revue de Recherche Philosophique*, 16, 1988, Paris, Librairie Philosophique J. Vrin (Publications de la Société Hellénique d'étude philosophiques), p. 14.

D. Erasmus, *Adages, Collected Works*, no 32, Toronto, University of Toronto Press, 1998, Adagium 70 [sur Kairos], p. 108-110. Traduit en anglais par R.A.B. Mynors, et en français par D. Bourcier, qui a aussi corrigée mon 'français' de cet article.

Cl. Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Librairie Joseph Gibert, Paris, Chefs-d'oeuvre philosophiques no 305, 1943, p. 227. (Première édition 1865).

1. Anon., *Rémy Martin, Fine Champagne Cognac*, Amsterdam, 1989, p. 3.
2. R. Kerstens, *Het andere wijnboek*, Tweede druk, H.J.W. Becht, Amsterdam, p. 35.
3. www.lea-perrins.com + L. Veldhoen, *NRC-Handelsblad*, 30-11-'03, page technique.
4. J. Jacques, *L'imprévu ou la science des objets trouvés*, Editions Odile Jacob, Paris, 1990, p. 176, ref.: *Berichte des deutsche Chemische Gesellschaft*, 1912, 35, p. 2003.
5. G.B. Kauffman, 'Frederick Augustus Genth and the Discovery of Cobalt-Amines', *J. Chem. Ed.*, 1975, 52, 155.
6. Cl. Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Librairie Joseph Gibert, Paris, Chefs-d'oeuvre philosophiques, no 305, p. 226-228. (Première Édition 1865).
7. G. Méliès, 'Les vues cinématographiques, causerie', Directeur du théâtre Robert-Houdin, *Annuaire Général et International de la Photographie*, Librairie Plon, Paris, 1907, pp. 363-92.
8. Anon., *Ideas that became big business*, Editor: Clinton Woods, Founders, Maryland, 1959, p. 151.
9. Anon., 'Accidental Discoveries', *Mechanical Engineering*, August, 1926, p. 865-66.
10. L.M. Faber, 'Een winters wijntje', *NRC Handelsblad*, 18-2-1999, p. 17.

11. G.M. Badger, 'The Three Princes of Serendip: Chemical Discoveries by Accident and Sagacity' (Leighton Memorial Lectur), *Proceedings of the Royal Australian Chemical Institute*, Vol. 40, No. 10, oct., 1973, p. 273-280.
12. Text d'un étiquette d'un paquet cornflakes, controlé avec d'autres sources.
13. *Scientific American*, July, 1926, p. 35 + *Mechanical Engineering*, 48, p. 8.
14. J.J. Heeren, 'De reactie van Kober', typescript.
15. M.-L. F.C. Douart de la Grée, *Geen standbeeld voor Han van Meegeren*, De Goudvink, Antwerpen, 1956, p. 50-1.
16. P.J. Hannan, R. Roy, J.F. Christman, 'Chance and the Nobel Prize, part 4', CHEMTECH, Oct., 1988, p. 595, ref.: P.W. Bridgman, in *Nobel Lectures in Physics*; Elsevier: Vol. 3 (1943-62, p. 53).
17. *Quote*, oct. 1996, p. 101.

Index

Amblard, F.....	13	Lucas, N.	187
Bellisens, C.....	341	Mandelbrojt, J.	353
Bootz, P.	353	Miaux, S.	199
Borodkine, R.....	27	Moreau, M.....	151
Bourcier, D.	37	Müller, J-P.....	209
Cozien, R.	47	Muller, J-C.	217
Daniel, G.....	61	Nguyen-Van, N. K.	111
Deffuant, G.....	71	Nicole, A.	229
Dessalles, J-L.....	95	Ocelli, S.	241
Dumoulin, N.....	13	Paillard, J.....	353
Favory, J.	353	Phan, D.....	255
Formosa, M.....	353	Piel, M.	173
Frémot, M.....	341	Poitrenaud, S.	341
Frémot, M.....	353	Pro'dhomme, L.....	353
Ghadakpour, L.....	95	Ratzé, C.	209
Ginot, V.	111	Régnard, V.	289
Gwiazdzinski, L.....	115	Richard, H.	111
Heni, J.....	341	Rousseaux, F.	303
Jaureguiberry, F.....	119	Saint-Girons, F.	319
Karczmarczuk, J.	133	Schwer, S.....	329
Klein, O.	115	Stinckwich, S.....	173
Laffly, D.	151	Tijus, C.....	341
Lardon, S.	167	Timsit-Berthier, M.	353
Livolant, E.....	173	van Andel, P.....	365

Dépôt légal : 2004 – 1^{er} trimestre
imprimé à l'École Nationale Supérieure des Télécommunications – Paris
ISSN 1242-5125 ENST (Pais) (France 1993-9999)