

Journées de Rochebrune :

Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels

Edition du 31 janvier au 6 février 1999

Thème des journées 1999

Conflits des interprétations et interprétation des conflits

Le Robert définit l'interprétation comme l'activité de donner une signification que ce soit aux signes en général ou aux phénomènes. La connaissance que nous avons de cette activité est relativement peu structurée au contraire de l'activité de modélisation qui est spécifique quoique dominante dans la science occidentale contemporaine. L'interprétation peut se comprendre à la fois comme un processus et comme son résultat. Elle peut donc être difficilement séparée de sa dynamique d'élaboration. C'est pourquoi nous voulons explorer plus précisément le rôle des conflits et antagonismes dont Héraclite disait qu'ils sont les seuls moteurs d'évolution. Le conflit ne doit pas forcément être compris dans le sens de la logique classique dans laquelle il est source d'incohérence; ni dans le sens étymologique de forces qui se heurtent ce qui rendrait le conflit source de destruction, mais au contraire comme dynamique créatrice une fois placée dans un mécanisme d'équilibration, possiblement par interprétation du conflit lui-même. Nous souhaitons poser les questions (non-exhaustives) suivantes:

- le vivant interprète-t-il son environnement et quel sens donner à cette assertion ? Entre ADN et organisation cellulaire, qu'en est-il de l'embryogenèse comme herméneutique du vivant ?
- quelle différence y a-t-il entre l'interprétation par le vivant, l'homme et la machine ? Quels modèles en avons-nous et sont-ils conflictuels ? Que nous apprend l'ordinateur comme machine universelle à traiter le signe ?
- quel est le rôle des conflits et antagonismes dans la construction d'interprétation ? Pourquoi les éviter et comment les utiliser ?
- comment une interprétation individuelle est-elle possible ou qu'en est-il de l'interprétation collective et du rôle de la multiplicité des points de vue, qu'ils soient méthodologiques, contextuels ou de niveaux, et donc des conflits qui peuvent en résulter ? Qu'en est-il de l'interprétation comme résolution des conflits et donc moteur d'évolution ?
- si, comme dans la deuxième définition du Greimas (voir notes), les signes sont toujours déjà signifiants, comment peuvent-ils avoir ce statut ? Qu'est-ce qui les rend signifiants ? Qu'en est-il de la pensée symbolique des civilisations

anciennes ou orientales et qui a été cultivée chez nous jusqu'au Moyen-Age (G. Durand) ? Comment cette forme d'interprétation s'articule-t-elle avec les signes décontextualisés, jusqu'à être calculables et à la conception de l'interprétation qui en découle ?

- de quels processus de légitimation des interprétations disposons-nous ? Quelles relations l'interprétation entretient-elle avec l'action ou l'argumentation que ce soit avant, par ou après coup ? Comment l'interprétation s'articule-t-elle à la controverse, la négociation, l'ajustement ?
- puisque la simulation joue un rôle de plus en plus grand dans l'activité du modélisateur: comment s'articulent la simulation et l'interprétation ?

Ces questions sont au coeur de la plupart des sciences et plus particulièrement la sémiotique, l'herméneutique, les sciences cognitives et neurosciences, la philosophie, la psychologie, la linguistique et psycholinguistique, l'intelligence artificielle, l'anthropologie et la sociologie. Elles sous-tendent également l'activité scientifique, tant dans la modélisation que dans l'expérimentation.- Elles sont inséparables des activités des concepteurs – ingénieurs, informaticiens, architectes... – dont les productions proviennent de la résolution de conflits d'interprétations du monde, et sont soumises à des conflits d'interprétation.

Notes:

Selon « Sémiotique - dictionnaire raisonné de la théorie du langage » de Greimas et Courtès, on distingue au moins deux acceptions de l'interprétation, l'interprétation comme attribution de significations à des signes qui en sont dépourvus et l'interprétation comme paraphrase (au sens large) de signes déjà remplis de significations. Cette deuxième acception fait écho au « Dictionnaire de la psychanalyse » de Laplanche et Pontalies qui définit l'interprétation comme dégagement, par l'investigation analytique, de sens latent dans le dire et les conduites d'un sujet; faisant donc référence à la fois au sens déjà là et, en plus, à sa modalité d'obtention.

Comité d'organisation :

Président : Christophe Parisse
Membres : Philippe Benhamou,
Christian Brassac, Michèle Courant,
Guillaume Deffuant, Hervé Glotin,
Jean-Pierre Müller, Pierre Saurel.

Comité de Programme:

Président : Jean-Pierre Müller
Membres : Evelyne Andreevsky,
Philippe Benhamou, Hugues Bersini,
Pierre Bessiere, Jacques Blanc
Talon, Daniele Bourcier, Paul
Bourgine, Christian Brassac,
Michele Courant, Guillaume
Deffuant, Jean-Louis Dessalles,
Jacques Ferber, Nils Ferrand, Jean-
Marc Fouet, Thierry Fuhs, Fabienne
de Gaulejac, Jean-Claude Heudin,
Charles Lenay, Dominique Luzeaux,
Anne Nicolle, Christophe Parisse,
Pierre-Yves Raccah, John Stewart,
Martine Timsit, Dominique Vinck,
Gerard Weisbuch

Avec le soutien de :

L'European Conference on Artificial Life (ECAL)
L'Association pour la Recherche Cognitive (ARC)
La Direction Générale pour l'Armement (DGA)

Toutes indications disponibles à : <http://www.idiap.ch/~glotin/rb99.html>

Table des matières

| | | |
|---------------------------------|--|-----|
| P. Beust & A. Nicolle | <i>Une amorce de compétence interprétative pour une machine</i> | 7 |
| J. Blanc-Talon | <i>Interprétation des données perceptives</i> | 25 |
| R. F. Cozien & A. Colautti | <i>Simulations Multi-Agents et Logique Floue pour la Détection des conflits internationaux</i> | 39 |
| F. de Gaulejac & G. Deffuant | <i>Conflits des interprétations cognitives du comportement autistique</i> | 71 |
| J. L. Dessalles & L. Ghadakpour | <i>L'activité scientifique en tant que comportement naturel ancré sur le conflit cognitif</i> | 87 |
| N. Ferrand & al. | <i>Aide à la gestion des conflits en aménagement du territoire</i> | 99 |
| J. M. Fouet | <i>Interprétation et conflits: exemple du débogage</i> | 121 |
| R. Israel | <i>Travail coopératif et conflits d'interprétation</i> | 131 |
| F. Kaplan | <i>La simulation pour alimenter et réorganiser le débat sur l'origine du langage humain</i> | 155 |
| C. Karakash | <i>La Bible, miroir et source de conflits herméneutiques</i> | 169 |
| D. Luzeaux | <i>L'interprétation comme construction conflictuelle du sens en logique mathématique</i> | 185 |
| J. P. Müller | <i>Un modèle interactionniste de l'interprétation</i> | 199 |
| R. Nunez | <i>Le concept de continuité en Mathématiques: conflits et sciences cognitives contemporaines</i> | 215 |

| | | |
|----------------|--|-----|
| C. Parisse | <i>L'évolution cognitive par la résolution de conflits ou le conflit, moteur de la cognition</i> | 227 |
| S. Ploux | <i>Proposition d'un cadre unifié pour l'étude de la morphogenèse de la structure prosodique et gestuelle des langues</i> | 239 |
| F. Rousseaux | <i>Du caractère toujours-déjà stratégique du conflit</i> | 251 |
| J. Sallantin | <i>Le cube d'Aristote: un cadre pour construire et réviser une interprétation</i> | 263 |
| L. L. Salvador | <i>Le schème comme instance du sens</i> | 277 |
| M. Soeur | <i>Quelques modalités d'approche du concept d'interprétation en psychanalyse</i> | 295 |
| C. Weber | <i>Interprétation d'Image satellitaires et acquisition de connaissances</i> | 307 |

Une amorce de compétence interprétative pour une machine

Pierre BEUST & Anne NICOLLE

GREYC - CNRS UPRESA 6072 & ModeSCo - MRSH
Université de Caen
14032 Caen Cedex
beust@info.unicaen.fr

1. Introduction

Cet article s'inscrit dans une problématique de modélisation et de conception d'interactions langagières naturelles entre des humains et des machines ([Nicolle & al. 98]). Plus précisément, notre objectif dans ce cadre est de construire une compétence logicielle pour l'interprétation d'énoncés de dialogue en langue naturelle. La mise en place de cette compétence s'appuie sur une amorce articulant une modélisation de la sémantique des langues et un apprentissage par mémorisation des enjeux des interactions passées.

L'examen des diverses modélisations de la sémantique des langues naturelles révèle des différences profondes entre les théories sur l'objet de la sémantique. Ainsi, rechercher le sens d'un énoncé, peut consister à calculer ses conditions de vérité [Vanderveken 88], à déclencher une action spécifique [Huls & al. 95], à remplir des bases de connaissances [Chinchor & al. 93], ou à mettre en évidence des orientations argumentatives [Raccah 97]. Le but peut être aussi de rendre compte d'une cohésion textuelle, comme dans la sémantique interprétative de Rastier [Rastier 87], ou encore de la mise en place de représentations mentales, comme dans une approche psycholinguistique de la théorie des modèles mentaux [Johnson-Laird 83]. Dans la problématique du dialogue homme-machine, il s'agit de permettre l'enchaînement conversationnel, que ce soit en actes ou en paroles. La question de la sémantique s'en trouve profondément modifiée, le sens n'étant plus un but en soi, mais une ressource permettant à des actes d'être accomplis.

Dans notre approche, nous faisons une distinction entre deux niveaux de la compétence linguistique : la *compréhension* et l'*interprétation*. La compréhension est une activité langagière typiquement humaine qui produit la conscience d'un résultat ou d'un effet pragmatique d'une

séquence linguistique, et ce, sans forcément savoir comment on arrive à ce résultat ou cet effet ([Rastier & al. 94, p. 11]). Elle prend en compte l'empathie d'un sujet pour un autre sujet. C'est-à-dire que la compréhension suppose avoir saisi un sens mais aussi le pourquoi de ce sens dans la situation présente. C'est par exemple le cas d'une personne qui ferme une fenêtre en réponse à une autre qui vient de lui dire *il fait froid* (on dira bien ici que l'énoncé a été compris). La compréhension est principalement l'objet d'étude de la pragmatique de la psychologie (plus précisément de la psycholinguistique) qui cherche expérimentalement, en analysant les conditions de production de tels résultats ou effets, à mettre au jour les processus qu'ils nécessitent. L'interprétation, quant à elle, n'est pas exclusivement une activité humaine. Bien sûr, on dira d'un pianiste qu'il interprète une partition lorsqu'il la joue mais l'on considère également, à juste titre, qu'une machine qui réalise une séquence d'actions interprète le code (la chaîne) attaché à cette séquence (on parle notamment de langages interprétés pour décrire les langages de programmation qui ne compilent pas le code avant de l'exécuter). Dans notre problématique, il s'agira d'étudier l'interprétation des chaînes linguistiques. On conçoit alors (comme dans [Raccah 98]) l'interprétation comme un premier plan, non contextuel (donc sémantique), de l'activité de compréhension. L'interprétation est construite à partir des caractéristiques formelles de l'énoncé (i.e. de la forme du matériau linguistique) et ne vise pas à rendre compte des inférences pragmatiques possibles liées à la contextualisation de ce sens dans la situation présente.

Par exemple dans le cadre d'un dialogue homme - machine où la tâche serait une recherche documentaire, l'interprétation de l'énoncé *Qui a écrit le livre intitulé "Les fleurs du mal"?* peut signaler les informations suivantes (en s'appuyant comme nous le verrons dans la suite sur des caractéristiques linguistiques formelles de l'énoncé, par exemple *l'isotopie*)

- il est question d'une activité humaine (ce qui est marqué par la co-détermination du lexème *qui* et du verbe *écrire*),
- il est question de livre (ce qui est marqué par le verbe *écrire*, le lexème *livre* et le lexème *intitulé*),
- il est probable que "*Les fleurs du mal*" soit un titre (étant donné que c'est une lexie postposée à *intitulé*),
- et il s'agit d'une requête (ce qui est marquée par la forme interrogative).

C'est ensuite à la gestion du dialogue qu'il incombe d'actualiser, dans le contexte de la tâche, les résultats de cette interprétation, c'est-à-dire en l'occurrence d'utiliser ces informations pour inférer qu'une requête sur

l'activité humaine liée à l'écriture d'un livre implique une recherche sur le champ "Auteur" de la base de donnée et de lancer la recherche adéquate dans la base pour fournir la réponse *Baudelaire*. Dans la construction d'une compétence dialogique artificielle, le modèle du dialogue prend donc en compte l'actualisation pragmatique des résultats de l'interprétation (c'est-à-dire principalement la recherche des référents dans le contexte) et la gestion de la tâche.

Dans une première partie, nous décrivons l'interprétation d'un énoncé de dialogue par la machine comme des contraintes sur la compréhension qui conditionnent la poursuite du dialogue. Nous donnerons ensuite les principes de recherche de ces contraintes à partir des composantes syntaxico-sémantiques de l'énoncé et les principes de l'apprentissage des connaissances par l'interaction homme-machine. Nous détaillerons alors sur un exemple le processus d'interprétation logicielle. Enfin, nous conclurons par un premier bilan de cette réalisation.

2. L'interprétation comme une recherche de contraintes

Trognon et Brassac ([Trognon & al. 92]) ont montré que dans un dialogue, le sens est conjointement construit. Si le sens n'est pas contenu dans l'énoncé, c'est donc la relation entre le sens et l'énoncé qu'il convient de préciser. Nous concevons ici le sens d'un énoncé \ddagger la manière d'un potentiel que les interlocuteurs actualisent conjointement dans l'interaction. Comme le montrent [Nicolle & al. 98], ce potentiel fait intervenir quatre dimensions du sens des énoncés :

- La modalité, c'est-à-dire l'effet des verbes modaux (tels que *vouloir*, *pouvoir*, *souhaiter*, *croire*) ou des adverbes tels que *sincèrement*, *franchement*, ou des tournures insistant ou atténuant ce qui est dit.
- L'argumentation (objet d'étude de la théorie de l'argumentation dans la langue [Racah 97]), c'est-à-dire les schémas argumentatifs associés à un énoncé ou liant cet énoncé aux énoncés précédents dans l'interaction. Par exemple, le connecteur *donc* entre deux propositions permet d'indiquer une relation de cause à effet entre les deux propositions en question. De même, un énoncé commençant par *mais* indique une position inverse ou complémentaire dans le schéma argumentatif initié par les énoncés précédents.
- La prédication, c'est-à-dire ce qui rend compte d'un état ou d'un procès évoqué par l'énoncé ou d'une relation entre plusieurs actants. Par exemple, le verbe *donner* met en relation trois entités (il organise une scène selon [Victorri & al. 96]) : un sujet (celui qui donne), un objet (ce qui est donné), et un troisième actant (celui à qui le sujet donne).

- La monstration, c'est-à-dire quand il est question de critères définitoires d'objets, d'événements ou de processus. Considérons par exemple l'énoncé *J'ai acheté une table en bois*. Dans le cadre d'une analyse sémantique, l'énoncé indique qu'il est très vraisemblablement question d'un objet matériel. Ceci provient d'un effet de sens dû à la co-présence des mots *table* et *bois* dans le même groupe nominal qui renforcent chacun l'idée d'un objet matériel. La monstration ne constitue pas une référence de l'énoncé au monde. Simplement, elle indique des critères définitoires de possibles objets du monde sur lesquels portent les contenus sémantiques des constituants de l'énoncé.

Pour chaque énoncé, la mise en place de ces quatre dimensions relève du niveau sémantique car elle ne prend en compte que des critères formels de l'énoncé. Les choix d'actualisation de ce potentiel dans la situation où il est produit amènent la compréhension de l'énoncé et relèvent du niveau pragmatique. L'interprétation a donc pour but de tracer les limites imposées par les énoncés à leur compréhension.

Considérons, par exemple, un énoncé extrait du corpus PIC¹ sur lequel nous avons travaillé. Cet énoncé est produit, au début de la séance de travail, au moment où la future utilisatrice du logiciel se présente au rédacteur technique :

à l'IUT alors je suis secrétaire

Cet énoncé met en place des contraintes sur le sens que l'on peut y attribuer. Ainsi, la personne qui l'a produit parle d'elle car le discours est direct et qu'il y est fait usage du déictique *je*. De même, elle exprime un état (par le verbe *être*) et elle signale à ses partenaires qu'elle a, par cet état, la

¹ Le projet PIC (Processus d'Interaction en Conception) est un projet interdisciplinaire (soutenu par le GIS sciences de la cognition) commun aux laboratoires GREYC UPRESA CNRS 6072 (Groupe de Recherches en Informatique, Image, Instrumentation de l'Université de Caen), Groupe de Recherche "Modélisation du fonctionnement cognitif langagier" du LPCP EA 1774 (Laboratoire de Psychologie Cognitive et Pathologique - Université de Caen), GRC (Groupe de Recherches sur les Communications - Université de Nancy II), DYALANG (Linguistique - Université de Rouen) et à l'entreprise METAPHORA (Rédaction technique - Caen). Dans la situation expérimentale mise en place, trois partenaires sont invités à se rencontrer pour une séance de travail dont le but est de commencer à concevoir la *documentation utilisateur* d'un logiciel de gestion des notes (*IUTNotes*) pour un département de l'Institut Universitaire de Technologie de l'Université de Caen. Les trois personnes sont un rédacteur technique, une secrétaire future utilisatrice du logiciel, et un des concepteurs du logiciel. Pendant cette séance de travail, de deux heures, le logiciel est installé sur une machine qui est mise à la disposition des trois intervenants. Pour de plus amples détails sur le projet PIC, on pourra se reporter au site Web à l'adresse suivante : <http://www.info.unicaen.fr/~fgerard/pic/pic.html>

qualité dénotée par le substantif *secrétaire* qui correspond à une fonction. Elle exprime par l'usage de la préposition *à*, que cette fonction est en rapport à une structure ou un lieu appelé *IUT*. Il est donc vraisemblablement question de sa profession, marquée par les emplois dans le même énoncé du syntagme *l'IUT* et de l'adjectif *secrétaire*. Enfin, elle signale par le connecteur *alors* une orientation argumentative qui reste à préciser. C'est finalement tout ce que l'énoncé véhicule, et pourtant on pourrait le comprendre de diverses façons, comme le montrent les paraphrases suivantes :

- (1) *à l'IUT, elle est, entre autre, secrétaire, mais elle y a aussi d'autres fonctions*
- (2) *à l'IUT, elle est secrétaire, mais il n'y a bien qu'à l'IUT, car ailleurs, elle a d'autres fonctions*
- (3) *à l'IUT aussi, elle est secrétaire*
- (4) *à l'IUT, elle est secrétaire pour l'instant mais son statut va changer*

...

Ces paraphrases sont construites en déclinant les orientations argumentatives dues au connecteur *alors* qui n'est pas sémantiquement précisé dans l'énoncé. Ainsi, en interprétant *alors* dans une argumentation sur le lieu de travail on obtient la paraphrase (2) et en l'interprétant dans une argumentation sur le temps, on obtient la paraphrase (4). Cette liste de paraphrases possibles n'est évidemment pas exhaustive et l'on pourrait encore trouver un bon nombre de sens possibles à l'énoncé initial. Ces sens possibles sont révélateurs d'une compréhension de l'énoncé dans sa situation d'énonciation (dans son contexte). Cette compréhension dépasse l'interprétation de l'énoncé qui consiste à en extraire les contraintes qu'il impose aux différents sens possibles.

3. Un modèle opératoire de l'interprétation

Le modèle de l'interprétation proposé rend opérationnelle une recherche de contraintes sémantiques à partir des caractéristiques formelles d'un énoncé. Cette recherche est un processus qui articule :

- un principe de catégorisation différentielle pour la représentation en machine de connaissances lexicales,
- un calcul des dépendances syntaxico-sémantiques entre les consituants de l'énoncé.

Les connaissances lexicales du système sont représentées par des systèmes hiérarchiques de tables où les significations sémantiquement proches sont définies dans une combinatoire de leurs différences. Par

exemple, la table des moyens de transport permettant de définir les significations des mots *bus*, *métro*, *autocar* et *train* est construite par la combinatoire de deux différences : les transports intra-urbains par opposition aux transports extra-urbains et les transports routiers par opposition aux transports ferroviaires.

| | | |
|----------------|--------------|-------------|
| <i>bus</i> | intra-urbain | routier |
| <i>métro</i> | intra-urbain | ferroviaire |
| <i>autocar</i> | extra-urbain | routier |
| <i>train</i> | extra-urbain | ferroviaire |

Dans les représentations du système, cette table est hiérarchiquement subordonnée à celle des véhicules roulants (définis par différence avec les avions et les bateaux par exemple). La construction de ces tables est un processus interactif entre la machine et un partenaire humain qui interprète les énoncés du dialogue observé et formule des différences entre les significations en cause dans les énoncés. Ce processus est mis en place dans le modèle *Anadia* ([Nicolle & al. 97], [Beust & al. 96]) sous la forme d'une tâche de catégorisation différentielle. Des tables ainsi construites sont extraites des représentations componentielles (i.e. forme de traits sémantiques) des contenus sémantiques des mots. Par exemple, le contenu sémantique de *bus* comporte deux traits (on les appelle des sèmes) : le trait /intra-urbain/ par opposition à /extra-urbain/ dans le domaine de la portée du transport et le trait /routier/ par opposition à /ferroviaire/ dans le domaine du type de transport.

La recherche des dépendances syntaxico-sémantiques vise à rendre compte de la contextualisation des contenus sémantiques dans l'énoncé. Les relations syntagmatiques formelles entre les constituants de l'énoncé donnent lieu à des phénomènes de co-détermination des significations dans la chaîne linguistique. Cette co-détermination de mots dans la chaîne syntagmatique consiste à mettre en avant les points communs de leur signification, réduisant ainsi la polysémie lexicale pour les contextualiser dans l'énoncé. Par exemple, dans *Jean mange un avocat*, le mot *avocat* a la signification d'un fruit et non d'un homme de loi car la relation syntagmatique entre le verbe *manger* et le nom *avocat* met en avant le domaine sémantique des objets comestibles (domaine pointé par les contenus sémantiques de *manger* et d'*avocat* dans sa signification en tant que fruit). Pour rechercher ce type de dépendance sémantique, on va examiner les contenus sémantiques impliqués dans les relations morpho-syntaxiques de l'énoncé (par exemple, une relation actancielle comme c'est le cas entre le verbe *manger* et le nom *avocat* dans l'exemple ci-dessus, ou

une relation de participation à la constitution d'un même groupe nominal, ou encore une relation d'anaphore). Ces relations formelles proviennent de l'analyseur syntaxique développé par J. Vergne² ([Vergne 94], [Giguet & al. 97]) et nous chercherons pas à les remettre en cause.

En mettant en avant les propriétés communes entre les significations des mots de la chaîne, la dépendance sémantique a pour effet de rendre récurrents certains sèmes dans la chaîne. Ces répétitions syntagmatiques de sèmes constituent des *isotopies* ([Rastier 87]). Ces isotopies témoignent de la cohésion et la cohérence de l'énoncé et permettent de mettre en évidence ce sur quoi l'énoncé insiste. Elles indiquent des contraintes sémantiques (principalement des contraintes de monstration) sur les actualisations possibles du sens des énoncés. Par exemple l'énoncé *Le bus roulait trop vite* indique qu'il est question de véhicules roulants car il y a répétition du sème /avancer en roulant/ dans les contenus sémantiques de *bus* et du verbe *rouler* (ceci précise notamment la signification présente du verbe *rouler* qui a ici la signification d'un verbe de mouvement, ce qui n'est pas le cas dans l'énoncé *Je roulais une cigarette*).

Chacune des isotopies permet de mettre en forme une contrainte sémantique de l'énoncé. Une telle contrainte est exprimée par une valeur (le trait sémantique qui est récurrent dans l'isotopie) attachée à un domaine d'interprétation et dans un rapport d'opposition à une ou plusieurs autres valeurs de ce domaine d'interprétation (par exemple, il question de rouler en opposition à voler ou flotter dans le domaine d'interprétation des moyens de transport). Le processus d'interprétation consiste donc essentiellement à mettre en évidence des isotopies dans les relations formelles l'énoncé et à établir les contraintes sémantiques qui en sont issues (cf. Figure 1).

Dans l'interprétation d'une séquence d'énoncés, les énoncés ne sont pas analysés de manière indépendante car les isotopies calculées dans l'analyse d'un énoncé sont maintenues en mémoire. Ces isotopies forment les attentes de monstration (i.e. des attentes thématiques) dans l'interprétation de l'énoncé suivant, assurant ainsi la prise en compte de la continuité des effets de sens des énoncés d'une même séquence. Elle pourront ainsi être renforcées dans l'analyse de la suite de la séquence du corpus (ou remise en cause s'il y avait malentendu), renforçant ainsi les contraintes linguistiques des énoncés.

² Des démonstrations de cet analyseur sur quelques selections de corpus sont disponibles sur le WEB à l'adresse <http://www.info.unicaen.fr/~giguet/syntaxique.html>

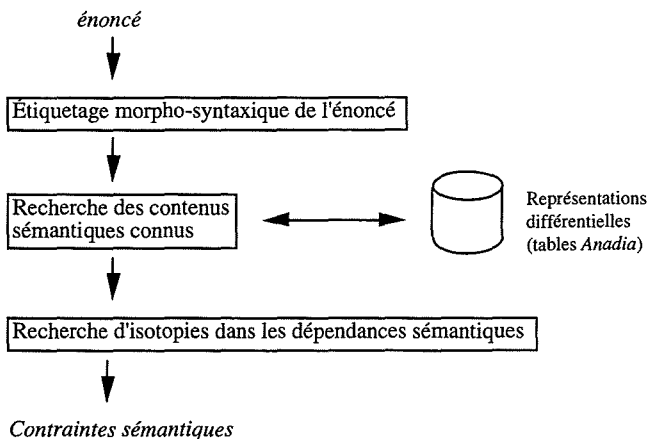


Figure 1 : le processus d'interprétation

Une implémentation de ce modèle de l'interprétation a été réalisée en CommonLisp pour Macintosh . Elle vient se greffer à l'environnement de programmation de MCL version 3.0³. Elle inclue une version CommonLisp du modèle de catégorisation Anadia⁴ ([Nicolle & al. 97], [Beust & al. 96]). Le menu correspondant au système dans l'application MCL offre plusieurs possibilités : commencer une analyse, afficher la liste des mots dont un contenu sémique a été précisé et en inspecter les descriptions, ou formuler de nouveaux contenus.

4. Interprétation et interaction

Les connaissances lexicales ne sont pas données en préalable à l'activité d'interprétation. Les tables où sont représentées différemment les significations des lexèmes n'ont pas valeur de dictionnaires car elles ne sont pas exhaustives et peuvent toujours être précisée au fur et à mesure des interactions avec un partenaire humain. La démarche suivie pour la mise en place d'une compétence interprétative suit un principe d'amorce. C'est par des interactions avec un humain qui explicite les raisons de son interprétation que la machine acquiert des connaissances sous forme de tables et les réutilise ensuite pour améliorer ses propres interprétations.

³ *Macintosh Common Lisp* version 3.0, Copyright © 1995 Digitool, Inc.

⁴ Le logiciel Anadia existe en plusieurs versions : une en Pascal pour Windows [GIL 95], une en Java [Delépine & al. 96] et celle que nous avons réalisée dans langage MCL version 3.0.

L'activité interprétative est initiée par une analyse de séquences d'énoncés de dialogues réels en collaboration avec le compère humain. L'objectif de cette analyse est d'examiner les énoncés un à un afin d'arriver pour chacun d'eux à un consensus entre l'interprétation du compère et les contraintes sémantiques proposées par la machine (cf. Figure 2). À l'issue du calcul interprétatif de chacun des énoncés, un jeu de contraintes est soumis à la validation du compère. Si les contraintes ne sont pas jugées satisfaisantes au regard du sens de l'énoncé, c'est qu'il manque des connaissances paradigmatiques. Il convient alors de relancer la boucle interactive afin de décrire de nouvelles significations en construisant de nouvelles tables et/ou en modifiant des tables déjà construites. Ensuite, le calcul interprétatif est relancé pour extraire de nouvelles contraintes. Si, cette fois, elles sont jugées satisfaisantes, on passe à l'analyse d'un autre énoncé de la séquence. Comme le montrent [Trognon & al. 92], l'interprétation d'un énoncé dans un dialogue peut aussi conduire à revoir l'interprétation des énoncés précédents. On pourra donc relancer l'analyse d'un énoncé précédent dans la séquence pour examiner l'effet de nouvelles représentations sur son calcul interprétatif. On peut aussi choisir de passer à l'analyse de l'énoncé suivant dans la séquence (les isotopies précédemment calculées étant conservées).

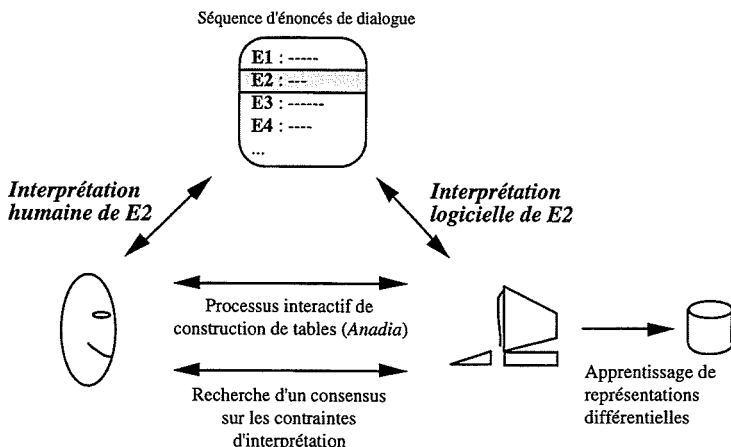


Figure 2 : Une situation d'interprétation en interaction

Dans cette situation interactive, l'interprétation n'est pas considérée comme un processus individuel mais comme une activité conjointe d'analyse d'actes de langage. Son but est l'acquisition de représentations sémantiques et l'amélioration de la compétence interprétative artéfactuelle.

5. Un exemple d'analyse interprétative

Détaillons le déroulement de l'analyse interprétative avec l'énoncé L2.1 de la séquence de trilogue suivante extraite du corpus PIC alors qu'aucun contenu sémantique n'a encore été précisé.

L1.1 : *poste à l'IUT, ben on va mettre vacataire donc*

L2.1 : *non, poste à l'IUT, c'est le poste téléphonique*

L3.1 : *téléphonique*

L1.2 : *ah, poste téléphonique*

L2.2 : *mhh*

L1.3 : *alors on va lui mettre 70 70*

...

Pour commencer l'analyse de cet énoncé, il faut sélectionner un fichier texte contenant la séquence du corpus où l'énoncé figure. Une fois chargé ce fichier, les énoncés apparaissent dans une fenêtre où il est possible de les sélectionner un à un en cliquant dessus dans une liste (cf. Figure 3) pour déclencher une analyse sémantique de l'énoncé sélectionné.

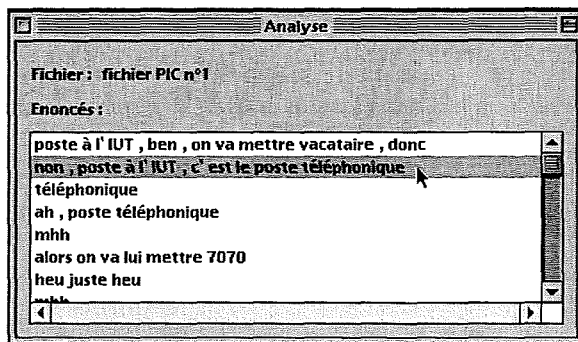


Figure 3 : Fenêtre d'analyse des énoncés d'un dialogue

Les fichiers où figurent les séquences de corpus à analyser (ceux que l'on charge grâce au menu du système) contiennent les énoncés de la séquence ainsi que les résultats de leur étiquetage morpho-syntaxique. Cet étiquetage a pour objectif de produire des informations sur le découpage en mots de l'énoncé et sur la constitution des syntagmes où il convient de chercher des dépendances sémantiques, notamment les groupes nominaux et les groupes verbaux. Le résultat de l'étiquetage morpho-syntaxique de l'énoncé *Non, poste à l'IUT, c'est le poste téléphonique* fournit les informations suivantes :

| Lexème | Catégorie syntaxique | Propriétés lexicales |
|---|-----------------------------|---|
| <i>Non</i> | adverbe de bloc | |
| <i>poste</i> | nom | singulier |
| <i>à</i> | préposition | |
| <i>l'</i> | déterminant | 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>IUT</i> | nom | nom propre ou sigle, 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>c'</i> | pronom personnel sujet | masculin, 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>est</i> | verbe conjugué transitif | masculin, 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>le</i> | déterminant | masculin, 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>poste</i> | nom | masculin, 3 ^{ème} personne du singulier |
| <i>téléphonique</i> | adjectif épithète | masculin, 3 ^{ème} personne du singulier |
| Groupes nominaux | | <i>l'IUT</i> <i>le poste téléphonique</i> |
| Relations actancielles sujet - verbe | | <i>c' - est</i> |
| Relations actancielles verbe - objet | | <i>est - poste</i> |

La sélection de l'énoncé entraîne le début de son analyse interprétative. Elle produit l'affichage d'une fenêtre (cf. Figure 4) qui permet d'afficher les dépendances syntagmatiques de l'énoncé, c'est-à-dire les groupes nominaux et les relations actanciennes issus de l'étiquetage morpho-syntaxique (par le bouton "dépendances syntagmatiques ...") et de lancer le calcul des contraintes sémantiques de l'énoncé (par le bouton "Potentiel de sens ...").

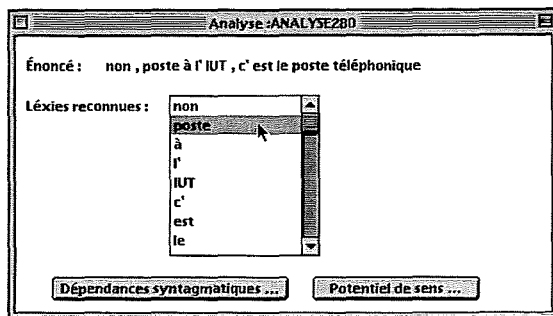


Figure 4 : Fenêtre d'analyse d'un énoncé

Etant donné qu'à cet instant aucun contenu sémantique n'a encore été précisé, l'analyse interprétative est infructueuse car elle ne conduit à la mise en évidence d'aucune contrainte sémantique parce qu'aucune isotopie n'a été trouvée. Le compère humain doit donc alors expliciter son interprétation pour renseigner le système sur certains contenus de la chaîne.

Dans l'énoncé précédent dans la séquence (L1.1 : *poste à l'IUT, ben on va mettre vacataire donc*) la signification du mot *poste* représente un statut dans une activité professionnelle (cette signification en terme de statut s'oppose à une signification en terme de fonction, celle de *profil de poste*). Dans le domaine de l'activité professionnelle, on définit également la signification de *vacataire* par différence avec celle de *titulaire*. Le calcul interprétatif sur le premier énoncé permet avec ces différences de former une contrainte indiquant qu'il est question de l'activité professionnelle (car l'activité professionnelle est récurrente dans les significations de *poste* et de *vacataire*). Cependant l'analyse du deuxième énoncé laisse apparaître une autre signification du mot *poste* en terme de matériel téléphonique. Par conséquent le mot *poste* est polysémique dans le contexte présent. Dans le processus interactif de description des contenus sémantiques (*Anadia*), on va donc devoir décrire cette nouvelle signification de *poste* en formant à nouveau une hiérarchie de tables où elle a sa place.

Pour cela on va commencer par définir la signification de *téléphonique* pour considérer que la signification de *poste* en terme de poste téléphonique est subordonnée à celle de *téléphonique*, c'est-à-dire qu'elle en reprend le contenu. Pour représenter le contenu de *téléphonique*, on va former une table où l'on oppose, dans le domaine de la communication à distance, les traits /téléphone/ et /courrier/. Cette opposition permet de définir le contenu de l'adjectif *téléphonique* (par le trait /téléphone/) en opposition à l'adjectif *manuscrite* (qui contient le trait /courrier/) dans le domaine de la communication à distance. On définit

maintenant la signification de *poste* comme une spécialisation du contenu de *téléphonique* en formant une nouvelle table subordonnée à la première (ceci correspond dans le modèle *Anadia* à une opération de sous-catégorisation, cf. Figure 5). Dans cette seconde table, on va opposer dans le domaine du matériel téléphonique le trait /appareil/ au trait /ligne/ ce qui permet d'opposer respectivement les contenus des mots *poste* (en tant que poste téléphonique) et *réseau* (en tant que réseau téléphonique).

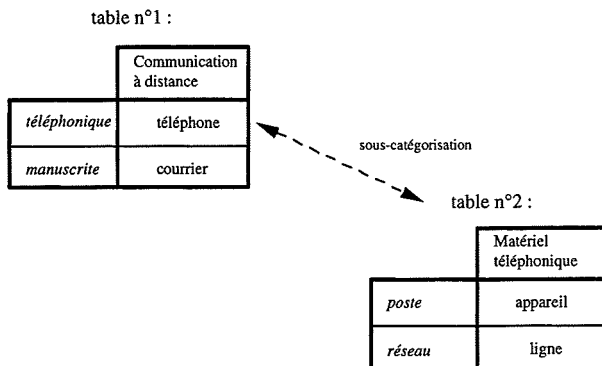


Figure 5: Une table subordonnée à une autre

En définitive, les contenus sémantiques mis en forme pour les lexèmes *poste* (cf. Figure 6) et *téléphonique* sont les suivants :

poste :

signification n°1 (dans le sens statut professionnel) :

/statut/ vs. /fonction/ dans le domaine de l'activité professionnelle

signification n°2 (dans le sens poste téléphonique) :

/téléphone/ vs. /courrier/ dans le domaine de la communication à distance

/appareil/ vs. /ligne/ dans le domaine du matériel téléphonique

téléphonique :

/téléphone/ vs. /courrier/ dans le domaine de la communication à distance

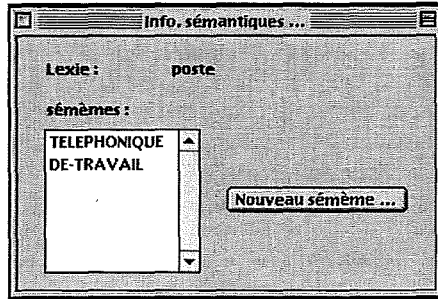


Figure 6: Informations sémantiques sur *poste*.

DE-TRAVAIL est le nom du contenu sémantique décrivant la signification de *poste* en terme de statut professionnel et TELEPHONIQUE, le nom du contenu sémantique décrivant une signification en terme de matériel téléphonique. Dans cette fenêtre, en cliquant dans la liste sur le nom d'un contenu sémantique, on peut faire afficher les sèmes qu'il contient.

En prenant en compte ces représentations componentielles, la recherche des isotopies dans les relations de dépendance sémantique est réalisée en quatre étapes successives :

- 1^{ère} étape : Recherche des isotopies dans les groupes nominaux,
- 2^{ème} étape : Recherche des isotopies dans les relations actancielle sujet - verbe,
- 3^{ème} étape : Recherche des isotopies dans les relations actancielle verbe - objet,
- 4^{ème} étape : Récapitulation et prolongement des isotopies sur l'ensemble de la chaîne.

Ces quatre étapes permettent d'appliquer une règle de réduction de la polysémie lexicale et de calculer son effet sur les isotopies de la chaîne :

Si un mot est polysémique
et que l'un de ses contenus sémantiques ne donne lieu à aucune isotopie,
alors la signification relative à ce contenu n'est pas retenu dans la contextualisation du mot.

Il s'ensuit que les sèmes qui composent un contenu sémantique non retenu par l'application de cette règle ne pourront renforcer des isotopies dans le reste de l'énoncé. Ces quatre étapes sont donc un moyen de rendre compte des effets de la détermination locale sur le global.

Par exemple, dans le groupe nominal *le poste téléphonique* (issu de l'étiquetage morpho-syntaxique), le processus d'interprétation met en

évidence la récurrence du sème [/**téléphone**/ vs. /courrier/ dans le domaine de la communication à distance], et construit ainsi une isotopie. Seule la signification n°2 de *poste* prend part à cette isotopie. La règle de réduction dans le co-texte de la polysémie lexicale s'applique et consiste à ne garder que cette signification pour la deuxième occurrence de *poste* dans l'énoncé. Dès lors, dans les phases de recherche d'isotopies (relation actancielle et ensuite ensemble de la chaîne), le sème [/**statut**/ vs. /fonction/ dans le domaine de l'activité professionnelle] porté par la première occurrence de *poste* ne donne lieu à aucune isotopie dans l'énoncé (étant donné la levée de l'ambiguïté sémantique de la lexie *poste* dans le groupe nominal *le poste téléphonique*). Une fois de plus, par application de la règle de réduction de la polysémie lexicale, seule la signification n°2 est gardée pour la première occurrence de *poste*. En procédant successivement à la recherche des isotopies à différents paliers, on a réussi à contextualiser correctement le lexème *poste*. Ceci explique la non-récurrence de [/**statut**/ vs. /fonction/ dans le domaine de l'activité professionnelle], alors que ce sème aurait été récurrent si l'on avait cherché les isotopies sur l'ensemble de la chaîne avant d'examiner l'effet des dépendances sémantiques "locales".

Au terme des quatre phases de calcul, la polysémie lexicale est levée et les isotopies trouvées sont le plus possible prolongées dans l'énoncé. Ainsi, dans l'analyse de *Non, poste à l'IUT, c'est le poste téléphonique*, le système a trouvé deux isotopies :

- celle du sème [/**téléphone**/ vs. /courrier/ dans le domaine de la communication à distance] dans les contenus des lexèmes *poste* (première occurrence), *poste* (seconde occurrence), et *téléphonique*,
- celle du sème [/**appareil**/ vs. /ligne/ dans le domaine du matériel téléphonique] dans les contenus des lexèmes *poste* (première occurrence) et *poste* (seconde occurrence).

Les deux isotopies précédentes permettent de former les deux contraintes suivantes :

- Il est question de la valeur *téléphone*
dans le domaine d'interprétation *Communication à distance*
et dans l'opposition *téléphone vs. courrier*.
- Il est question de la valeur *appareil*
dans le domaine d'interprétation *Matériel téléphonique*
et dans l'opposition *appareil vs. ligne*.

En résultat de son calcul interprétatif, le système présente ces contraintes à son partenaire humain et les soumet à sa validation (cf. Figure 7).

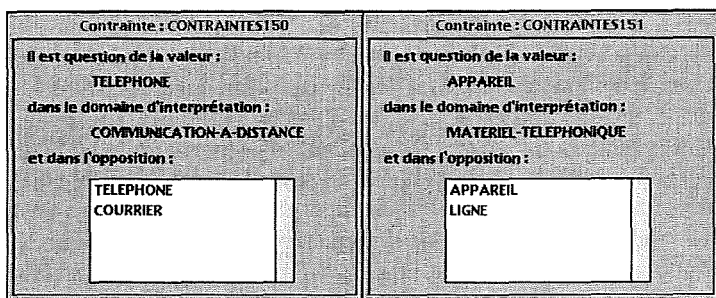


Figure 7 : Contraintes sémantiques

6. Conclusions

Dans une problématique de mise en place d'interactions langagières naturelles avec des machines ([Nicolle & al 98]), nous avons placé la conception d'une amorce interprétative au sein d'un processus interactif de collaboration entre la machine et un partenaire humain. Cette approche fait de l'apprentissage un mode de conception de l'amorce intrinsèque à l'activité d'attribution de sens et non simplement un préalable à un traitement interprétatif des énoncés. Ceci constitue la suite aux travaux de Coursil ([Coursil 92]) qui propose de *plonger la machine dans la langue* (plus précisément dans l'activité signifiante de la langue) plutôt que de *mettre la langue dans la machine*. D'interaction en interaction avec un partenaire humain et en analysant des dialogues réels, le système acquiert et structure des connaissances sémantiques sous forme de systèmes de valeurs paradigmatiques lui permettant de proposer des interprétations de plus en plus fines. L'analyse des conflits d'interprétation dans le corpus de dialogue est un moyen de mettre en évidence ces valeurs (c'est, comme on l'a vu, le cas avec l'exemple du mot *poste* ayant produit une incompréhension qui révèle sa polysémie).

Une première expérimentation du système sur des séquences du corpus PIC a permis de montrer la pertinence d'un modèle de l'interprétation articulant dans une recherche de contraintes des connaissances lexicales différentielles et des stratégies syntagmatiques de désambiguïsation. Cependant cette expérimentation est à poursuivre car les systèmes différentiels de significations construits sont propres au corpus étudié, c'est-à-dire à un certain type de conversation (en l'occurrence l'utilisation d'un logiciel dans un contexte professionnel). Par exemple on a mis en évidence dans [Beust 98] un système hiérarchique de significations

qui rend compte d'une séquence du corpus où il question des outils d'aide à l'utilisation d'un logiciel. Il convient donc d'expérimenter le système avec d'autres corpus de dialogue où l'enjeu des conversations n'est plus le même pour examiner comment les connaissances augmentent et comment celles qui sont déjà acquises peuvent être réutilisées dans d'autres contextes, notamment par le moyen de métaphores. Lakoff et Johnson ([Lakoff & al. 85]) ont montré comment les métaphores culturelles permettent d'exprimer les significations propres à un certain domaine dans un rapport à un autre domaine (c'est par exemple le cas dans la métaphore LA DISCUSSION, C'EST LA GUERRE). La réutilisation des connaissances par un rapport métaphorique consistera à exploiter des combinatoires de différences déjà connues dans un premier domaine pour conditionner des oppositions de signes similaires dans un nouveau domaine (par exemple, on utilisera les différences qui structurent le domaine de LA GUERRE pour dresser la combinatoire de significations du domaine de LA DISCUSSION).

À terme, l'objectif est de donner à la machine un rôle d'assistant apprenant dans et par le dialogue avec un partenaire humain. Dans un dialogue, lorsque l'un des partenaires ne connaît pas la signification d'un mot et qu'il ne peut la déduire du co-texte par des opérations interprétatives, il engage un dialogue incident pour que son interlocuteur lui apporte les contenus sémantiques qui lui manquent. C'est alors que les reformulations, les paraphrases ou encore les métaphores sont d'une grande utilité dans la construction du terrain commun, et c'est ainsi que, selon [Vivier 93], le dialogue construit le dialogue. Pour mettre en place des interactions langagières naturelles, il conviendra de coupler l'interprétation à un modèle de la génération qui exploite les contraintes interprétatives pour déterminer l'enchaînement conversationnel (en actes ou en paroles). Ensuite, il faudra intégrer ces deux modèles à un modèle de la gestion de la tâche ayant déjà sa logique interne pour la gestion des incomplétudes par les dialogues incidents ([Lehuen 97]).

Références bibliographiques

- [Beust & al. 96] : Beust P., Delépine L., Nicolle A., Coursil J, Octobre 1996, *Anadia, a Relevance Examination Tool for Representations*, Third European Congress on System Science, AFCET-CSCI, Rome.
- [Beust 98] : Beust P., 1998, *Un modèle oppositionnel de la signification*, RECITAL'98, Le Mans.
- [Chinchor & al. 93] : Chinchor N., Hirschman L., Lewis D. D., 1993, *Evaluating Message Understanding Systems : An analysis of the Third Message Understanding Conference (MUC-3)*, Computational Linguistics, vol. 19, n° 3, p. 409-451.
- [Coursil 92] : Coursil J., 1992, *Grammaire analytique du français contemporain. Essai d'intelligence artificielle et de linguistique générale*, Thèse de l'Université de Caen.

- [Delépine & al. 96] : Delépine L., Nicolle A., Juillet 1996, *Un assistant interactif de recherche d'information : Conception d'un agent aide-mémoire*, Conférence internationale sur l'Apprentissage Personne Système (CAPS), Caen.
- [Giguet & al. 97] : Giguet E., Vergne J., 17-20 September 1997, *From Part-of-Speech Tagging to Memory-based Deep Syntactic Analysis*. In proceedings of the International Workshop on Parsing Technologies (IWPT'97), Boston, Massachusetts, MIT.
- [GIL 95] : Coursil J., Montlouis Calixte D., Delépine L., Beust P., 1995, *Anadia 1, Manuel de l'utilisateur*, Université des Antilles et de la Guyane.
- [Grice 67] : Grice H. P., 1967, *Logic and Conversation*, The William James Lectures, Université de Harvard.
- [Huls & al 95] : Huls C., Bos E., Claassen W., 1995, *Automatic Referent Resolution of Deictic and Anaphoric Expressions*, Computational Linguistics, vol. 21, n° 1, p. 59-81.
- [Johnson-Laird 83] : Johnson-Laird P.N., 1983, *Mental models*, Cambridge University Press.
- [Lakoff & al. 85] : Lakoff G., Johnson M., 1985, *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Éditions de Minuit.
- [Lehuen 97] : Lehuen J., 1997, *Un modèle de dialogue dynamique et générique intégrant l'acquisition de la compétence linguistique*, Thèse de l'Université de Caen.
- [Nicolle & al. 97] : Nicolle A., Beust P., 3-5 Septembre 1997, *Anadia, un analogue machine de la mémoire*, Workshop "Les modèles de représentation : quelles alternatives ?", Association Ferdinand Gonseth, Neuchâtel.
- [Nicolle & al 98] : Nicolle A., Saint-Dizier V., 1998, *Vers un modèle des interactions langagières*, dans Analyse et Simulation de conversations: De la théorie des actes de discours aux systèmes multiagents, textes rassemblés par B. Moulin, S. Delisle et B. Chaib-draa à paraître chez Interéditions Lyon
- [Ploux & al. 98] : Ploux S., Victorri B., 1998, *Construction d'espaces sémantiques à l'aide de dictionnaires de synonymes*, à paraître dans T.A.L.
- [Raccach 97] : Raccach P.Y., 1997, *L'argumentation sans la preuve : prendre son biais dans la langue*, Cognition et Interaction, vol. 2, n°1-2, Nancy.
- [Raccach 98] : Raccach P.Y., 1998, *Construction du sens et construction des connaissances*, CAPS'98, Caen, In *Apprentissage Homme-Machine*, K. Zreik (ed.), Europia Productions, Paris.
- [Rastier 87] : Rastier F., 1987, *Sémantique interprétative*, Paris, Presses Universitaires de France.
- [Rastier & al. 94] : Rastier F., Cavazza M., Abeillé A., 1994, *Sémantique pour l'analyse*, Paris, Masson.
- [Trognon & al 92] : Trognon, A. and C. Brassac, 1992, L'enchaînement conversationnel, *Cahiers de Linguistique Française*, 13, p. 76, 107
- [Vanderveken 88] : Vanderveken, D., 1988, *Les actes de discours*, Mardaga, Bruxelles,
- [Vergne 94] : Vergne J., 1994, *A non-recursive sentence segmentation applied to parsing of linear complexity in time*, International Conference on New Methods in Language Processing (NeMLaP), Manchester.
- [Victorri & al. 96] : Victorri B., Fuchs C., 1996, *La polysémie*, Paris, Hermes.
- [Vivier 93] : Vivier J., 1993, *Comperobot, when Dialogue Enlarges Dialogue Capacity ?*, Second European Congress on System Science, Prague.

L'interprétation comme une suite de transformations partielles approximatives

Jacques Blanc-Talon*

blanc@etca.fr

* CTA/GIP, laboratoire Perception pour la RObotique
16bis, av. Prieur de la Côte d'Or, 94114 Arcueil Cedex, France

Résumé

L'interprétation, dans le cadre de la perception artificielle, n'est souvent qu'un processus de transformation de l'information. Retenant ce dogme, nous montrons que la confrontation d'une représentation à base de modèles et de la réalité entraîne la construction d'approximations successives. En se donnant une approche semblable à celle de la théorie de l'information, nous introduisons des quantités minimales d'interprétation, ce qui nous permet de répondre à certaines questions touchant à la cohérence interne et externe d'une interprétation de manière originale.

1 Du conflit mesures \leftrightarrow modèle à l'interprétation

Sujet de réflexion: quelle est la différence entre « erreur entre la mesure et la prédiction » et « conflit entre les mesures et le modèle » ?

Introduisons notre propos à partir d'un cas historique bien argumenté¹. Après le fatal accident vésical de son maître Tycho Brahé à la cour impériale de Prague, monsieur Kepler fit couler beaucoup d'encre en continuant d'arguer que le système de Ptolémée décrivant le mouvement des planètes devait couler devant le système copernicien. Ayant trouvé deux des trois lois qui portent son nom, il s'efforça alors de faire émerger un rapport harmonique entre les vitesses extrémales des planètes (atteintes à l'aphélie et au périhélie, 1619), occupation dont la conclusion eût à ses yeux démontré l'existence d'un divin concepteur. L'astronomie offrait ainsi à cette époque un théâtre grandiose aux exercices des mathématiques pour lesquelles, dans un pur courant pythagoricien, les nombres entiers séparément ou quotientés trônaient

1. Nous aurions pu prendre l'exemple de l'histoire de la physique quantique, encore plus riche et encore actuel, peut-être plus galvaudé.

comme seuls dignes de foi (on remarquera que les nombres irrationnels flottaient pourtant au milieu des entiers depuis 1549). Le modèle physique devait affirmer une perfection certaine, traduisant elle-même un sentiment religieux certain, et le modèle analytique devait alors arrondir ses angles pour être conforme.

Ce n'est sans doute pas le sentiment religieux mais une certaine confiance dans la physique qui guida l'astronome Le Verrier à postuler l'existence de la planète du dieu des océans à partir des flottements des mesures décrivant le mouvement d'Uranus. Pas question de discuter une mécanique au sommet de sa vague de gloire qui décrivait correctement le mouvement d'au moins huit corps (avec bien entendu la précision des instruments de l'époque) : il considéra le modèle comme exact, les mesures comme correctes et entreprit de dissoudre les perturbations dans le modèle. C'est le même exercice qui conduisit Tom-
baugh à découvrir Pluton en 1930, même si cette fois-là les mesures présentaient vraiment des incertitudes importantes. Éculé, le procédé a pourtant fait recette et le dernier utilisateur ne peut guère s'enorgueillir d'une plongée profonde dans l'originalité, tout juste porter un toast à sa découverte du satellite de Pluton (1976) baptisé Charon, le nocher sur le fleuve des enfers, à juste titre.

Aujourd'hui en 1999, il est tacitement admis par les astrophysiciens que les lois de Kepler ne sont pas a fortiori fausses, mais par contre a priori imprécises, sinon a posteriori incomplètes. Les nombres entiers ont depuis longtemps perdu leur statut même si ont fleuri au siècle dernier (par exemple la fameuse loi de Titius Bode sur les rapports entiers entre les positions des orbites des planètes) et fleurissent encore (par exemple les explications « universelles » faisant usage des relateurs arithmétiques) quelques travaux sur des interprétations galactiques de leurs propriétés.

Force est de constater que l'interprétation scientifique de nos expériences est d'abord personnelle et ensuite culturelle, rarement objective, dans la mesure où l'on pourrait donner un sens à cette universalité. Si l'on s'accommode d'interprétations relatives ou locales, alors on peut admettre que nos modèles sont des compromis valables. Les erreurs par rapport à ces modèles rentrent d'abord dans le cadre d'une théorie de l'approximation pour les types de modèle et d'information considérés, ensuite dans le cadre d'une augmentation de niveau du

modèle, enfin lorsque ce niveau dépasse celui de l'infusion théologico-mathématique pour atteindre celui du cocktail imbuvable, ces erreurs forcent-elles un jour au dégel du statisme du modèle, qui est alors submergé par un autre. L'éthique scientifique occidentale est pourtant de remettre en cause les modèles lorsque les erreurs deviennent des conflits insolubles, mais il n'existe pas de cote d'alerte permettant de décider cette remise en cause.

Pour provoquer un questionnement complet sur ce problème, il faudrait s'interroger dans un certain ordre sur le processus de généralisation qu'engendre le modèle, sur la notion de symbole mettant en relation expérience et interprétation ; et donc aussi sur l'opposition de la théorie et de l'expérience, sur l'irrationnel et la vérité... Nous entreprendrions un voyage de Bergson à Wittgenstein et Badiou, en saluant certes Kant et Cournot, mais comme nous ne sommes pas en train de récrire le monde de Sophie, nous préférons apporter directement de l'eau à notre moulin en accostant les interrogations : d'abord, est-ce que l'interprétation des erreurs et des conflits au sein d'un modèle est la principale trace d'un acte d'intelligence ? Ensuite, comment la transformation de l'information, véhiculée de nos perceptions jusqu'à notre entendement, peut-elle rompre la chaîne des interprétations ?

Nous prendrons comme cadre de notre questionnement celui de la perception artificielle. Pour ce faire, nous nous interrogerons sur les manières d'intégrer plusieurs types de connaissances (numérique, symbolique, sémantique) et étudierons comment quelques paradigmes parmi les plus connus (bayésien, théorie des possibilités et Dempster-Shafer (D-S)) peuvent produire des interprétations synthétiques. Le matériau brut résultant sera supposé exploité par un système effectuant de l'apprentissage – et là nous ne parlerons que de PAC². Nous introduirons enfin une analogie de type CML³ dans laquelle l'interprétation est envisagée comme un processus d'approximation évoluant au cours de transformations successives de l'information. Nous essaierons en particulier d'aborder la différence entre l'interprétation par l'homme et par la machine et ce que ne nous apprend pas l'ordinateur comme machine non universelle à traiter le signe. Nous terminerons par un rêve technologique très actuel.

2. « *Probably Approximately Correct* ».

3. « *Coupled Map Lattice* ».

2 *Errare mechanicum est*: Bayes, D-S et PAC

Si du point de vue monothéiste évoqué plus haut le modèle est unique, les modèles mathématiques et leurs interprétations relationnelles sont, eux, multiples. Qui dit « modèle » dit « infinité de l'espace d'expérimentation⁴ » : il suffit de prendre l'exemple exhaustif comme modèle si l'on peut énumérer en un temps fini toutes les possibilités du réel. Qui dit « infinité » veut alors dire « interprétation plausible de tel ou tel sous-ensemble de l'espace d'expérimentation » mais ne peut souvent dire que « plus ou moins bonne possibilité d'approximation de l'information disponible par tel modèle généralisant ». En intelligence artificielle, l'art d'amener à faire résonner de façon cohérente la lumière des multiples mesures de ces possibilités dans les modèles selon des règles dont la pertinence et l'évidence ne sont pas antagonistes conduit à utiliser soit des théories non numériques (comme la logique non monotone), soit la théorie stochastique, soit encore des méthodes fondées sur des hypothèses déviantes (voir ci-après), soit finalement des méthodes heuristiques que nous n'aborderons pas ici.

Quant aux modèles, passer de l'un à l'autre ne se fait pas comme changer de véhicule – surtout si l'un est davantage numérique qu'un autre syntaxique ou sémantique. Pourtant, la nécessité de fusionner les informations numériques partielles découle des faibles performances des systèmes isolés, comme c'est le cas par exemple en perception artificielle, et est légitimée par la promesse proverbiale d'obtenir mieux au moyen de plusieurs.

Quelles sont ces méthodes? Les plus directes sont celles relevant de la fusion bayésienne d'informations, qui exploitent la (trop?) fameuse règle de Bayes (précurseur de Laplace *a priori* peu connu et s'étant révélé *a posteriori* important) de calcul des probabilités de classe à partir de l'expérience. Ces approches s'élaborent au moyen d'un espace probabilisé et de fonctions de distribution de probabilité sur les événements pouvant y survenir. Les avantages sont d'ordre pratique et bien connus, la critique principale étant celle du trop fréquent non-respect de l'indépendance conditionnelle des classes d'expérience.

La théorie des possibilités (Zadeh [12], Dubois et Prade [5]) consi-

4. D'un point de vue systémique, l'espace d'expérimentation est le produit de l'ensemble des instances de l'objet d'expérience, qui peuvent être en nombre fini, et de l'ensemble des valeurs paramétriques du modèle.

dère que l'information disponible est valable (ou possible) sur un certain intervalle de validité, la distribution de possibilité caractérisant une information imprécise sur un ensemble flou. À la différence du cas précédent, la fusion de modèles s'effectue au moyen d'opérations ensemblistes. La fusion peut être conjonctive (les sources d'information sont fiables, des conflits faibles et partiels peuvent éventuellement être autorisés), disjonctive (les sources d'information sont en conflit), adaptative (on adopte un comportement conjonctif ou disjonctif suivant la qualité des sources) ou prioritaire (certaines sources sont démocratiquement jugées plus fiables que d'autres). Ces techniques fonctionnent dans un cadre proche de la théorie des probabilités et possèdent des particularités pratiques connues⁵.

La théorie des croyances de Shafer prend en compte simultanément *l'imprécis* et *l'incertain*; elle se veut généralisation de la théorie des probabilités (tout au moins au niveau de l'intuition, car formellement elle s'y ramène) en ce sens qu'elle lui correspond lorsque l'imprécis égale la probabilité *a posteriori*. Des fonctions de croyance et de plausibilité quantifient l'évidence apportée par une information, l'incertain conduisant à la fois au doute et à la plausibilité, la croyance et l'ignorance permettant de trancher respectivement sur l'une et l'autre. Afin de manipuler ces nombres et fonctions, la règle de Dempster permet d'agréger deux corps d'évidence distincts sur un même ensemble de discernement. Les postulats de base sont [9] :

1. La chance est la limite de la proportion d'éventualités positives sur l'espace de discernement.
2. Les chances permettent de définir des fonctions de croyance et de plausibilité.
3. Combiner les évidences de corps distincts, c'est les accumuler.
4. On accumule des évidences en manipulant les fonctions de croyance par la règle de Dempster.

La fusion de modèles s'effectue alors selon une des deux hypothèses suivantes : celle d'un monde fermé, qui conduit à supposer que l'en-

5. Il existe également d'autres méthodes plus spécifiques comme la minimisation des ellipsoïdes d'incertitude (fusion géométrique) ou la fusion par filtrage.

semble de discernement est complet ; celle du monde ouvert, plus réaliste, qui provient du fait que l'on ne sait pas tout du problème.

Notre propos est maintenant de nous servir de l'argument disant que cette théorie présente, selon Wang [11], une incohérence. Si l'on se place dans le cadre expérimental le plus simple, alors toute l'information est donnée par une fonction de croyance et sa négation (qui est la plausibilité). Pour deux corps distincts, la règle de Dempster évoquée au postulat 4 permet d'obtenir un nouveau couple de fonctions dont les évidences sont calculées au moyen du postulat 3. À ce stade, on démontre que la limite de ces fonctions lorsque le nombre d'expérimentations confirmant ou réfutant la connaissance tend vers l'infini est en contradiction avec les deux premiers postulats. Cette apparente liquéfaction semble avoir déjà été constatée mais non expliquée plusieurs fois dans la littérature.

Que propose l'auteur pour lofer et remodeler D-S ? Parmi le plus simple *ab origine*, de définir la chance non plus comme la proportion d'affirmations dans l'océan des expériences, mais comme une composition complexe et non linéaire⁶ d'affirmations et de négations. Cette alternative conduit droit à des résultats non intuitifs, pour lesquels l'interprétation humaine est mise en défaut, mais dans le même temps, plonge tout aussi droit vers des interprétations *synthétiques* (pour les distinguer des interprétations habituelles et intuitives) passionnantes. Passons sur le fait que l'interprétation non intuitive d'un modèle non seulement n'est pas obligée, mais de surcroît est pratique courante, par exemple en physique quantique où nous pouvons évoquer la théorie des supercordes, les espaces à onze dimensions, l'équation du vide, tous modèles rien moins qu'intuitifs pour le néophyte et même le spécialiste chevronné. Ce point mis à part, on peut facilement concevoir que l'éventail des interprétations obtenues à partir de telles fusions va être une source de résultats cohérents mais dissociés du tractatus logico-spirituel habituel. Ceci est fort intéressant dans la mesure où l'on garde à l'esprit que les modèles ne fournissent que des approximations de la perception et ne peuvent adoncques permettre de bâtir que des approximations d'interprétation.

Continuons dans cette optique. Nous nous plaçons maintenant dans la perspective où l'on doit effectuer une mise en correspondance entre

6. Comme un rapport de sommes d'exponentielles.

d'un côté des listes de symboles (a priori dénués de sens, mais nous discutons de ce point particulier plus bas) délivrant une approximation finie de l'information disponible, et de l'autre côté un métamodèle synthétisant une interprétation. Cette interprétation peut elle-même être considérée comme une approximation de celle que l'on vise, elle ne peut donc être dégagée qu'une fois des modèles inférés. Si D-S corrigé s'impose, il faut alors se demander dans quelle mesure l'ensemble des interprétations synthétiques peut être appris selon une démarche d'apprentissage dont les lignes de conduite ont justement été tracées dans l'esprit habituel. Il semble un peu prématuré de vouloir répondre à une telle question, aussi n'indiquerons-nous que la transposition, comme dans un miroir, d'une limitation connue de l'approche PAC.

D'après Valiant [10], l'apprentissage selon le paradigme PAC (*Probably Approximately Correct*) d'un concept inconnu permet de fournir une assez bonne approximation de ce concept avec une probabilité élevée. PAC est un paradigme sous l'égide duquel ont eu lieu de nombreux développements et pour lequel on a proposé plusieurs généralisations (on pourra par exemple se référer à Haussler et Warmuth [6]) mais qui conduit à l'impossibilité de principe d'apprendre des concepts disjoints de deux ou plusieurs conjonctions. Si cette lacune provenant de la définition même d'apprentissage possède des répercussions intuitives selon qu'on considère telle ou telle modélisation, on peut imaginer que ces répercussions vont devenir transverses dans le cas des interprétations synthétiques mentionnées ci-dessus : en effet, la notion d'accumulation des expériences positives n'a plus valeur intuitive mais est remplacée par le reflet des propriétés mathématiques d'ensemble que doivent posséder ces affirmations.

L'ordinateur fournit alors là véritablement un outil qui devrait permettre de mettre en lumière le *fonctionnement* d'une interprétation, dont la seule trace visible est le champ de ses manifestations ponctuelles lorsqu'elles sont opératoires et interfèrent avec un modèle cognitif d'apprentissage (ce qui est très proche du point de vue de Michel Denis [4] : « Lorsque les sciences cognitives se donnent pour objectif de simuler les processus de la pensée humaine, l'intelligence du système (...) se manifeste de fait essentiellement en transformant des représentations »). Cet aspect distingue l'interprétation par l'homme de celle par la machine. Par exemple, on est à l'opposé d'un raisonne-

ment humain par analogie, dans lequel on construit une généralisation lorsqu'on a épuisé l'hypothèse (formative) des cas analogues. Si les modèles d'apprentissage proposés par l'intelligence artificielle sont certes artificiels et simplifiés (rarement du point de vue de ceux qui les mettent en œuvre), du moins ont-ils le mérite d'être opérationnels et programmables, donc de pouvoir être *objets d'expérience*.

Encore faut-il référer à un véritable raisonnement et non à une inférence de modèle (par exemple, par réseau de neurones), ainsi que le distingue Kayser [7]: les systèmes biologiques et connexionnistes infèrent facilement des modèles sans que pour l'instant, en l'absence d'une théorie explicative un peu générale (d'origine géométrique ou non), ils puissent produire des raisonnements mettant en relation les représentations aux modèles. Remarquons qu'aucun indice ne permet aujourd'hui de penser qu'une telle théorie soit en genèse! Cette précaution prise, on peut finalement avancer que le programme d'apprentissage fournit une preuve démonstrative et publiable de l'interprétation des phénomènes observés par le modèle.

Il convient à ce stade de rappeler que l'apprentissage portant sur des échantillons positifs et négatifs est plus puissant que celui basé sur des seules affirmations de la même manière que si un problème d'interpolation numérique n'affiche pas de solution, le problème équivalent de l'approximation avec le critère d'erreur adéquat en a toujours une (parfois très inadéquate, mais on ne peut alors la prétendre fausse). Ainsi nous distinguerons deux types de conflits pouvant survenir au cours de l'élaboration d'une interprétation: les antagonismes, survenant entre deux interprétations partielles, souhaitables car conduisant nécessairement à une approximation meilleure; les conflits émergeant entre l'interprétation courante et le modèle, pour laquelle une prise de position (rejet ou refonte) est demandée, et nous plaçant dans la position des détracteurs du système copernicien.

Finalement, on retrouve donc une sorte de hiérarchie inévitable: de l'information brute sur le phénomène au métamodèle, hiérarchie dont chacun des maillons ne peut être isolé mais simplement observé de manière finie dans son fonctionnement au travers du filtre de ses manifestations – dans la mesure où l'on dispose de l'entité de rang supérieur capable de les analyser. De manière très simplifiée, pour comprendre un phénomène, il nous faut le percevoir et donc le coder au moyen

de signes (en nombre fini) dont l'articulation va construire une représentation modélisable qui sera interprétée au sein d'un métamodèle. Telle que nous l'avons présentée, l'articulation entre un maillon et son mentor de rang supérieur est donc un type particulier d'interprétation qui effectue un travail de généralisation – généralisation exacte lorsque modèle et pâte à modeler concordent, plus généralement approximation à erreur bornée.

La généralisation apportée par le modèle n'est pas quelconque : elle consiste souvent à étendre sur ce que l'on modélise des propriétés de classe selon une démarche algébrique ou géométrique (et pas le contraire) et à vérifier si les représentations constatées s'y interprètent convenablement selon des critères d'erreur. Le modèle ne généralise l'information finie que selon une certaine interprétation de cette information qui doit se plier aux exigences. C'est ainsi qu'on peut dire que les signes affichent la vertu qu'on leur donne, plus précisément qu'ils ont avant usage une valeur signifiante intrinsèque. Cette valeur signifiante est celle conférée par le modèle à travers l'interprétation des propriétés de classe (sorte de prégnance à la Thom) : voir des droites partout en est un assez bel exemple. Sans être particulièrement caustique ni nous prendre pour La Calprenède, rendons justice à monsieur Kepler puisque par la généralisation et l'interprétation nous adoptons le même point de vue théiste que nous dénoncions implicitement comme exécration.

3 Système chaotique et rupture d'interprétation

D'une certaine manière, la construction hiérarchique que nous venons de présenter impose une élaboration progressive de l'interprétation, depuis un niveau de signifiant jusqu'à un niveau reconnu comme conscient. Cette hiérarchie est dichotomique, en ce sens qu'un continuum opératoire entre saillance et interprétation ne semble guère envisageable : on interprète ou on n'interprète pas. Inversement, si l'on considère cette construction comme une preuve publiable, alors on peut envisager qu'elle s'affranchisse de sa condition d'approximation, ce qui empêche d'envisager un travail d'intelligence autrement que comme la trace d'une transformation d'information entre niveaux distincts : nous recherchons des pas dans la neige couvrant un champ.

Pourtant on lit encore aujourd'hui, témoignant d'un pseudo-darwinisme latent, des explications au niveau cellulaire du devenir et du devenu du vivant macroscopique. Annoncer qu'une cellule s'adapte, ce serait démontrer qu'elle est intelligente; mais il serait tout aussi péremptoire de proposer une cytologie mécaniste et d'affirmer qu'il n'y a là qu'une soupe de réactions chimiques et électriques, rien qui n'interprète ni ne pense. L'ambiguïté provient de la double possibilité de modéliser des entités biologiques simples par des automates et de détecter des caractères typiques de la vie dans des systèmes physico-chimiques simples (Nicolis & Prigogine, [8]). À ce stade d'indécision, les théories des systèmes chaotiques et de l'information peuvent nous être d'un grand secours.

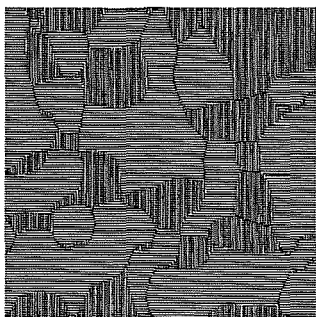


FIG. 1 – Exemple de motif sur un CML parfaitement régulier 1024×1024 .

Il n'existe pas à ce jour de définition universellement reconnue du chaos mais au vu de ses manifestations, le scientifique peut trouver assez satisfaisante la définition de non-su qui consiste à lui nier toute propriété non chaotique. Son étude conduit souvent à celle des fractals, même des multifractals; nous avons déjà discuté du désordre apporté par cette théorie dans la conception habituelle de la perception [2].

Considérons le système déterministe bien connu du métronome sans friction qui produit un top à chaque passage par la verticale de son pendule. La suite des tops va constituer un signal dont la prédiction est aisée si l'on connaît les paramètres physiques significatifs du pendule ou, de manière équivalente, si l'on n'entend rien aux métronomes mais qu'on a remarqué la régularité des tops et leur période. Tout se corse dès lors qu'on perturbe de manière non linéaire le pendule, supposé métallique pour notre explication, au moyen d'un champ magnétique même régulier et de période connue: au-delà de certaines valeurs de champ et de fréquence, le signal n'est plus un éventail d'interférences mais bat la campagne (en labourant la mesure). Coupler le champ magnétique aux battements d'un deuxième pendule permet de remplacer le système perturbé par

deux métronomes fonctionnant de concert.

Sans vouloir répondre ici à la question de comprendre ce qui s'est passé (et dont la réponse peut se trouver dans nombre d'ouvrages spécialisés), tentons de cerner ce que l'on peut constater. Hors de toute explication physique ou mathématique, de l'information chaotique est apparue qu'on ne peut simplement décrire. Elle n'est pas quelconque (ce qui ne présenterait aucun intérêt), ce qu'on peut montrer en la caractérisant. Elle n'est pas à proprement parler intéressante en raison de sa simplicité de principe et dans le même temps de ses errements en apparence aléatoires ; pourtant, son analyse déterministe ou statistique pose problème. Le métronome perturbé peut facilement être généralisé par les systèmes plus mathématiques mais moins intuitifs que sont les réseaux de cellules couplées (CMLs)⁷ : expliquons en deux temps trois mouvements le principe et la raison de cette généralisation. Elle consiste à prendre une loi mathématique non discrète⁸ et non linéaire décrivant l'évolution dans le temps d'un système simple (par exemple notre pendule), à simuler numériquement cette évolution lorsqu'on prend une collection de systèmes identiques qu'on a placés sur un réseau (fini ou non) topologiquement régulier, et qu'on a couplé entre eux (au moyen d'une fonction d'interaction) les systèmes spatialement proches sur le réseau. Une telle approche générale (de par la richesse des comportements chaotiques introduits par les couplages) ouvre la voie à toutes sortes de simulations et plus récemment d'approximations [1]. Elle permet d'approcher des phénomènes physiques non-linéaires comme la réaction-diffusion (R-D, voir figure 1), d'étudier la dynamique des populations et de proposer des modèles écologiques efficaces.

Dans le même temps, la (les) théorie(s) de l'information⁹ permet(tent) entre autres de mesurer l'information (utile) d'un signal, que ce soit en évaluant des quantités entropiques ou en acceptant une définition de la quantité d'information « à la Von Mises » (voir par exemple [3]). Ces mesures sont globales et, appliquées à un CML, elles permettent d'exhiber un paramètre informationnel particulier de telle simulation – par exemple celle de la sylvie d'un écosystème – qui ap-

7. En anglais, « *Coupled map lattices* ».

8. À l'inverse de l'approche par automates cellulaires (CA).

9. Nous profitons de l'évocation de la théorie et de son cinquantenaire pour adresser à C. E. Shannon, souffrant aujourd'hui d'Alzheimer, notre respect attristé.

proche telles données. Globales, elles peuvent pourtant être morcelées en des sommes concernant de petits sous-ensembles du CML pour lesquels on peut alors calculer la contribution au contenu global en information. Décomposer l'information jusqu'au fameux couple métronomique permettrait d'envisager des « molécules » d'information innée, même si cela risque d'être une approche trop abstraite en ce qui concerne le domaine du vivant [8]. Si l'interprétation d'une représentation se manifeste au travers d'une transformation de l'information, alors on devrait pouvoir de manière analogue définir une quantité minimale d'interprétation associée à la valeur des « molécules » d'information.

En revenant au domaine du vivant mentionné plus haut dans le texte, on peut alors dire que la cellule esseulée n'interprète pas son environnement puisqu'elle ne peut disposer de la quantité d'information nécessaire, quantité introduite essentiellement par les couplages. Par contre, un tissu cellulaire des mêmes individus pourrait être à même d'interpréter son environnement, si ses couplages lui permettent d'échanger des informations et ses capacités de les traiter. Que se passe-t-il si l'on quitte la richesse introduite par la proximité des comportements chaotiques pour nous réfugier dans la linéarité locale et la convexité générale? On abandonne alors la généralité des domaines, l'expérience montrant qu'on ne peut plus modéliser ce que nous évoquions. Il n'y a plus guère d'intérêt à parler d'interprétation locale. Le passage du chaotique au régulier introduit donc une disparition de la possibilité de modeler l'information au moule du réel, et dans le même temps produit une rupture de la chaîne des interprétations possibles.

Dans la mesure où l'on autorise à notre « paradigme CML » une certaine portée, on voit que l'interprétation individuelle n'a guère de sens puisqu'elle réfère à la transformation d'une molécule d'information. Ceci n'est pas très éloigné d'une construction sémiotique dans laquelle l'esprit humain procède par approximations de pensées indivises qui possèdent leur processus d'identification et de confrontation propres. Plusieurs points de vue peuvent cohabiter en une même personne et se contredire pour aboutir, au travers de l'interprétation de la confrontation, à un concept modélisant les deux points de vue, donc en principe, davantage évolué et universel.

4 ... *perseverare diabolicum* !

La fureur de la plupart des Français, c'est d'avoir de l'esprit, et la fureur de ceux qui veulent avoir de l'esprit, c'est de faire des livres.

De tous les auteurs, il n'y en a point que je méprise plus que les compilateurs, qui vont, de tous côtés, chercher des lambeaux des ouvrages des autres, qu'ils plaquent dans les leurs, comme des pièces de gazon dans un parterre. Ils ne sont point au-dessus de ces ouvriers d'imprimerie qui rangent des caractères qui, combinés ensemble, font un livre où ils n'ont fourni que la main. Je voudrais qu'on respectât les livres originaux, et il me semble que c'est une espèce de profanation de tirer les pièces qui les composent du sanctuaire où elles sont, pour les exposer à un mépris qu'elles ne méritent point.

Montesquieu, « Lettres persanes ».

Plutôt que de nous exposer par la rédaction d'une conclusion ou d'une table des dogmes en cours à la fureur posthume de l'illustre écrivain, nous allons mentionner en quelques lignes les balbutiements d'une technologie qui évoque la multitude, la coopération entre des atomes actifs et la conscience distribuée.

La nanotechnologie moléculaire se trouve encore être une technologie de l'avenir mais qui fait l'objet d'une forte publicité. D'après ses promoteurs, elle permettra un contrôle de la structure de la matière à un niveau de précision atomique, ce au moyen d'une véritable machinerie moléculaire. Sous le contrôle d'un programme, cette machinerie pourra synthétiser de manière flexible des structures complexes à partir des atomes eux-mêmes. Ainsi, les structures résultantes seront entièrement déterminées par programmation plutôt que bridées par les limitations des méthodologies de synthèse et des techniques de fabrication. Une fois les procédés initiaux et quelques briques de base constitués, l'impact de la nanotechnologie pourra devenir rapidement significatif en tablant sur la particularité essentielle des nanomachines de s'auto-reproduire : cela permettrait de construire à faible coût des applications au niveau macroscopique tout en assurant la précision des constituants au niveau atomique. Bien entendu, une telle percée technologique nécessitera de faire appel à une coopération interdisciplinaire active utilisant les solutions apportées par la chimie, les systèmes de conception moléculaires, l'électronique, etc.

Dans le cas d'une telle éclosion, on peut sans peine imaginer que la pratique prendra le pas sur la théorie (et sur nombre d'idéaux). Le domaine biologique sera privilégié. Des petites prothèses nerveuses

seront certainement développées dès que cela sera possible, remplaçant d'abord des connexions endommagées (par exemple dans la moelle épinière), puis des portions de plus en plus grandes de tissus de plus en plus complexes. On pourra alors envisager de produire des prothèses de nanomachines topologiquement semblables aux aires corticales. Et de conclure définitivement par un nouveau sujet à décortiquer :

Sujet de réflexion : « quelle est la différence entre « interprétation par le vivant » et « approximation par la nanomachine » ? »

Références

- [1] Blanc-Talon, Jacques – Effective Computation of 2D Coupled Map Lattices. In R. Stonier (Ed.), *Complex Systems*, Sydney (AU), 1998.
- [2] Blanc-Talon, Jacques – Modèles abstraits en perception artificielle. In *7ème Journées de Rochebrune*, 1998.
- [3] Delahaye, Jean-Paul (1994). *Information, complexité et hasard*. Hermès, Paris.
- [4] Denis, Michel – Pour les représentations. In Denis, M. et Sabah, G. (Ed.), *Modèles et concepts pour la science cognitive*, PUG, Paris, 1993.
- [5] Dubois, D. and Prade, H. (1987). *Théorie des possibilités, applications à la représentation des connaissances en informatique*. Masson, Paris.
- [6] Haussler, David and Warmuth, Manfred (1995) – The Probably Approximately Correct and other learning models. In Wolpert, David H. (Ed.), *The Mathematics of Generalization*, Santa Fe Inst. Studies in the Sci. of Complexity **27**, Addison-Wesley, 1998.
- [7] Kayser, D. – Un point de vue *artificialiste* sur le raisonnement. In *XIIIè journées d'études de l'Assoc. de psychologie scientifique de langue française*, Rome, 1991.
- [8] Nicolis, Grigoire and Prigogine, Ilya (1989). *Exploring complexity: an introduction*. Freeman, New-York.
- [9] Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, New Jersey.
- [10] Valiant, L. (1984) A theory of the learnable. *Communications of the ACM*, **27**, 1134–1142.
- [11] Wang, Pei. *A defect in Dempster-Shafer theory*. Indiana University (CRCC) Techreport, 1995.
- [12] Zadeh, Lofti (1978) Fuzzy set as a basis for a theory of possibilities. *Information and Control*, 1978, **1**, 3–28.

Simulations Multi-Agents et Logique Floue pour la Détection des Conflits Internationaux

*Recherche, par la modélisation et la simulation, des facteurs
crisogènes*

Lieutenant R.F. COZIEN¹, Sous-Lieutenant A. COLAUTTI²

Centre de Recherche
Écoles Militaires de St-Cyr Coëtquidan
56381 GUER Cedex

¹ Division Sciences de l'Ingénieur

² Division Langues et Relations Internationales

Résumé : Evaluer le potentiel conflictuel d'une situation ou d'une crise internationale est un enjeu important dans l'exercice des responsabilités de Défense. Posséder une méthode formelle permettant la détection de situations à risque est certes intéressant, mais seul un outil informatique de simulation permet d'explorer un grand nombre de zones de conflits potentiels, et de scénarios. Ceci, afin de garantir un haut niveau opérationnel à la méthode. Il existe bien des méthodes formelles " papier " dans le domaine des Relations Internationales, mais elles requièrent tout au long de leurs manipulations la présence de l'expert humain, et se prêtent rarement à la simulation informatique, qui elle seule garantit de pouvoir tester un grand nombre d'hypothèses, avec la précision que l'on veut, en un temps raisonnable. Le projet **DANA** consiste à simuler dynamique des situations internationales à risque. Nous utilisons la programmation multi-agents parce qu'elle permet de donner une existence informatique à des concepts abstraits tels qu'*un pays, un gouvernement, une économie,...* Nous dotons ces agents de règles d'évaluation et de comportement écrites en Logique Floue, car ce formalisme traduit bien l'expertise qualitative. Nos simulations visent à mettre en évidence les agents et les règles qui sont par nature ou par association crisogènes. Cependant, un important travail d'interprétation doit toujours compléter la simulation. Cette dernière phase doit être menée avec une grande rigueur pour éliminer de

l'interprétation opérationnelle finale, les simplifications consenties lors de la modélisation.

Être vaincu est excusable ; être surpris, jamais!

Napoléon

Introduction

Le Centre de Recherche des Écoles de Coëtquidan, (CREC), poursuit un programme de recherche en Relations Internationales. Ces recherches, dans la partie amont regroupent la Divisions Sciences de l'Ingénieur - équipe *Informatique & Simulation* et la Division Langues et Relations Internationales. L'aspect opérationnel de ces travaux est traitée en collaboration avec une équipe de Prospective Stratégique du Ministère de la Défense afin qu'ils ne restent pas qu'un exercice de style informatique. On comprend aisément qu'une activité de " veille " des situations à risque est indissociable d'une politique de Défense moderne. Ainsi, posséder une méthode et l'outil informatique qui l'accompagne, permettant d'anticiper, avec un haut degré de vraisemblance, des conflits de plus en plus nombreux et souvent locaux, est un enjeu de premier ordre pour la Défense Nationale. Son intérêt est renforcé par l'orientation de notre politique de Défense qui tourne nos armées vers la " projection ". Cette orientation impose cette " veille " multi-directionnelle visant à réduire au maximum les temps de réaction, et donner à l'État-major des Armées, (EMA), tous les éléments de compréhension de la situation quelle que soit la zone géographique et les circonstances ayant conduit à une situation de crise risquant de déboucher sur un conflit armé. C'est ce qu'affirme précisément l'Amiral Lanxade, ancien Chef d'Etat-major des Armées : "En priorité, les capacités de nos forces devraient répondre à trois besoins essentiels, tant en matière de gestion de crise dans une période d'incertitudes, qu'en matière de combat : acquérir l'intelligence des situations pour réagir vite au niveau requis et obtenir la supériorité à moindre coût. Voir clair, savoir et réagir avant les autres sont, en effet, non seulement une condition d'efficacité opérationnelle, mais d'abord et surtout indispensables à la maîtrise de situations complexes et à la liberté de décision politique. Cela repose d'abord sur une capacité d'acquisition de l'information. C'est ensuite, une capacité de traitement en temps réel de ces informations, doublée d'une capacité de simulation permettant de faire, au bon moment, le meilleur choix."

Les conflits modernes se caractérisent par leur multiplication et la diversité de leurs formes, fréquemment par une grande dissymétrie de force des adversaires, par leur violence, par l'utilisation d'armes à fort potentiel destructeur et/ou traumatisant pour les adversaires quels qu'ils soient. Ils se caractérisent également par l'utilisation des populations civiles comme moyen stratégique, par la médiatisation des actions armées et enfin, par l'utilisation de procédés de règlement internationaux inadaptés aux caractéristiques des situations actuelles, car prévus pour des conflits d'un autre type.

Ces "nouveaux" conflits doivent donc être traités et interprétés en fonction de la forme nouvelle que prennent les Relations Internationales, basée, bien plus qu'auparavant, sur une approche multipolaire. Mais aussi et surtout, en réadaptant nos méthodes d'analyse et donc de compréhension des situations internationales. Dans les faits, ils nous faut développer des outils capables de gérer l'interprétation des conflits en dehors des schémas classiques qui ont perduré durant les quarante dernières années et donc, nous forger un nouveau mode de réflexion stratégique.

Si la souveraineté territoriale demeure l'intérêt national supérieur, d'autres exigences sont apparues. Notre implication politique internationale, et notre dépendance vis à vis de l'économie mondiale, renforcent l'enjeu lié à la "veille de Défense". Une crise, quelles que soient sa localisation et son ampleur, peut déséquilibrer sensiblement l'économie nationale. Pour prendre une image simple, c'est "l'effet papillon" de la situation mondiale moderne, où l'on constate une forte interpénétration des économies nationales, et une grande vitesse de propagation et d'amplification de micro-événements du fait de la globalisation des moyens d'échanges tant financiers que médiatiques.

Techniquement, le projet consiste, dans une première phase, à l'écriture d'un modèle décrivant des acteurs définis comme des unités de décision autonomes, à leur associer des règles d'expertise explicitant le comportement interne des acteurs et la façon dont ils communiquent entre eux. L'effort de modélisation porte d'abord sur l'élaboration de la liste des acteurs. Cette liste doit être la plus exhaustive possible, du point de vue de la situation étudiée, sans toutefois surcharger le modèle par des acteurs marginaux. C'est l'éternel problème de la granularité dans les modèles à base d'acteurs. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que la notion d'acteur est une notion fortement induite par la simulation informatique. Dans un modèle papier, les Acteurs sont en fait simplement des variables.

Le but de ce travail préalable d'énumération est le recensement des variables dites explicatives.

Il y a alors deux possibilités : soit on envisage le modèle formel comme une première étape devant mener à une simulation informatique dynamique "Dynamique" signifie ici que le temps à un sens et qu'il rythme la simulation : le temps logique est sémantiquement analogue au temps physique. On peut alors recenser les variables qui sont autant de futurs acteurs, par leur temporalité, c'est à dire leur fréquence d'évaluation. Pour certaines variables cela a un sens de les évaluer à la semaine comme "*moral des armées*" d'autres sont à évaluer tous les mois comme "*inflation*" d'autres tous les ans, tel que "*PIB*". Ainsi, la création de la liste va être dictée par les bornes inférieures et supérieures de cette temporalité. Mais dans cette approche on tente de définir exhaustivement la liste des acteurs pour que la simulation soit la plus globale. Cette méthode donne aux acteurs un haut degré de différenciation en tant qu'unités autonomes de décision, mais elle impose d'établir très précisément les règles octroyant cette autonomie de décision. Chaque acteur perçoit son environnement, intègre ces informations, modifie son état, prend une décision et envoie un message vers son environnement. Les liens unissant les acteurs doivent être également définis explicitement, ces liens sont en fait le mode de communication entre unités. Le modèle obtenu est donc en fait un gigantesque graphe/organigramme, qui est la mise à plat des connaissances de l'expert, mais qui est quasiment inexploitable sans simulation informatique. Le rôle de cette mise sur machine est de faire "vivre" les acteurs, d'étudier leurs comportements par la confrontation dans le même "univers" de leurs intérêts respectifs. Après une initialisation qui correspond à la situation actuelle, on laisse avancer le temps logique, on observe l'évolution de la situation générale et, grâce à certains indicateurs particuliers, on est le témoin de la progression du système vers un conflit si la situation est réellement crisogène. Une "situation" est représentée, dans le simulateur, par les valeurs initiales de la simulation, ce n'est pas que le simple fait de simuler la "vie" de deux pays. Le risque de conflit est porté par les valeurs des variables, plus que par la sémantique de ces mêmes variables, qui rappelons-le, ont été choisies dans un souci de généralisation et de globalité, indépendamment du concept de "crise".

La deuxième possibilité ne pose pas la simulation comme un but impératif, ainsi le temps, en tant que grandeur universelle rythmant l'évolution des variables, n'est pas obligatoire. Dans cette deuxième approche le

modélisateur part d'une situation locale tant géographique qu'historique. Il tente alors, en relation étroite avec la situation, de définir des variables dites explicatives de cette situation. La liste n'est donc plus aussi exhaustive que dans la première approche. Puis on réalise une matrice d'influence directe qui permet de savoir quelle variable influence quelle autre directement. Grâce à cette matrice on peut élaborer un graphique, qui est en fait une carte du pouvoir explicatif des variables. Cette carte est statique, il faut lui associer une activité de renseignement des variables pour suivre au jour le jour une situation crisogène pouvant dériver vers un conflit. Ce risque de conflit s'évalue grâce au calcul d'un indice synthétique qui, quand il atteint son maximum peut s'interpréter par : " les conditions sont réunies pour qu'une crise, voire un conflit éclate ". Dans cette approche la notion de simulation est plus difficile à cerner, on doit limiter cette activité à faire modifier la valeur d'une variable pour observer la répercussion de cette variation sur les autres variables explicatives.

Une fois les modèles " papier " réalisés, nous pouvons envisager d'implémenter ces modèles pour bénéficier des avantages de la simulation informatique. La première méthode se prête très bien à cette démarche car elle a été conçue dans ce but. Mais, comme le modèle papier n'est pas exploitable, toute l'interprétation, et donc l'apport de sens, se fait en final après les simulations. C'est la plus grande difficulté des modèles basés sur des réseaux, comme les réseaux neuromimétiques. Les valeurs locales des variables et les connexions ne permettent pas l'interprétation, on ne peut exploiter que les sorties du modèle. D'où la nécessité de définir des " observables " ou variables synthétiques particulières, souvent construites à partir des autres. Puis, il faut resituer les sorties numériques par rapport au problème initial qui est : l'acheminement ou non vers un conflit. Par contre, une fois cet important travail de " sémantisation " réalisé, la force de la simulation informatique permet de tester rapidement un grand nombre de situations et d'hypothèses sur ces situations, et dans les cas plus favorables permet en retour l'amélioration du modèle initial. Ce cas favorable est représenté par la figure 1.

La deuxième solution trouve son principal défaut dans sa nature relativement statique. On ne peut donc pas l'automatiser facilement pour fournir des jeux d'essai, servant eux-mêmes de base à des scénarios. Cependant, il est possible de produire ces scénarios " manuellement ". Tester une hypothèse est plus long et demande la présence perpétuelle du modélisateur, contrairement à la première approche qui est un " monde "

en plus petit avec une grande autonomie et une grande capacité d'évolution. Par contre elle est bien plus opérationnelle que la première approche puisque l'on part d'une situation plus locale dont on suppose qu'elle est déjà porteuse de tensions, elle n'impose pas une simulation pour fournir des résultats exploitables. De plus, l'introspection du modèle et donc l'interprétation des résultats est plus facile, car indépendamment des valeurs des variables, elle renseigne le modélisateur sur le pouvoir explicatif des variables, donc de leur poids relatif dans une crise. Si elle fournit moins d'informations que la première approche, elle facilite le travail d'interprétation final.

Nous travaillons sur les deux méthodes, mais nous présenterons dans cet article la première approche, car elle autorise une plus grande discussion sur les interactions entre modélisation et simulation, ainsi qu'un plus grand travail d'interprétation.

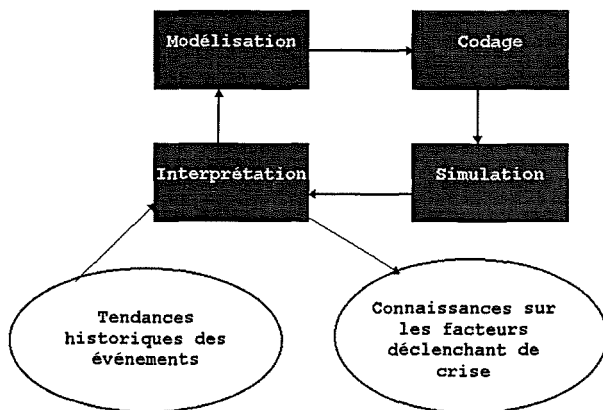


fig. 1 : Boucle de rétroaction Modèle ↔ Simulation

1. Le Projet DANA

Du fait de notre collaboration avec l'École Nationale d'Ingénieur de Brest, (ENIB), et de la nature même du modèle à simuler nous avons codé la simulation par une programmation Agent. Pour ce faire nous utilisons le simulateur Multi-Agents *oRis* développé par l'ENIB. Il s'agit d'un langage

objet interprété très proche du C++, qui intègre des caractéristiques de code dynamique parallèle tel *java* ou *SmallTalk*, doublé d'un simulateur permettant la visualisation des simulations, soit des agents eux-mêmes, soit de graphiques représentant l'évolution de variables quelconques.

Un langage multi-agents permet de coder "*des objets animés*". Tout comme les objets des langages "*orientés objets*". Les agents possèdent leurs propres méthodes définies lors du codage de la classe à laquelle ils appartiennent. Mais, ils ont en plus une méthode particulière qui est appelée régulièrement par le simulateur, et qui leur permet de s'exprimer. Les langages multi-agents sont donc particulièrement adaptés à la réalisation de simulations. Les agents sont alors la métaphore de leur représentation naturelle. Ils évoluent dans leur univers et peuvent communiquer entre eux. Chaque agent possède, dès son initialisation, tous les attributs et toutes les méthodes dont il a besoin pour évoluer.

Le déroulement d'une simulation multi-agents n'est en général pas prédéterminé, mais est le résultat de l'exécution de la méthode "*je_vis()*" de chaque agent pendant un certain nombre de cycles.

Or, le concept de situation internationale (ou géopolitique) implique une vision macroscopique des composants et des relations étatiques : Nous ne chercherons pas à modéliser un individu, (la plus petite unité décomposable selon divers angles de vue), mais des concepts plus larges tels que par exemple, *la Dette, le PIB, l'Inflation* ,..., qui composent l'entité *Économie*. L'implication sur la modélisation sera la faible granularité des unités élémentaires. Le comportement de tels objets doit se fonder sur des lois macroscopiques d'ordre sociologique, politique, économique ou fondées sur une approche des comportements humains en situation de prise de décision. La simulation ne sera pas la modélisation du monde réel et infini, mais celle d'une approximation de connaissances générales sur le réel dans un monde fini.

Cependant, bien que nous travaillions dans un domaine d'approximations et d'abus des généralisations, nous espérons au début du projet, qu'un ensemble fini de lois macroscopiques qui s'exécutent en interdépendance dans un environnement fermé supportera la comparaison avec le monde réel.

La démarche adoptée a consisté à décomposer les acteurs **Économie, Gouvernement, Armée, Population, Diplomatie** et **ONU** en ensembles

finis, où pour chacun des éléments, nous pouvions édicter un ensemble de lois décrivant son comportement complet et interdépendant.

En juxtaposant le comportement de ces acteurs, nous modélisons le comportement d'un État.

Le paradigme multi-agents apporte donc un élément de réponse intéressant à notre problématique puisque les concepts de notre modélisation reposent essentiellement sur une décomposition du tableau géopolitique en agents distincts et autonomes. De plus, ce paradigme offre une très grande souplesse quant à la granularité d'instance. Un agent peut être défini indépendamment de la place qu'il occupe dans le modèle. Dans le cas qui nous intéresse, nous allons donc pouvoir coder de la même façon des concepts aussi différents que : "*Dette*", "*Taux de Remboursement*", "*Patriotisme*", "*Volonté Politique*" ... Si sur le papier, un agent est déjà défini par son nom, informatiquement parlant, il faut le doter d'un algorithme lui conférant une autonomie de décision. Nous allons "remplir" nos agents de règles représentant les connaissances que nous avons de la situation géopolitique. Ces règles sont du type : "*Si le Taux de Remboursement est important alors la Dette diminue un peu*".

Comme les règles d'expertise sont par nature fortement qualitatives, la *logique floue* a été choisie comme mode de représentation des connaissances. Les algorithmes permettant l'évaluation d'un paramètre de la simulation à un temps t , à partir des valeurs de plusieurs autres paramètres de cette simulation à l'instant $t+\Delta t$, sont donc "*des algorithmes flous*". Ce choix est bien adapté à notre problème puisque les connaissances que nous avons d'une situation de type géopolitique à l'échelle de deux États sont par nature difficilement quantifiables numériquement, mais basées sur l'expérience du spécialiste. Typiquement, on ne peut pas affirmer que si 3 soldats d'un pays **A**, sont tués par 2 terroristes d'un pays **B**, alors les chances de voir un conflit opposer **A** à **B** sous un délai de une semaine augmente de 10%. Tout ce que l'on peut raisonnablement affirmer, c'est que si des soldats d'un pays **A** sont tués par des terroristes d'un pays **B**, alors les chances de voir les deux pays s'opposer dans un conflit armé augmentent.

La logique floue propose un formalisme permettant d'exprimer et de manipuler ce type de connaissances intuitives. Ainsi, après avoir défini dans le formalisme de la logique floue des idées comme "le taux de remboursement est important" ou "La dette diminue" nous avons pu écrire

des règles de la forme : "*Si le Taux de Remboursement est important alors la Dette diminue un peu*"

Nous avons codé l'ensemble des connaissances relatives à la situation par près de 350 règles floues. Dans le cas d'une simulation mettant en présence plusieurs parties antagonistes, ces règles sont reproduites à l'identique dans les agents symétriques de chaque partie, à quelques règles près. Par contre pour l'acteur qui n'est pas partie prenante dans les conflits, les règles sont différentes. C'est le cas de l'acteur **ONU**.

La réalisation de la plate-forme de simulation **DANA** a consisté à synchroniser et à intégrer les acteurs brièvement décrits auparavant. Nous avons écrit un script sous **oRis** intégrant le contrôleur flou, lui-même écrit en Prolog. C'est une des forces du paradigme Agent, où les agents sont le support de tous les modes de représentation des connaissances.

Pour tester notre modèle il nous a fallu choisir un exemple qui soit caractéristique des conflits modernes et dont nous possédons tous les éléments afin de valider la pertinence du modèle et la vraisemblance des simulations. Nos deux États antagonistes sont l'Argentine et la Grande-Bretagne au début des années 1980. La situation conflictuelle réside dans une forte revendication du gouvernement argentin pour la possession de l'Archipel des Malouines. Les deux gouvernements sont très différents tant dans leur organisation, dans leur fonctionnement, et dans une certaine mesure, dans leurs objectifs. Les économies respectives diffèrent dans leurs capacités de manière fondamentale. Les diplomaties n'ont pas la même stratégie ni la même tactique, et, les armées sont de types très différents. Enfin, l'ONU peut prendre parti pour l'un ou l'autre des protagonistes.

A chaque fois que nous avons modélisé un composant nous nous sommes attachés au fait qu'il était impératif de pouvoir différencier l'Argentine et la Grande-Bretagne par la seule initialisation des composants et que le comportement des composants devait être quasi identique quel que soit le pays. C'est la valeur des composants au démarrage de la simulation qui doit refléter les différences de gouvernement ou d'économie. Une implication de cette démarche est la grande approximation qui peut en résulter : si le rôle et le comportement de l'inflation dans l'économie argentine et britannique semblent être identiques dans une première approche, il semble illusoire de penser que l'influence de l'opinion publique sur leur gouvernement respectif sera de même nature. Cependant,

même si les règles floues de comportement sont les mêmes quel que soit le pays, ces comportements sont très fortement dépendants de la valeur des composants : l'agent **opinion publique** argentine aura exactement le même comportement que l'agent **opinion publique** britannique pourvu que les agents qui lui sont dépendants, et ceux dont il dépend, atteignent les mêmes valeurs. Cette démarche nous a permis d'identifier certains composants importants d'un État en confrontant les différences qui existaient entre ces deux pays au début des années 80 et en tentant de généraliser les causes et les conséquences de ces différences.

Nous avons intégré dans un État la **Situation Conflictuelle** : chaque État reflète et est influencé par un niveau de situation conflictuelle et un intérêt dans les Malouines. La **situation conflictuelle** est un des composants permettant d'étudier les facteurs déclenchant une crise, tandis que les intérêts dans les Malouines sont un reflet des causes de la crise et permettent de symboliser une revendication. La situation conflictuelle reflète la volonté d'un gouvernement à chercher une issue militaire à une crise. Lorsque cet indicateur a atteint un niveau seuil (la situation conflictuelle est dite imminente) nous sommes alors en situation de crise et les lois qui décrivent le fonctionnement de la simulation ne devraient plus être pertinentes et la simulation devrait s'arrêter. En effet, nous cherchons les facteurs déclenchant, une fois le conflit survenu, notre démarche sort de son contexte.

Nous avons à plusieurs reprises utilisé les termes " crise ", " conflit " ou " situation conflictuelle ". Dans nos recherches nous avons défini la " crise " comme un moment de rupture à l'intérieur d'un système organisé. Elle implique pour les décideurs qu'ils définissent une position en faveur soit, de la conservation, soit de la transformation du système donné dans la perspective d'un retour à l'équilibre. Appliquée au système international, la crise peut-être le résultat d'une situation de tension, tout comme celui d'une intention délibérément offensive de l'un des acteurs.

La crise selon Raymond Aaron : "Lorsque la guerre est impensable [...] la crise est cette forme de violence retenue, destinée à peser sur la détermination de l'autre pour le contraindre à renoncer à ses intérêts légitimes, et obtenir de lui des concessions qui ne valent pas l'enjeu, et le risque, de la guerre totale..."

2. La Modélisation

Notre modèle se compose de six Acteurs qui sont : Armée, Économie, Diplomatie, Gouvernement, Population, et ONU. Ces Acteurs sont constitués d'Agents. La figure 2 liste ces Agents :

| Acteurs | Agents | Acteurs | Agents |
|-----------------|--|--------------------|--|
| ARMEE | Entraînement Expérience encadrement Moral des armées Moyens opérationnels Possibilité engagement Professionalisation Recrutement et achats | DIPLOMATIE | Création propositions Etude propositions Impact mondial Impact régional Résonnance mondiale Résonnance régionale Situation Conflictuelle Soutien diplomatique Soutien économique Soutien militaire Soutien prestige Type de stratégie |
| ECONOMIE | Coût de la dette Dette Inflation Marché illicite Marché licite PIB Taux de remboursement | GOVERNEMENT | Persuasion Poids de l'opinion publique Poids opinion internationale Prestige Unanimité de l'opposition Volonté engager les armées Volonté politique |
| ONU | Opinion internationale Banque Résolution | POPULATION | Assentiment de l'opinion Civisme Niveau de vie Patriotisme Satisfaction |

fig. 2 : Les Acteurs et Agents du modèle

Un Acteur est donc un groupe d'Agents. Ces Agents sont reliés entre eux par des règles floues. Les Agents ont été définis avec précision et le nom qui leur a été donné est le plus évocateur possible de ce qu'ils représentent. C'est surtout cette sémantique commune qui fait d'un groupe d'Agents un Acteur. Chacun d'entre eux possède une partie du sens associé à l'Acteur auquel ils appartiennent.

L'étape suivante consiste en la création des liens entre les agents. Il s'agit de liens directs, qui n'incluent pas, dans cette étape, de notion de probabilité de connexion ou de force du lien. Le modélisateur décide de

l'existence ou non du lien indépendamment de ce qu'il va véhiculer. Ce choix est réfléchi, il force le modélisateur à se prononcer explicitement sur l'existence du lien. En effet le danger, lorsqu'on utilise la logique floue, c'est de dériver vers une indécision permanente qui risque de retirer au modèle toute sa force explicative. L'existence affirmée d'un lien facilite l'interprétation. Rien n'interdit à ce lien par la suite, de véhiculer une probabilité ou une valeur floue. Dans notre modèle, à chaque lien doit correspondre une règle floue au minimum faisant intervenir le, ou les agents, qui sont à la source du lien. DANA compte 476 liens pour 84 agents.

Les figures 3 et 4 présentent respectivement le comportement général simplifié du modèle, et le fonctionnement de l'acteur "**Population**", avec les liens unissant ses cinq agents constitutifs et les liens que ces agents ont avec ceux des autres Acteurs.

3. Application de la Logique Floue au Modèle

Les termes utilisés dans les règles doivent avoir été définis au contrôleur flou dans le formalisme de la logique floue pour que le contrôleur puisse les interpréter. Cela limite le nombre de termes et de notions qu'il est possible d'employer et incite à donner aux règles un aspect générique. C'est cette généralité qui nous permettra par exemple de dire indifféremment de l'agent "*dette*" ou de l'agent "*type de stratégie*" de l'un ou l'autre protagoniste, qu'elle ou qu'il "*Augmente un peu*". Dans les deux cas, cela se traduira par une "*augmentation de la valeur de l'agent*", mais l'interprétation à porter à cette augmentation sera différente. Intuitivement, on imagine bien que l'augmentation de la valeur de l'agent "*dette*" traduit une augmentation de la valeur absolue réelle de cette dette. Cependant cette valeur absolue n'est pas égale à la valeur de l'agent "*dette*" qui n'est qu'un indicateur. Quant à l'agent "*Type de Stratégie*", il a été décidé arbitrairement qu'à son augmentation correspondrait une augmentation de l'agressivité de la stratégie du pays comportant cet agent.

Les règles possèdent une autre caractéristique très importante, c'est ce que nous appelons leur **fréquence d'évaluation**. Cette valeur est propre à chaque règle et traduit la fréquence avec laquelle la règle sera évaluée. La fréquence d'évaluation est donnée en cycle. Par exemple, la règle : "*Si le Taux de Remboursement est important alors la Dette diminue un peu*" a été proposée avec une fréquence d'évaluation de 1/52 cycles. Chaque cycle

représente une semaine. Cela signifie donc que cette règle sera évaluée toutes les 52 semaines, soit tous les ans. Une petite fréquence d'évaluation a été choisie par le modélisateur du fait de la variation lente du taux de remboursement en macro-économie. La fréquence d'évaluation d'une règle est une donnée extrêmement importante pour la compréhension des simulations.

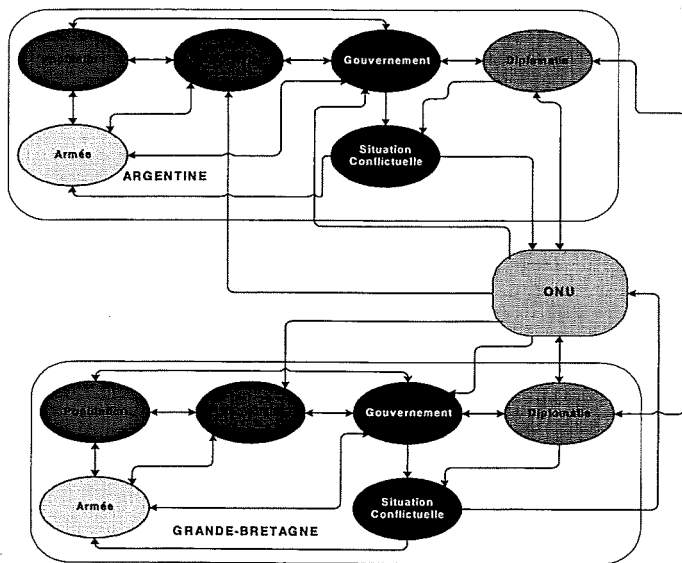


fig. 3 : Graphe simplifié du modèle

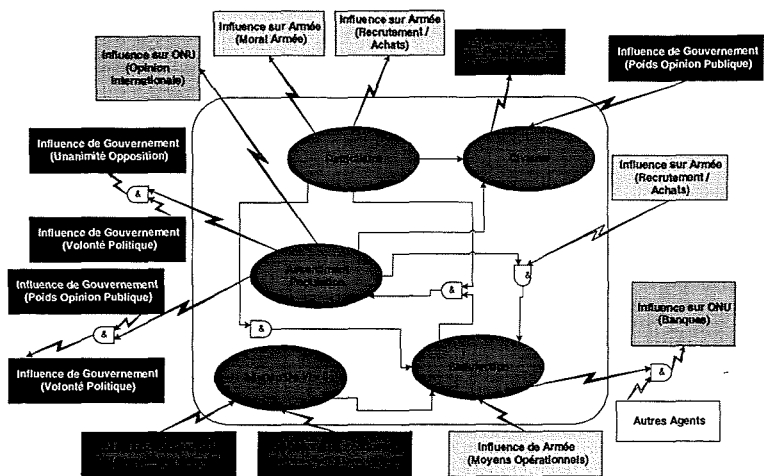


fig. 4 : Graphe de l'Acteur Population

Le tableau ci-dessous donne à titre d'exemple une règle de chaque Acteur. On y vérifie bien que les Agents, (en gras), sont reliés entre eux par une règle floue :

| <i>Acteurs</i> | <i>Règles</i> | <i>Fréquences en semaines</i> |
|----------------|---|-------------------------------|
| Armée | Si Civisme est au moins important alors Moral Armée augmente un peu | 16 |
| Diplomatie | Si Impact Mondial est inacceptable alors Résonance Mondiale diminue un peu | 6 |
| Économie | Si PIB est au moins faible et si Inflation est au moins moyen alors Taux de Remboursement augmente | 52 |
| Gouvernement | Si Intérêt est au moins important alors Volonté Politique augmente beaucoup | 10 |
| ONU | Si Situation Conflictuelle a augmenté alors Résolution diminue | 7 |
| Population | Si Poids Opinion Publique est moyen alors Civisme augmente un peu | 12 |

fig. 5 : Exemples de règles floues

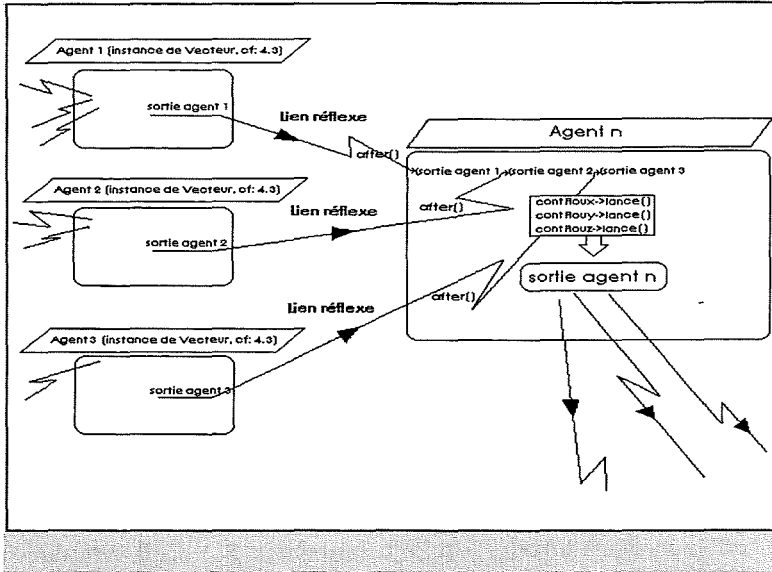
4. Simulateur et Multi-Agents

Nous l'avons dit, le modèle de programmation Agent est particulièrement bien adapté à ce genre de simulations. Un des éléments important lorsque l'on code suivant ce paradigme, c'est le mode de communication entre Agents. En fait les liens comme nous les avons définis ne sont pas informatiquement parlant des règles floues. La règle est dans l'agent, elle utilise en entrée une valeur numérique, elle la fuzzifie, infère, défuzzifie, et propage cette nouvelle valeur, via le lien vers le ou les agents qui lui sont connectés. Formellement, le lien propage des valeurs numériques physiques par opposition aux valeurs floues qui restent dans l'agent.

Le langage *ORIS* propose plusieurs modes de communication : le mode *asynchrone* ou *boîte à lettres*, le mode *broadcast* ou *radio diffusion*, et le mode *liens réflexes*. Nous avons retenu le mode *liens réflexes*, ce mode peut être perçu comme une métaphore de la propagation de l'information par le principe des vases communicants. La modification d'un attribut d'un agent **A** entraîne automatiquement le déclenchement d'une méthode de l'agent **B**, quand **B** a été connecté à **A** par un *lien réflexe*. Cette méthode est la méthode *after()*. Ainsi, en connectant **B** à **A**, **B** sera directement informé de la modification de la valeur de **A** grâce au déclenchement de cette méthode spécifique. Plusieurs agents peuvent être connectés de cette manière à l'agent **A** et être ainsi directement informés de chaque modification de la valeur de **A**.

Notre exemple où l'agent "*dette*" dépend des agents "*taux de remboursement*" et "*recrutement et achats*", sera donc codé par deux *liens réflexes* : un lien liant l'agent "*dette*" à l'agent "*taux de remboursement*", et l'autre liant l'agent "*dette*" à l'agent "*recrutement et achats*". Toute modification d'un des agents "*taux de remboursement*" ou "*recrutement et achats*" provoquera la mise à jour des valeurs correspondantes, dans une liste de l'agent "*dette*" chargée de stocker ces valeurs. La mise à jour de cette liste sera effectuée par la méthode *after()*. Ce mécanisme permettra à l'agent "*dette*" lors de son évaluation, d'avoir toujours en mémoire dans cette liste les dernières valeurs prises par les agents dont il dépend. La figure 6 résume le fonctionnement des *liens réflexes*.

Le script de la simulation est composé de plusieurs classes. Nous trouvons la classe *Vecteur*, dont les instances sont les *agents*. La classe *ContFlou*, dont les instances sont les *contrôleurs flous*. La classe *Lv*, dont les instances sont les *liens réflexes*. Enfin, la classe *AffClock* rythme la



simulation. La figure 7 illustre les liaisons entre instances de classes.

fig.6 : Mécanisme des liens réflexes



fig. 7 : Liaisons entre les instances de classes

5. Simulations

Après une initialisation des agents basée sur la réalité historique, deux ans avant le début du conflit, nous laissons *DANA* évoluer librement au grès

des interactions entre les agents, soit environ 105 cycles logiques. Les figures 8 et 9 présentent les premiers résultats. On y trouve les agents **Situation Conflictuelle**, et les six autres qui y sont connectés.

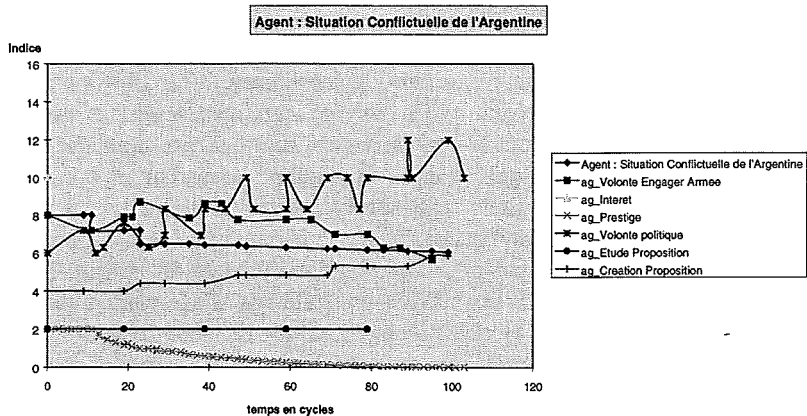


fig. 8 : Résultats de Simulation pour l'Argentine

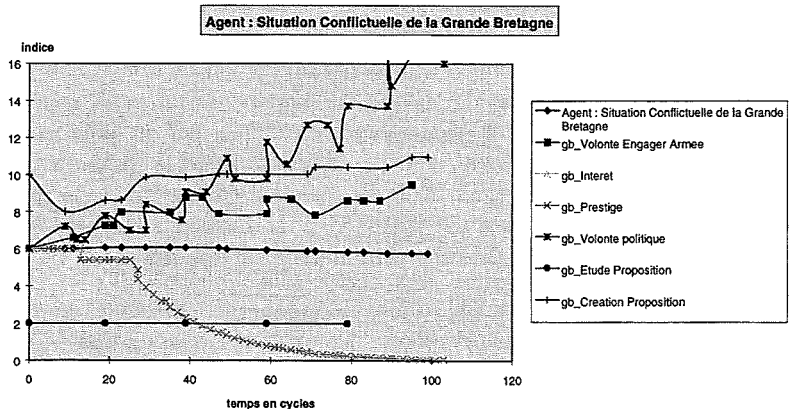


fig. 9 : Résultats de Simulation pour la Grande Bretagne

En toute logique, la **Situation Conflictuelle** des deux belligérants aurait dû augmenter notablement. Or, les résultats de la simulation contredisent la réalité historique. Nous en avons conclu que notre modèle était faux dans au moins une de ses composantes. Nous avons observé un à un l'évolution

de tous les agents et identifié quelques progressions qui semblaient suspectes. Il restait à savoir si cette évolution fautive était due : soit à un mauvais choix des règles régissant le comportement de ces agents, soit, à des fréquences d'évaluation inadaptées, soit à des conclusions de règles erronées ou excessives, soit enfin, à de mauvaises valeurs d'initialisation. En observant localement le comportement des agents il est apparu qu'ils étaient cohérents. Donc, ni les liens, ni les valeurs d'initialisation n'étaient à mettre en cause. Nous avons corrigé certaines règles et cherché à identifier les agents dont le comportement anormal entraînait une réaction en chaîne nuisant à la qualité de la simulation. Cependant, il faut garder à l'esprit que l'intérêt d'une telle simulation ne se limite pas aux agents **Situation Conflictuelle** de chaque pays. L'ensemble des comportements doit être pris en compte pour comprendre l'arrivée du conflit. De plus, après une introspection, nous avons constaté que d'une part, le simulateur simulait correctement et objectivement ce qui est codé, que d'autre part, l'ensemble des comportements est explicable. Nous touchons là une des forces de la simulation informatique, si le simulateur a un comportement neutre vis à vis du modèle, il en fait inévitablement ressortir les défauts. Alors pourquoi, n'avons-nous pas rejoint la réalité historique ?

Nous avons constaté lors de l'observation de la simulation que la fréquence d'évaluation des règles était un facteur très important. En effet, La conclusion d'une règle en "*augmente un peu*" par exemple, va influencer de manière très différente sur la simulation selon qu'elle va être plus ou moins souvent évaluée. La notion de "*augmente un peu*" pour l'agent considéré ne sera donc pas seulement définie par le pourcentage de l'augmentation en question, mais par la résultante de la combinaison de ce pourcentage avec la valeur de la fréquence d'évaluation de la règle. Or, nous n'avons prévu aucune méthode pour évaluer l'intensité de cette résultante, dont l'effet se révèle particulièrement important.

Le nombre de sous-ensembles flous définissant les différents domaines de définition pose aussi un problème. En effet, dans la majorité des cas, 5 sous-ensembles flous pour 5 niveaux (*bas - faible - moyen - important - élevé*) ont été définis. C'est trop. En effet, lors de la modélisation, beaucoup d'idées ont été transcrites par des ensembles de règles de la forme :

" Si L'unanimité de l'opposition est élevée alors la possibilité d'engager les armées diminue un peu "

“ Si L’unanimité de l’opposition est basse alors la possibilité d’engager les armées augmente un peu ”

Or, si on prend les deux règles ci-dessus qui traduisent la liaison qui existe entre *“l’unanimité de l’opposition”* d’un pays et la *“possibilité d’engager ses armées”*, on constate qu’uniquement une partie du domaine de définition de *“unanimité opposition”* (*bas - faible - moyen - important - élevé*) est traitée. En effet seul le cas où l’unanimité de l’opposition est *“élevée”*, et le cas où elle est *“basse”* sont pris en compte. Et cela a deux conséquences :

1- Il n’y aura pas de pondération des règles suivant, par exemple, que *l’unanimité de l’opposition* est plus ou moins élevée. Supposons par exemple que *l’unanimité de l’opposition* prenne une valeur de 6,2, dans ce cas *l’unanimité de l’opposition* pourra être qualifiée de *“importante”* avec une valeur de vérité de 0,9, et de *“élevée”* avec une valeur de vérité de 0,1. *“L’unanimité de l’opposition est importante”* devrait donc s’appliquer de manière *“intense”* et pondérer l’application de la règle d’hypothèse *“si l’unanimité de l’opposition est élevée”*. Or, la première règle n’ayant pas été écrite, la seconde correspondant à une unanimité de l’opposition élevée va s’appliquer pleinement. Cela met en évidence le défaut de la défuzzification du type *“center of area”* dont le principe repose sur une pondération des règles entre elles. De ce fait, celui-ci ne s’appliquera efficacement que si les règles prennent en compte l’ensemble du domaine de définition des termes présents dans les hypothèses.

2- Dans le cas qui est présenté auparavant, on peut se demander pourquoi les cinq règles n’ont pas été écrites. Mais le problème se complique lorsque les règles sont de la forme, comme c’est souvent le cas :

Si X1 est Y1 et X2 est Y2 alors Xn est Yn.

Car, dans ce cas, si X1 et X2 sont définis sur cinq niveaux, il faut écrire 25 règles pour traiter tous les cas. Si Xn dépend de X1, X2, X3, alors c’est 75 règles qui sont nécessaires, etc... Or, comme l’ensemble des cas n’est pas traité car un grand nombre de règles manquent pour couvrir l’ensemble des situations possibles, on se retrouve avec des contrôleurs qui ne s’appliquent que dans des cas particuliers, et de surcroît, avec des intensités pas toujours appropriées.

Il arrive même fréquemment, qu'aucune règle d'un même contrôleur ne s'applique. Par exemple, dans le cas présenté précédemment, les valeurs de l'agent *unanimité de l'opposition*, comprises dans l'intervalle]2, 4[ne déclenchent aucune règle. Cela est gênant et signifie qu'une idée de la modélisation n'est pas prise en compte, ce qui fausse naturellement le résultat de la simulation.

Si la simulation est pénalisée si fortement par le manque de pondération des règles entre elles, c'est la conséquence du fait que les ensembles flous fournis en sortie des contrôleurs sont systématiquement défuzzifiés pour donner à l'agent une valeur réelle. Or cette défuzzification est imparfaite et induit, particulièrement quand il manque des règles, des erreurs importantes de restitution de l'information. Ce phénomène est accentué par la réinjection des valeurs erronées dans les contrôleurs au fil du temps, pénalisant l'ensemble de la simulation.

Des problèmes de divergence sont aussi à signaler. L'application successive de règles concluant sur "*augmente...*" ou "*diminue...*" sont à l'origine de ces problèmes, qui surviennent quand aucune autre règle ne vient s'opposer à ces tendances.

Certaines règles ont des fréquences d'évaluation trop faible (ex : 1/52 ou 1/26). De ce fait elles ne sont que très peu évaluées durant la simulation. Typiquement, une règle de fréquence 1/52 cycles, ne sera évaluée que 2 fois, sur une simulation de 2 ans soit (104 cycles). C'est peu, et cela rend souvent la règle quasiment inutile, inhibant là encore, une idée sémantiquement importante.

Il nous semble que la répartition des règles sur les agents n'est pas toujours optimum. Ainsi, le nombre de règles affectées aux agents peut varier de manière importante. On trouve par exemple des agents ayant un rôle important qui ne dépendent des autres que par deux règles. Cela peut sembler trop peu, et il serait peut être bon d'essayer d'étoffer un peu certains agents.

Nous avons corrigé quelques-unes de ces restrictions. En particulier, nous avons limité le nombre de sous-ensembles flous à 3 par domaine. Ce qui a fait chuter le nombre de règles floues à 300. Cela reste considérable, mais nous savons qu'elles sont maintenant toutes écrites. Ensuite, L'ENIB nous a fourni un nouveau contrôleur flou qui, contrairement au premier, permet de véhiculer tout au long de la simulation une valeur floue et d'effectuer des opérations algébriques sur ces valeurs. Nous ne sommes

donc plus obligés de défuzzifier entre chaque agent, d'où un gain important en précision et en terme de conservation de l'information. En effet, rappelons qu'à chaque défuzzification une "moyenne" particulière, (Centre de l'Aire), est réalisée avec tout ce que cela entraîne comme approximation. Enfin, comme nous avons souligné l'importance du problème de pondération des règles nous envisageons plusieurs solutions. Nous voulons différencier le poids relatif de chaque règle par rapport à l'ensemble de la simulation. Il nous faut donc faire des regroupements par catégorie d'influence, il s'agit donc d'une hiérarchisation des règles. Ces regroupements peuvent se faire par exemple en fonction de la fréquence d'évaluation : on considère alors que le poids d'une règle est inversement proportionnel à sa fréquence. On peut aussi regrouper les règles par leur sémantique, l'expert décidant alors, quelle règle est à ses yeux plus importante qu'une autre. Notons que l'affectation à une règle de son poids relatif peut se faire soit par une valeur numérique, soit par une métarègle floue. Ce dernier cas est certes plus élégant et offre plus de nuances, mais, demande un effort supplémentaire d'écriture des métarègles.

Après plusieurs essais, nous avons opté pour la solution suivante : nous allons utiliser les liens entre agents. Nous pondérons la connexion entre deux agents par une valeur floue. Cette valeur est déterminée, à la fois par la fréquence d'évaluation, et par un avis de l'expert. On peut se représenter cette hiérarchisation en se disant que notre modèle initial était "plat" ou en deux dimensions. Avec cette catégorisation des règles, nous lui donnons du volume. Nous rajoutons une dimension à la sémantique du modèle. Ceci donne un degré de liberté supplémentaire à l'expert en terme de sens donné au modèle.

Les figures 10 à 13 représentent les résultats de simulations avec la restriction des domaines flous à trois sous-ensembles. Nous avons constaté des changements sensibles entre les deux types de simulation. Ceci est particulièrement vrai sur les figures 12 et 13 où nous nous rapprochons de la réalité historique. Cependant les figure 10 et 11 présentent des évolutions qui apparaissent comme sans tendances distinctes si ce n'est le maintien dans un régime quasi plat. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les agents des figures 10 et 11 et en particuliers les agents *Situation Conflictuelle*, *Volonté d'Engager les Armées* et *Volonté Politique* sont en bout de processus d'évaluation dans le modèle. Ils souffrent donc du défaut majeur du contrôleur flou qui impose le mode de défuzzification "centre de l'aire" entre chaque agent. Ce mode, en effectuant la même moyenne trop souvent, linéarise à outrance les tendances et provoque cet

effet “applanissant”. Au moment où nous écrivons cet article nous sommes en train d’intégrer un nouveau contrôleur capable de propager d’agent en agent une valeur floue sans défuzzification intermédiaire

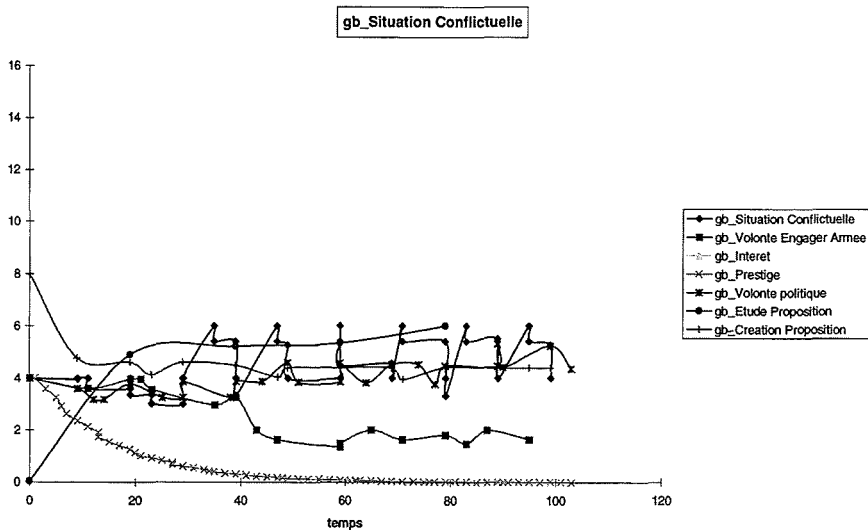


fig. 10 : Simulation Corrigée pour la Grande-Bretagne

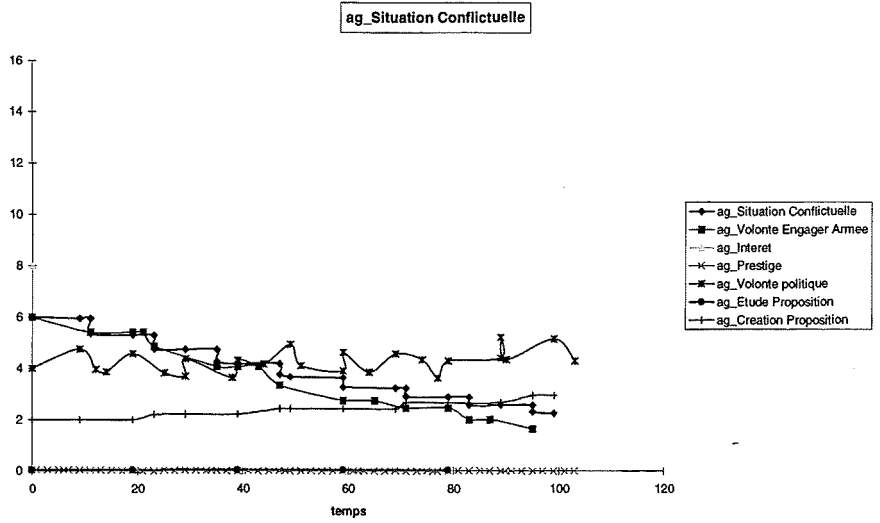


fig.11 : Simulation Corrigée pour l'Argentine

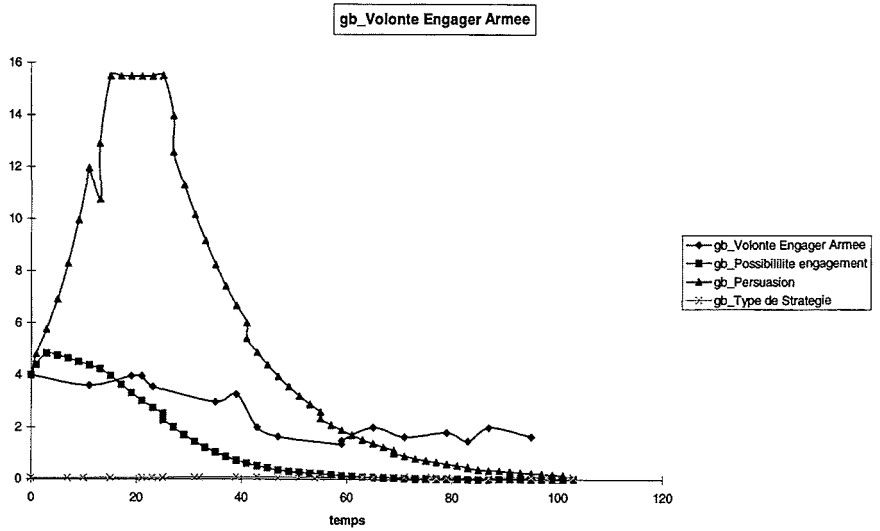


fig. 12 : Simulation Corrigée pour la Grande-Bretagne

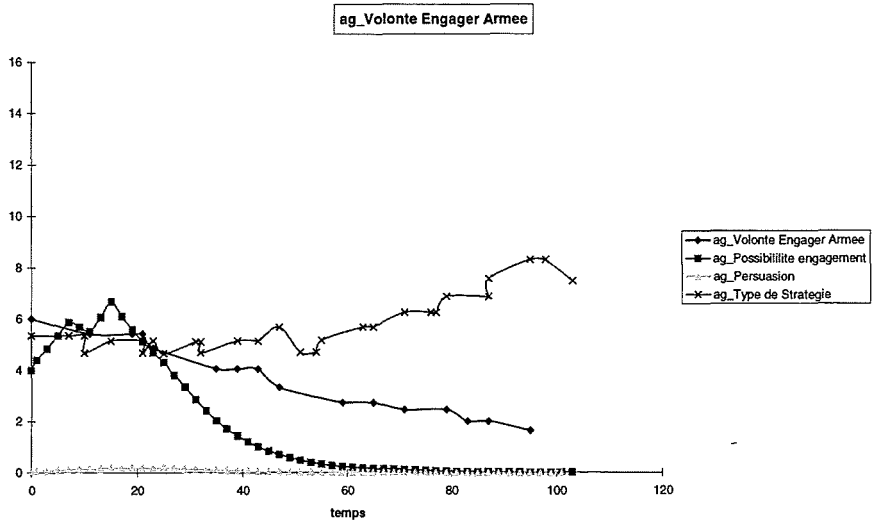


fig. 13: Simulation Corrigée pour l'Argentine

6. Menaces, conflits et guerres

La Terre corrompit sa face devant Dieu et fut remplie de violence. Dieu vit que la Terre était corrompue, car toute chair avait corrompu sa voie sur la terre. Alors Dieu dit à Noé : “ La fin de toute chair a été décrétée à mes yeux, car la Terre est emplie de violence à cause des hommes. Je vais les détruire avec la Terre ”.

Genèse VI, 11

La violence se trouve dans les textes les plus anciens, en particulier, le judaïsme a très tôt catégorisé la violence en différentes formes, certaines moralement acceptables d'autres contraires à la parole de Dieu lui-même. Par exemple, nous trouvons très tôt la légitime défense comme principe moralement acceptable, et justifiant le recours à la violence. Le Talmud de Babylone énonce : “ Si quelqu'un se prépare à tuer, tu as le devoir de prévenir ce crime, fût-ce par la mort de ton agresseur ”. A la violence illégitime de l'agresseur on oppose une autre violence jugée moralement

légitime. Ce principe vaut pour les individus mais également pour les nations qui se considèrent attaquées. Même la doctrine officielle catholique a légitimé le recours à la force quand, dit-elle, la violence armée est l'ultime recours, et quand elle obéit aux règles de la justice qui en rendent l'emploi raisonnable. Les pays démocratiques ainsi que les instances internationales telles l'ONU et l'OTAN adhèrent également aux principes d'ultime recours, et de proportionnalité entre la riposte et l'attaque. La dissuasion nucléaire est le parfait exemple du concept " d'ultime recours ". Si cet ultime recours devient légitime, alors la guerre est " juste " car elle s'impose comme unique issue pour la sauvegarde d'un Etat ou d'une nation.

Nous voyons donc se dessiner le raisonnement suivant : lorsqu'il y a un conflit, si l'une des parties refuse la négociation, celle qui se sent la plus menacée peut légitimement recourir à la violence. Cette violence a pour forme la guerre à l'échelle d'un Etat. Le conflit, lorsqu'il devient guerre, peut s'interpréter, comme une solution acceptable pour sortir d'une crise, dont les tensions qu'elle provoque, deviennent insupportables pour au moins un des belligérants. Cette interprétation froide, valable à l'échelle d'un Etat, ne prend pas en compte les dégâts causés à l'échelle humaine par la guerre.

On comprend alors qu'une façon d'éviter la guerre est d'éviter le conflit, qui est son préambule. Ainsi, nous pouvons reprendre la définition générale du Père Duquoc, qui énonce : "qu'un conflit entre groupes humains, Etats ou nations, provient d'un antagonisme d'intérêts ou d'une opposition idéologique. On le considère *majeur* si l'une des parties juge que ses intérêts fondamentaux, notamment sa liberté ou sa souveraineté, donc sa survie, se trouvent menacées ".

Si nous acceptons cette définition, nous pouvons justifier la démarche consistant à rechercher toutes les causes possibles d'antagonisme. Ce que nous avons nommé " crise ", " situation à risque " ou " situation conflictuelle ", sont en fait des formes d'antagonismes déclarés et ouvertement affichés. Nous poser la question de l'éventuelle possibilité de détection des situations à risque nous pousse à nous poser la double question sur ce que seront les conflits futurs et quelle forme devra avoir la prospective stratégique ?

Notre siècle a été marqué par deux guerres mondiales, par les guerres de décolonisation, et une foule de guerres locales. Pourtant la troisième guerre

mondiale n'a pas eu lieu, et ce malgré d'innombrables sources de tensions Est-Ouest, ainsi qu'un arsenal militaire sans aucune commune mesure avec ce que l'humanité avait jusqu'alors connu. Malgré cela, une des parties a perdu. L'Union Soviétique s'est désintégrée, célébrant le triomphe du "monde libre". Il est difficile de dire si le XXI^e siècle sera aussi belliqueux. D'un côté il semble que les dirigeants et les opinions publiques craignent désormais les guerres. Nous pouvons citer quatre exemples illustrant cette tendance : ni Staline, ni Kroutchev n'ont mis leurs menaces à exécution à Berlin. Truman a limogé Mac Arthur quand il a voulu poursuivre sa bataille contre la Chine. Kennedy et Kroutchev ont trouvé une issue à la crise de Cuba. Enfin, les Russes et les Chinois ont su arrêter leurs incidents frontaliers sur l'Oussouri. D'un autre côté, on ne peut s'empêcher de penser que la majorité des crises depuis la deuxième guerre mondiale aurait pu dégénérer en un conflit armé au moins local, sinon généralisé. La guerre des Malouines est là pour nous le rappeler. C'est pourquoi, la prospective stratégique, pour la prévision des crises est devenue un tel enjeu. Il est probable que le déploiement préalable d'unités armées aux Malouines et au Koweït aurait tout changé. L'Amiral Merlo résume cela en disant : "Prévenir pour ne pas avoir à combattre, ou pouvoir éteindre très vite les premières flammes, grâce aux renseignements et à leur juste appréciation en temps utile". Cette détection est d'autant plus indispensable que la menace nucléaire subit depuis une dizaine d'années une mutation radicale. Jusqu'à la fin de la guerre froide, le club des puissances nucléaires était fréquenté par des membres très respectables, tous membres de surcroît du Conseil de Sécurité des Nations Unies. Or, l'effondrement du Pacte de Varsovie a précipité la dissémination de la menace nucléaire, la mettant à la portée d'Etats instables ou source du terrorisme internationale, qui n'auraient, peut-être pas le même discernement que les grandes puissances nucléaires, en cas de crise majeure.

La menace nucléaire nouvellement polymorphe est accompagnée d'autres nouvelles menaces, certes de moindre intensité, mais dont chacune justifie à elle seule les efforts faits dans le domaine du renseignement et de la prospective stratégique. Le projet DANA participe à cet effort de détermination des situations imprévisibles. La prospective appliquée aux relations internationales est un moyen de cerner, au moins dans les zones où les intérêts nationaux sont réels, quels sont les facteurs dont il conviendrait de suivre l'évolution. Renseignement et Prospective sont aujourd'hui fortement liés. L'utilisation de technologies informatiques

avancées renforce les capacités de détection des conflits. Cette capacité nouvelle, devant en retour orienter l'évolution de l'outil de renseignement.

Si Renseignement et Prospectives sont indissociables, la modélisation, la simulation et les technologies informatiques avancées, leurs sont de plus en plus étroitement associées. Devant l'évolution de la situation mondiale et des nouvelles menaces, nous sommes obligés de mettre en œuvre de plus en plus de moyens pointus. Nous savons qu'un processus de prévision ou de prospective est un processus complexe. Ce processus s'articule en trois phases. La première consiste à modéliser le phénomène étudié. Il s'agit d'explorer les faits, passés et présents, de les analyser, mais aussi de faire des suppositions quand ils ne sont pas parfaitement connus. Le choix du mode de représentation des connaissances est crucial. La méthode choisie doit être la plus neutre vis à vis de la réalité, mais, doit cependant, garantir au modélisateur qu'elle portera le plus de sens possible. Dans la deuxième phase, nous réalisons les simulations afin d'explorer un grand nombre d'évolutions possibles. Les remarques faites sur la première phase sont valables lors du choix du mode de simulation. Enfin, la troisième phase consiste à retenir parmi les nombreuses alternatives fournies par les simulations, celles qui fourniront les scénarios les plus réalistes sinon les plus probables. Le caractère hautement complexe des systèmes modélisés, et simulés, tendrait à nous faire penser que toute activité de prévision à moyen ou long terme est présomptueuse. Pourtant, certains systèmes réputés très complexes et résistant aux prévisions, comme les mouvements atmosphériques, font aujourd'hui l'objet de prévisions fiables à moyen terme. Il existe une limite nette dans la capacité de toute méthode formelle, et de toute technologie informatique, dans leurs capacités à prévoir, mais également à expliquer les conflits. Cette limite de notre connaissance du système, Gilles Cohen-Tannoudji l'appelle "horizon". L'analyse de l'expert humain permet de repousser quelque peu cet horizon. Cependant, nous savons que les systèmes très complexes sont résistants à l'analyse au-delà d'un certain degré de précision. La nature complexe d'une situation conflictuelle internationale est incontestable. Or, L'Ingénieur en Chef de l'Armement Michel Baron, caractérise une situation complexe par un très grand nombre d'acteurs interagissant entre eux. Selon lui, la seule manière de ne pas être débordé par une situation complexe, c'est d'y opposer une structure de degré de complexité supérieur. Nous parlons ici de complexité organisée au sens de Charles Bennett. Ainsi, les choix du mode de représentation, du mode de simulation et du mode d'interprétation doivent répondre à des critères de complexité similaires. Même, si à chaque étape, en particulier lors de la modélisation, on consent à des simplifications vis à

vis de la réalité, le cycle illustré par la figure 1 : modélisation \Leftrightarrow simulation \Leftrightarrow interprétation \Leftrightarrow correction du modèle, doit permettre, dans sa globalité, d'approcher le même niveau de complexité, si l'on veut espérer comprendre l'arrivée du conflit armé. En l'état actuel de nos connaissances en polémologie et de la technologie informatique, aucune étape du cycle n'est dissociable des autres.

Conclusion

Poser la bonne question est généralement plus important que d'avoir la bonne réponse à une question mal posée.

Alvin Toffler

Poser de grandes questions c'est risquer de se tromper ; Ne pas le poser du tout, c'est paralyser l'intelligence.

George Steiner

De nombreuses améliorations et mises au point sont encore à venir. En particulier l'intégration d'un nouveau contrôleur flou, mais également l'introduction d'éléments liés à la "deuxième possibilité" évoquée dans l'introduction de cet article. Il s'agit de donner du "volume" au modèle.

Les premiers résultats sont très encourageants. Pourtant, l'interprétation des résultats reste limitée par le manque de finesse des valeurs obtenues. Ainsi, même lorsque nous tendons dans le simulateur vers le déclenchement d'une crise, les facteurs précis, poussant à l'engagement des forces armées, restent en partie cachés dans la somme des acteurs et agents de la simulation. Cependant, dans leur globalité, ces résultats nous apportent une image explicative relativement précise des différents facteurs des conflits modernes.

Cette simulation utilise des agents qui interagissent en fonction de règles de comportement qui dépendent entièrement de l'appréciation du modélisateur. Ce dernier, même s'il s'est imposé une rigueur scientifique, a dû cependant minimiser les aspects "humains" des relations entre les différents acteurs. Ainsi, lorsque nous observons dans le simulateur le déclenchement d'un conflit, nous savons que certains agents ne sont pas intervenus tout à fait comme dans le monde réel. Le simulateur ne nous fournit aucun renseignement sur les causes "humaines" d'un conflit. Pour simplifier nous pouvons dire que la somme des interactions est bonne mais

le détail reste imprécis. La raison en est simple. Tout notre modèle est basé sur des liens entre des concepts abstraits. Il ne peut donc s'interpréter que par rapport aux interactions. C'est pour cela que nous n'utilisons pas la dynamique d'un agent isolé dans la compréhension de la simulation. Nous fixons la résolution minimale d'interprétation aux interactions entre au moins trois agents.

De nombreux livres présentent les conflits en fonction de leur époque, des belligérants ou encore des raisons politiques. Leur intérêt est indéniable lorsque l'on souhaite faire une étude après coup d'une crise. Cependant le nouvel environnement stratégique international oblige les États à prévoir les risques qui potentiellement mettront en péril leurs intérêts économiques, politiques ou encore humains. C'est dans cette optique que s'inscrivent nos travaux de prospective : donner une appréciation précise des causes d'une crise, pouvant dégénérer en conflit armé.

Les conflits modernes ont de nouveau tendance à tendre vers le principe des conquêtes territoriales étatiques, (les conflits de notre fin de siècle en sont les exemples les plus tangibles). Ce concept, qui tout au long de la guerre froide fut abandonné au profit de la conquête idéologique, est de retour dans le fonctionnement des relations entre Etats. En conséquence, la bipolarité Est-Ouest, qui était un facteur de stabilité, a fait place à une situation où l'instabilité redevient la norme de la situation internationale, et où le principe "d'agir", souvent par des actes terroristes, devra être toujours suivi d'effets spectaculaires, de crainte de ne plus être crédible auprès d'agitateurs de toutes sortes. Ainsi, ces travaux de simulation veulent apporter une marge de manœuvre supplémentaire aux décideurs en leur fournissant un aperçu des risques de crises en gestation. Enfin, en ouvrant ce travail à d'autres champs d'étude, aux ajustements près inhérents aux domaines d'application, il apparaît possible de simuler de la même manière d'autres domaines où la "tendance" prime sur des valeurs exactes statiques.

Remerciements

La réalisation de ces travaux a été grandement facilitée par la collaboration que nous entretenons avec le Laboratoire d'Informatique Industrielle de l'ENIB. Nous remercions particulièrement Jacques Tisseau, Patrick Reignier et Fabrice Harrouet.

Bibliographie

Bouthoul, Gaston (1991) *Traité de Polémologie : sociologie des guerres*, Payot, 559p.

Guillaume, Gilbert (1994) *Les grandes crises internationales et le droit*, Collection Essais, N°293, Du Seuil.

Toffler, Alvin (1996), *Guerres et contre-guerres*, Collection Pluriel, Fayard, 431p.

Van Creveld, Martin (1998) *La transformation de la guerre*, Du Rocher, 314p.

Godet, Michel (1997), *Manuel de Prospective Stratégique*, Dunod, 359p, 1997.

Godet, Michel (1985) *Prospective et Planification Stratégique*, CPE, 335p.

Amiral Lanxade, Jacques (janvier 1994) *Capacités futures de nos armées*, Revue L'Armement, DGA.

Amiral Merlo, Marc (décembre 1993) *Les conflits futurs : perspectives et prospective*, Revue L'Armement, DGA.

Le Grand Rabbin Sirat, R.S. (août 1995) *Les conflits et la guerre*, Revue L'Armement, DGA.

Le Père Duquoc, Ch. (août 1995) *Violences et conflits selon la doctrine catholique*, Revue L'Armement, DGA.

Raufer, Xavier (décembre 1994) *Menaces nouvelles : de niveau stratégique, mais pas forcément militaires*, Revue L'Armement, DGA.

Vors, Bernard (février 1994) *La modélisation*, Revue L'Armement, DGA.

Crémieux, Alain (juillet 1994) *La gestion des incertitudes, prospective et chaos déterministe*, Revue L'Armement, DGA.

SLT Berte, J.V. (1996) *Les opérations de renseignement britanniques dans le conflit des Malouines*, Coëtquidan.

SLT Boufenghour, T. (1997) *La gestion de l'opinion publique pendant la guerre des Malouines*, Coëtquidan.

SLT Delaunay, A. (1996) *Perception et gestion de la menace argentine par les britanniques dans le conflit des Malouines*, Coëtquidan.

Harrouet, F. (1998) *La Réalité Virtuelle pour le prototypage interactif*, Rapport technique Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest/LI2.

Rodin, S. , Morvan, S. , & Nédélec, A. (1998) A Distributed Virtual Reality Toolkit Based on an Oriented Multi-Agents Language, Actes de PDPTA '98, Las Vegas, USA.

Harrouet, F. , Cozien, R. , Reignier, P. , Tisseau, J. (1997) Une plate-forme de simulation pour Agents Réactifs, JFIADSMA.

Cozien, R. , Tisseau, R. , Harrouet, F. (1995) Simulations Multi-Agents Flous d'une colonie d'insectes, Rochebrune.

Cohen-Tannoudji, Gilles (1995) Les constantes universelles, collection Questions de sciences, Hachette, 142p.

Delahaye, J.P. , (août 1991) Complexité – La profondeur logique selon C. Bennett, Pour La Science, N°166.

CONFLITS DES INTERPRETATIONS COGNITIVES DU COMPORTEMENT AUTISTIQUE

Guillaume DEFFUANT¹ & Fabienne DE GAULEJAC²

¹ Cemagref

Parc de Tourvois

92 185 Antony

Tel : +33 (0)1 40 96 62 59

Fax : +33 (0)1 40 96 60 80

E-mail : guillaume.deffuant@cemagref.fr

² C.E.R.P.P.

Université Toulouse – Le Mirail

31058 Toulouse cedex

Tel : +33 (0)5 61 50 37 38

Fax : +33 (0)5 61 50 37 45

E-mail : degaulej@univ-tlse2.fr

Selon la définition du sens commun, l'interprétation consiste en l'attribution d'une significations aux phénomènes qui en sont dépourvus *a priori*. Or il semble qu'un des problèmes majeurs rencontrés par les personnes atteintes de syndromes autistiques consiste précisément en une différence d'attribution de significations aux perceptions. Elles voient, entendent, sentent, touchent... comme nous mais, de toute évidence, leur cerveau interprète différemment ces stimulations sensorielles. Source d'incompréhension de notre part, ce défaut d'attribution d'une signification 'normale' aux stimuli environnementaux conduit généralement à une définition de ce mode de fonctionnement psychologique comme pathologique. La classification internationale des maladies (DSM-IV, 1994) parle ainsi d'« *altérations qualitatives* », accompagnant souvent un développement psychologique ralenti. Il semble donc que les autistes et les personnes normales présentent un conflit d'interprétation des stimulations sensorielles.

Les scientifiques tentent de donner des interprétations de ce conflit d'interprétations. Cependant, selon leur point de vue, notamment selon leur vision du fonctionnement cognitif, leurs interprétations peuvent-elles aussi être conflictuelles. Cet article tente d'explicitier les différentes interprétations du comportement des autistes, et de mettre à jour les conflits de ces interprétations. Nous nous appuyons sur un corpus d'observations faites sur les personnes autistes dans leur rapport au monde physique ainsi qu'aux personnes humaines, et sur les interprétations de ces comportements. Nous formulons enfin une proposition de nouvelle direction pour interpréter ces comportement, fondée sur la difficulté des autistes à s'identifier aux autres, à avoir une empathie pour eux .

I - COMPORTEMENTS AUTISTIQUES A L'EGARD DES OBJETS ET DES SITUATIONS

I. 1. Description de comportements types

A qui invite un enfant autiste à jouer, il apparaît rapidement une aptitude particulière pour les jeux de construction, pour peu que le matériel soit 'parlant' - c'est-à-dire que sa seule observation suffise à une utilisation convenable. Si, en revanche, le matériel ne permet pas, à lui seul, à comprendre la règle du jeu, l'enfant autiste recherchera malgré tout un centre d'intérêt perceptif ; par exemple en empilant ou en alignant les objets quels qu'ils soient.

Dans la vie quotidienne de ces enfants, il est également fréquent de constater des élaborations d'associations non pertinentes pour la cognition normale : un pull-over rouge porté à l'occasion d'une semaine de vacances passée à la montagne deviendra automatiquement signe de promenades en montagne ; un sac de paille utilisé pour les courses ne signifiera rien d'autre qu'une sortie au marché (Peeters, 1996). L'objet ici ne dit donc pas à l'enfant ce qu'il doit être (un vêtement, un contenant) quelles que soient les circonstances, mais est associé à des circonstances particulières et ne peut prendre d'autre sens que celui qui lui a été attribué par associations concrètes de perceptions.

Il n'échappe pas d'avantage à qui côtoie des personnes autistes leur impérieuse nécessité de structurer l'espace et le temps de façon relativement rigide. Dès lors, puisque l'enfant autiste accorde une signification idiosyncrasique - parce que perceptive - non seulement aux objets, mais également à l'espace et au temps, il n'est pas rare d'observer des troubles du comportement s'il est, un jour, habillé dans la chambre, le lendemain dans la salle de bain ; si on le fait, un jour, manger dans la cuisine à une heure donnée, un autre dans le séjour à une heure différente. Il semble se heurter à une sorte d'imprévisibilité qui ne nous dérange habituellement pas mais à cause de laquelle il ne peut visiblement pas comprendre le comportement qu'il convient de faire dans tel ou tel lieu, à tel ou tel moment.

Dans le cadre de certaines expériences sur la mémoire, différentes séries de mots ont été présentées à trois groupes d'enfants de même âge développemental (enfants normaux, déficients mentaux et autistes). Conformément aux résultats escomptés compte tenu de leur âge développemental (5 ans), lorsque les mots étaient issus d'une série arbitraire (ex : maison, cheval, voiture, pomme, livre...), les différents groupes d'enfants obtenaient des scores similaires. En revanche, lorsque les mots proposés étaient reliés par le sens (ex : poire, pomme, raisin, banane, voiture, car, avion, bateau...), seuls les enfants normaux et déficients rattachaient leur perception à un concept ; l'ajout de sens les aidant considérablement à organiser et à

mémoriser les items. *A contrario*, cet ajout de sens à la situation défavorisait les enfants autistes dont les performances ne différaient pas de la situation précédente.

Ainsi pense-t-on généralement que la majorité des personnes atteintes d'autisme ne peuvent percevoir les rapports logiques entre les choses et ont ainsi l'impression que leur vie est dominée par le hasard, l'imprévu ; qu'elles n'ont aucune prise sur elle, d'où un besoin fort compréhensible de points de repères stables et immuables devant leur permettre de lever la confusion et l'incertitude.

I. 2. Interprétations multiples de ces comportements

Force est de reconnaître que ce type de conduites nous semble, en première analyse, parfois incohérent, souvent aberrant, toujours insolite. Diverses interprétations peuvent en être proposées, lesquelles diffèrent par le point de vue auquel elles font référence :

(a) celui de la *psychologie cognitive*, impliquant une définition du sujet comme Système de Traitement de l'Information (STI) capable de représentations du monde réel. Ces représentations mentales sont assimilées aux éléments d'un système formel auxquels la dynamique de l'esprit attribue un relief interprétatif.

(b) celui de la *psycho-éthologie* qui interroge la conception de la cognition comme représentation d'un monde extérieur prédéterminé *via* l'activité d'une unité centrale de traitement contrôlant le fonctionnement du système cognitif. Dans son sens circulaire de lien entre action et savoir, l'interprétation est ici abordée à partir du concept d'action, et d'attribution de valence (?).

I. 2.1. La thèse cognitiviste

La théorie de l'information sert souvent de cadre de référence à l'étude des processus psychologiques autorisant une connaissance conceptuelle du monde physique. Concevant un modèle informatique de la pensée humaine, le paradigme du STI suppose une certaine architecture fonctionnelle. Pour produire un résultat à partir d'entrées données, le système cognitif comporte nécessairement trois composantes en interaction : une unité assurant l'interface avec l'environnement, une unité de calcul et une unité de stockage (cf. par exemple Le Moigne & Demailly, 1986 ; Hoc & Nguyen-Xuan, 1987). En d'autres termes, le système cognitif humain serait caractérisé par des états internes ou représentations formulées dans un langage interne et par des processus reliant ces états (Andler, 1992).

I. 2.1.1. L'étape de la perception

Si l'organisme est en permanence bombardé par une multitude de stimuli, tous ne sont pas transformés en *sensations* car, dès cette première étape, des processus neurologiques complexes modulent leur intensité, inhibant les uns, amplifiant les autres (neuromodulation sensorielle). La sensation se transforme alors en *perception*. Tous les stimuli sensoriels provenant d'un objet sont analysés (couleur, forme, poids, texture, odeur), synthétisés et attribués à cet objet. En ce sens, la perception est comprise comme l'ouverture sur un monde d'objets extérieurs indépendants du sujet.

Les troubles du traitement des messages sensoriels des autistes se caractériseraient initialement par un dysfonctionnement de la modulation sensorielle (hypo ou hyper réactivité aux stimuli) se traduisant par une inhibition massive (comportements d'évitement) ou, au contraire, par une surstimulation (comportements de recherche de la stimulation), mais aussi par une appétence spécifique pour certaines formes de stimulations, voire une création de stimulations spécifiques et enfin, par des réponses anormales à des stimulations ordinaires (Rogé, 1995). Tous les domaines sensoriels (extéro, intéro et proprioception) peuvent être concernés. Ces troubles autistiques ne semblent pas provenir d'une privation sensorielle - très peu de sujets ayant des déficiences sensorielles ajoutées - mais davantage d'un dysfonctionnement (Rogé, 1995). Certains auteurs insistent sur l'hypothèse d'une dominance sensorielle (Goldfarb, 1956, 1961 ; Schopler, 1965, 1966) ; les récepteurs proximaux (toucher, goût, odorat) étant supérieurs aux récepteurs distaux (vision, audition). Pour d'autres, le problème se situerait plutôt au niveau de la sélectivité des stimuli (Lovaas et Schreibman, 1971) ou des fluctuations perceptives (Ornitz & Ritvo, 1968).

L'approche de type traitement de l'information amène donc à postuler des dysfonctionnements dès les étapes initiales du traitement, qui expliqueraient les comportements jugés déviants des autistes

I. 2.1.2. Les étapes supérieures du traitement de l'information

Dans la vision cognitiviste, le rôle du traitement de l'information est de construire des représentations (des concepts) appropriées à partir des sensations, en extrayant des traits pertinents de ces sensations. Le processus permettant d'extraire ces différents critères est souvent considéré comme inné dans cette vision de la cognition, et présenté comme du codage (un code commun est associé à toutes les sensations correspondant au même concept). Si l'on adhère à cette vision des choses, le comportement des autistes peut également être

considéré comme résultant de dysfonctionnements de cette étape d'élaboration conceptuelle à partir de la diversité sensorielle.

Différents auteurs proposent des interprétations dans cette direction. Pour Peeters, par exemple, « *le sens, le fait d'aller plus loin que la perception, est le problème principal de l'autisme.* » (Peeters, 1996). Selon Hermelin (1978), « *leur incapacité à pouvoir discerner l'important du superflu dans le monde environnant semble être le principal de leurs problèmes, ce qui a pour conséquence qu'ils s'accrochent à des schémas comportementaux qui sont de moins en moins applicables à mesure qu'un besoin de codes plus complexes et plus flexibles se fait ressentir* ».

Dans ce contexte, c'est bien un défaut de traitement de l'information permettant d'extraire les traits pertinents à partir de la diversité sensorielle qui est évoqué. Cette approche permet de rendre compte des comportements autistiques présentés : les associations déviantes (pull rouge avec la promenade, sac de paille et marché) mais aussi l'absence d'associations qui devraient exister (dans le test de mémorisation de suites de mots). En effet, le codage étant déficient, des catégories déviantes apparaissent, tandis que des catégories normales sont absentes.

I. 2.2. La perception comme constitution d'invariants sensori-moteurs associés à des valeurs (affordances, prégnances)

L'analyse intuitive de la perception de ce que nous nommons généralement « objet » suppose que l'univers est doté de certaines caractéristiques qui lui sont propres et sont indépendantes de nous. Les données sensorielles nous portent à croire que le monde nous fournit des informations qui sont traitées par le cerveau. Certains auteurs (von Foerster, 1974 ; Lewontin, 1978 ; Gould & Lewontin, 1982 ; Gallo, 1988 ; Bouveresse, 1988 ; Varela, 1989a, 1989b ; Morin, 1991 ; Varela et al., 1993) remettent cependant en question cette hypothèse en arguant que ce sont les gens et non leurs yeux qui voient. Comme les caméras, les yeux sont aveugles. Assimiler stimuli environnementaux et événements vécus par le sujet est une substitution abusive. Le vécu doit être compris, non comme un simple filtre plus ou moins fidèle de la réalité extérieure, mais plutôt comme une construction active du sujet (Bernstein, 1969, 1979). Dans ce contexte, la perception ne serait pas la saisie de caractéristiques intrinsèques de l'environnement. L'organisme n'extrairait pas la distance, la constance de taille ou de forme, la couleur... des caractéristiques de l'environnement mais il engendrait les éléments perçus : « *Les événements informationnels n'ont pas de qualité substantive, ce ne sont pas des phénomènes qui existent à l'extérieur de nous, ils sont littéralement in-formati, c'est-à-dire formés à l'intérieur* » (Varela, 1989b). Ainsi tout ce qui semble constituer un échange d'informations avec l'environnement pourrait n'être traité que comme

des « perturbations » affectant la stabilité du système et conduisant à une transformation de son état. « *La perception sensorielle ne peut pas être comprise comme un processus n'ayant que des entrées. La perception et l'action ne peuvent pas être séparées (...). Percevoir équivaut à construire des invariants par un couplage sensori-moteur. (...). Par la clôture du système nerveux, le bruit en provenance de l'environnement devient objet* » (Varela, 1989b).

Le point essentiel de démarcation entre la thèse gibsonienne et celle de la Gestalt Psychologie ou de la théorie de l'Umwelt de von Uexküll réside dans le fait que, pour ces dernières, il existerait autant de réalités que de significations attachées à un même objet. En d'autres termes, la signification d'un objet pourrait être radicalement modifiée si le besoin de celui qui l'utilise change. Pour Koffka (1935), c'est l'objet phénoménal qui possède une valence en relation avec les besoins du sujet (forme de subjectivité) et non pas l'objet physique.

Nous proposons de synthétiser les thèses de ces chercheurs sur la perception de la manière suivante :

- les objets sont considérés comme des invariants sensori-moteurs. La perception advient dans une boucle entre action et sensation, lorsque les anticipations sur les sensations se stabilisent.
- A ces invariants sont associées des significations (affordances, valences ou prégnances) dont la valeur (intensité) peut varier selon différents gradients (du plaisir à la douleur, de la nouveauté à la familiarité...). L'espace des objets formerait ainsi des *plis de sens* (Merleau-Ponty, 1987) plus ou moins volumineux et serait vécu comme une mosaïque de significations. Grâce à un processus dynamique d'investissement, de construction et de circulation de prégnances, ces significations auraient la propriété de se transmettre par similarité ou proximité temporelle, et permettre ainsi des associations, pouvant être utilisées par la mémoire.

Dans ce contexte, il est possible d'envisager que l'autisme puisse consister en un mode spécifique de relation au monde, caractérisé par la production d'affordances multiples, instables, fonction de l'état psychophysique du sujet et de ses investissements préalables du contexte (espace-temps) dans lequel sont présentés les stimuli (en fait, des perturbations). En ce sens, les conséquences d'une altération (par exemple une lésion) pourraient ne pas se réduire à une simple soustraction fonctionnelle ; les réactions phénotypiques caractéristiques des troubles autistiques résultant d'un style cognitif original. Selon Wallon (1941), ces réactions pourraient être celles que la lésion permet de "libérer".

De par ce mouvement subjectif dont le résultat ne peut être qu'idiosyncrasique, il n'est pas surprenant d'observer des cas où le

comportement appliqué à un objet peut sembler aberrant à l'observateur extérieur : c'est que la signification de l'objet et celle du lieu dans lequel il se trouve (ou du moment auquel il est utilisé) peuvent ne pas correspondre. Le fait de manger, puis de jouer, puis encore de travailler à la même table peut se traduire par une activité ludique avec la nourriture dans l'espace loisirs ou des tentatives de consommation des jouets dans la cuisine. Cette distinction entre l'affordance des choses et celles de l'espace qui peut les contenir rend subtile la genèse et la circulation des affordances : ainsi (a) l'objet neutre (non investi par l'enfant) peut ne pas avoir d'affordance et recevoir celle du lieu où il est placé ou y résister par ses caractères physiques contraignants ; (b) les affordances se modifient en fonction de l'état du sujet : le même objet ou le même lieu peuvent changer d'affordance.

1.2.3. Analyse

L'interprétation proposée par la thèse de la « perception active » semble plus précise que celle du traitement de l'information. En effet, le mécanisme mis en cause (attribution des affordances) semble mieux circonscrit que celui du codage. Elle présente également l'avantage de fournir une interprétation plausible des comportements en apparence aberrants ou simplement surprenant exprimés par les personnes autistes dans certains contextes en relevant leur cohérence interne. En ce sens, elle ne se contente pas du simple constat de l'inadéquation entre leurs conduites et celles tout venant mais propose des hypothèses explicatives alternatives.

On le voit, ces interprétations - qui correspondent à des visions de la cognition très différentes - donnent naturellement des interprétations des comportements autistiques très éloignées.

II - COMPORTEMENT AUTISTIQUE A L'EGARD DES AUTRES PERSONNES

II. 1. Description de comportements typiques

Très tôt au cours de l'ontogenèse, les enfants normaux ont une intuition sociale qui leur permet de préférer un visage humain à des objets et leur permet d'interpréter les expressions faciales de leurs parents. Malgré les différents handicaps dont ils peuvent être atteints (surdité, cécité, déficit mental, dysphasies...), certains enfants ne semblent pas présenter plus de difficultés pour ajouter un sens à leurs perceptions sociales et n'éprouvent aucun problème à interpréter le comportement social. Ils saisissent rapidement et efficacement l'expression des sentiments humains.

Il en va tout autrement chez les personnes autistes. Un exemple très parlant consiste en la scène du film « *Rain Man* », au cours de laquelle la fiancée

du frère de l'autiste embrasse ce dernier dans l'ascenseur de l'hôtel et lui demande « *comment c'était ?* » ; et l'autiste de lui répondre : « *mouillé* ». D'un point de vue perceptif, il a raison ! Mais il ne parvient pas à déceler la signification sociale du geste, le sentiment caché derrière l'aspect 'mouillé' du baiser. En d'autres termes, il ne parvient pas à rajouter du sens à ce qu'il perçoit concrètement.

Les illustrations de ce type abondent : déprimée par la situation de son fils autiste, une maman éclate en sanglot et pleure longuement. Assistant à la scène, son fils se met à rire aux éclats. « *Il se moque de moi* » pense-t-elle. En fait, du point de vue strictement perceptif, dénué de sens, ce visage inondé peut sembler hilarant.

Une série d'expériences réalisées sur des enfants normaux, déficients mentaux et autistes de même âge mental (5 ans) semble confirmer la faculté limitée des autistes à donner du sens expressions faciales et aux gestes de leur entourage.

Alors qu'ils parviennent, comme les autres, à ordonner les différentes images d'une histoire lorsque celle-ci implique un objet (histoire de type mécanique) ou l'activité d'une personne (histoire de type behaviouriste), ils échouent à classer les images d'une histoire concernant l'état mental d'une personne (histoire de type mentaliste). Dans le premier cas, les histoires peuvent être comprises dans faire appel à l'état mental. Ce qui est dessiné existe bel et bien. En revanche, dans le dernier cas, il est nécessaire, pour comprendre l'histoire, d'attribuer une émotion (ici la surprise) à un personnage.

De la même façon, alors que les enfants autistes utilisent les gestes instrumentaux aussi souvent que les deux autres groupes d'enfants, ils demeurent incapables d'utiliser et de comprendre les gestes expressifs. Les premiers sont des gestes iconiques, c'est-à-dire présentant un rapport visible entre le symbole et sa signification ; à l'inverse les seconds expriment des sentiments, des émotions, des humeurs complexes. Le bras qui entoure les épaules pour signifier l'amitié, par exemple, est très arbitraire. Le sens est ici détaché de la perception et doit être déduit. Pour quelqu'un qui ne dépasse pas le stade littéral, il ne représente qu'un mouvement circulaire du bras et de la main. Pourquoi, dans un contexte, ce geste signifierait-il « consoler », dans un autre « nettoyer » ?

De nombreuses autres expériences ont également porté sur la manière spécifique dont les autistes comprennent et interprètent, dans l'interaction, le comportement d'autrui. Le fait qu'ils aient de grandes difficultés à attribuer des croyances et des intentions est notamment attesté par de nombreux travaux

comparant le comportement d'un groupe d'autistes à ceux d'un groupe d'enfants normaux et d'un groupe d'enfants attardés mais non autistes (Baron-Cohen et al, 1985 ; Baron-Cohen, 1991). L'exemple de la fausse croyance par exemple a été répété de nombreuses fois.

II. 2. Interprétations multiples de ces comportements

II.2.1. Utilisation des interprétations précédentes

Les interprétations des comportements autistiques décrits en première partie peuvent naturellement être utilisées :

- Dans le cadre du traitement de l'information, les signes donnés par les interlocuteurs sont traités et catégorisés, en fonction de leur signification, en termes de d'expression de joie, de plaisir, de croyances... Les déficiences, dans ce domaine, ne sont donc qu'une conséquence de déficiences observées sur les catégorisations des objets.
- Un raisonnement similaire peut être effectué dans le cadre de la thèse « sensori-motrice et prégnances » : les prégnances associées aux expressions sont d'un type particulier, inaccessible aux autistes qui ne peuvent donc pas les associer aux perceptions correspondantes.

Dans un cas comme dans l'autre, la perception des significations sociales est dépendante de la perception des significations non-sociales. Ce point de vue s'inscrit dans la lignée de l'individualisme méthodologique dominant les sciences de la cognition. Dans ce cadre, le social émerge à partir de la composition des comportements individuels. La perception du social est donc un cas particulier de la perception (individuelle) des objets.

II.2.2. Interprétation alternative

Nous proposons d'explorer une interprétation différente qui inverse la perspective : la perception du monde (et donc des objets) serait principalement conditionnée, chez l'homme, par l'influence sociale.

Dès lors, l'incapacité (ou la grande difficulté) des autistes à attribuer des états mentaux aux autres ou à eux mêmes ; difficulté interprétée par nombre de chercheurs comme une absence de théorie de l'esprit (Baron-Cohen, 1991), prend une importance première. Elle passe du statut de conséquence (d'un trouble du traitement de l'information ou de l'attribution de prégnances), à celui de cause des troubles étudiés dans la première partie.

Cette thèse peut paraître pour le moins audacieuse à qui est naturellement enclin à l'individualisme méthodologique ambiant. Elle présente cependant des arguments en sa faveur. Mais il nous faut d'abord présenter un modèle cognitif

général compatible avec cette thèse, puis examiner comment ce modèle mène à de nouvelles interprétations des comportements autistiques. Il fera intervenir de manière centrale le concept d'empathie ; concept éminemment liée à l'attribution d'intentions ou d'états mentaux.

La paternité du terme empathie est souvent attribuée à Lipps à la fin du siècle dernier. L'empathie est la capacité de s'identifier à l'autre (en général partiellement), c'est-à-dire de lui attribuer des intentions, des craintes et des désirs... et les ressentir partiellement. Cette faculté repose donc sur la capacité de se construire un modèle de l'autre, dépendant des indices de son comportement et de ce qu'il veut bien, éventuellement, en dire. L'individu empathique est donc incomplet par définition, puisqu'il se transforme profondément dans l'interaction avec les autres ou même par l'imagination de cette interaction.

Le comportement de l'homme en société n'est donc pas régi par le plaisir et la douleur immédiats de ses sens, mais par celui qu'il attribue à l'ensemble des êtres pour lesquels il forme une empathie. Ces plaisirs ou douleurs sont donc (en grande partie) indirects et peuvent mener à des comportements contraires à ceux qui correspondraient à ses plaisirs ou douleurs immédiats. De même, comme le souligne Smith dans « *Theory of the Moral Sentiments* » (1759), la richesse au delà d'un certain seuil n'apporte plus véritablement de plaisir direct des sens. En revanche, elle peut devenir formidablement désirable par empathie du désir des autres pour cette richesse. En s'appuyant sur des raisonnements de ce type, Smith propose de considérer l'empathie (qu'il nomme sympathie) comme le mécanisme fondamental des interactions sociales.

Considérons à présent la dichotomie cognitive entre le monde des objets et celui des sujets intentionnels ou empathiques : d'un côté un monde d'objets et de systèmes simples, physiques, dont il s'agit de prévoir l'évolution à partir de divers indices manifestes et de comportements mémorisés; de l'autre, un monde de systèmes intentionnels en interaction (les hommes et les animaux) qui possèdent chacun un monde propre et dont on peut anticiper les réactions en essayant d'en comprendre les intentions et les perceptions. Soulignée au début du siècle par Lipps (Sawiki, 1997), cette distinction entre objets inanimés et objets vivants est également invoquée par d'autres chercheurs en sciences cognitives (cf. par exemple, Sperber, 1997). Le point important est que le deuxième type d'objet donne lieu à une figure de type « poupée russe », avec des emboîtements successifs, correspondant à de l'empathie pour des individus empathiques : le monde de l'individu peut lui aussi contenir le modèle du monde d'autres individus. Cette figure est évidemment formellement la même que celle des représentations emboîtées des cognitivistes. La différence essentielle (cf. Deffuant, 1996 pour un examen de la question) est qu'à chaque emboîtement empathique, il s'agit d'une vision du monde d'un certain point de vue qui est

intégrée alors que les représentations sont généralement partielles. Au lieu d'un éclatement en représentations fragmentées, c'est à chaque niveau une cohérence globale du monde qui se joue, dans laquelle le sujet initial est d'ailleurs lui-même partie prenante, souvent à plusieurs niveaux.

A la lumière de cette distinction nous proposons d'interpréter la dichotomie proposée par G. Edelman (Edelman, 1992), entre un système cognitif primaire et un système cognitif d'ordre supérieur. Notre proposition de modèle cognitif sera donc constituée de deux sous-systèmes en interaction constante :

- le système cognitif primaire (extension de la conscience primaire de Edelman) correspond à la description de la perception « sensori-motrice avec attribution de prégnances ». Le comportement est ici régi par l'anticipation des sensations et des prégnances associées en fonction des actions projetées.
- Le système cognitif d'ordre supérieur (cf. conscience d'ordre supérieur chez Edelman), fondé sur la capacité d'empathie (et de langage), produit des anticipations sur les comportements et intentions de systèmes intentionnels ou empathiques et permet de choisir des actions recherchant des récompenses ou évitant les sanctions (directes ou empathiques). Mais s'arrêter à cette capacité d'anticipation et de choix des actions adéquates ferait manquer l'essentiel : *c'est l'empathie pour le regard de l'autre qui donne au sujet son existence sociale, et qui fonde ensuite l'ensemble de son comportement social (hors des impulsions du système cognitif primaire)*. C'est en effet par empathie pour le regard de l'autre que le sujet se voit comme être social. C'est par ce regard qu'il peut être approuvé ou réprouvé, admiré ou méprisé. Ce regard (fut-il imaginaire) fait advenir l'existence sociale. De plus, la prise en compte du monde de l'autre permet de concevoir un temps et un espace indépendants de ceux du système cognitif primaire. En effet, l'empathie pour l'autre met en évidence un temps et un point de vue sur le monde différent de la perception primaire.

Ces propositions s'inspirent de manière lointaine des thèses de Edelman. La principale différence est que, selon Edelman, la conscience d'ordre supérieur est uniquement fondée sur la capacité de langage. Pour notre part, nous privilégions la capacité d'empathie qui nous semble éclairer de nombreux phénomènes cognitifs mieux que ne le fait la capacité de langage proprement dite. Ainsi, l'empathie rend-elle mieux compte de la nécessité du regard de l'autre pour exister socialement. Une thèse proche est soutenue en psychanalyse par Kohut (1977) . C'est ce point qui provoque une divergence manifeste avec l'individualisme méthodologique dont Edelman ne s'éloigne pas. D'autre part, l'empathie permet de comprendre la possibilité de concevoir un temps extérieur, dans laquelle le sujet peut se situer, inaccessible au système cognitif primaire pour lequel seul le « présent remémoré » peut exister.

Il nous semble que cette vision de la cognition permet de renverser la perspective de l'interprétation des conduites insolites des personnes autistes. En effet, nous proposons l'hypothèse selon laquelle le comportement des autistes s'expliquerait fondamentalement par leur défaut d'empathie, leur difficulté à concevoir les emboîtements nécessaires à la conscience sociale.

Prenons par exemple la vision du temps, qui semble être fondamentalement différente chez les autistes. Dans le cadre du système cognitif proposé, leur vision du temps correspondrait à celle qu'on peut attendre d'un système cognitif primaire : structurée par la fenêtre du « présent remémoré ». Les événements sont reliés entre eux uniquement à l'intérieur de cette fenêtre. C'est ainsi que peut s'expliquer une fragmentation rigide du temps : il s'agit de fenêtres de temps, indépendantes les unes des autres. Pour sortir de cette « prison » du présent remémoré, il est nécessaire de concevoir un point de vue externe à la conscience primaire, qui permette de relier entre eux les différents épisodes. Ce point de vue n'est pas accessible sans empathie.

Dans de nombreuses sociétés, ces regards extérieurs sont eux-mêmes des créations sociales comme les dieux (Deffuant, à paraître). Ce point de vue externe permet au sujet de se concevoir (dans les sociétés traditionnelles notamment) comme partie d'un groupe et de concevoir un temps indépendant de lui. Il procure un accès différent aux souvenirs du système primaire et donne la possibilité de les organiser selon les schémas imposés par ce regard externe. Les autistes pourraient ne pas avoir accès à cette organisation.

Ceci nous fournit une nouvelle interprétation des observations sur les associations aberrantes faites par les personnes autistes. En effet, pour le sujet normal, le système cognitif d'ordre supérieur prend le pas sur le système cognitif primaire dans la plupart des interactions sociales. On peut faire un parallèle entre cette domination et celle du cerveau gauche. Les associations spontanées du système cognitif primaire sont canalisées (bridées) par le système cognitif supérieur et remplacées par des anticipations sociales dominées par l'empathie pour un regard externe. Il semble que ce ne soit pas le cas pour l'autiste, totalement livré aux associations socialement non structurées du système cognitif primaire.

Ainsi les objets acquièrent-ils une permanence dans un espace et un temps sociaux, extérieurs au temps primaire, et les associations qui nous paraissent pertinentes sont liées à ce temps et cet espace. Dans la mesure où l'autiste n'y aurait pas accès, n'ayant pas accès à l'empathie, ces associations lui seraient inaccessibles. Les associations produites dans la fenêtre de temps de la conscience primaire qui domineraient alors.

Cette vision différente de la cognition autorise des interprétations nouvelles, à bien des égards en conflit avec celles de points de vue plus classiques. Elle peut paraître un peu plus compliquée, mais elle offre - selon

nous - un pouvoir explicatif plus grand. En effet, les perspectives cognitiviste et « etho-biologistes » restent vagues dans leurs conclusions : un certain type de catégorisation ou d'association de prégnance fait défaut, mais il est difficile d'aller plus loin dans la description. Notre proposition postule une déficience précise, celle de la capacité d'empathie. Cette hypothèse donne ensuite une interprétation cohérente de l'ensemble des symptômes autistiques. A notre sens, elle peut ainsi ouvrir de nouvelles perspectives de recherche sur l'autisme.

CONCLUSION

Ce texte propose une interrogation sur les différentes interprétations postulées des conflits d'interprétation du monde entre les autistes et sujets normaux. Deux grands courants structurants les sciences de la cognition peuvent en effet mener à des interprétations assez différentes de l'autisme.

Pour le courant cognitiviste, se fondant sur la métaphore du traitement de l'information, l'autisme s'interprète comme une déficience du mécanisme de catégorisation ; l'autiste ne parvenant pas à coder la diversité des stimulations sensorielles en fonction de traits pertinents. C'est pourquoi ces personnes construiraient des catégories aberrantes et ne seraient pas capables de construire certaines catégories ; en particulier, les catégories leur permettant de repérer les états mentaux et les intentions des autres.

Pour le courant étho-biologiste, ce seraient plutôt les mécanismes d'attribution et de contagion des prégnances (ou d'affordances) à des invariants sensori-moteurs qui seraient en cause. Ainsi les autistes ne seraient pas capables de produire les bonnes associations, et donc d'attribuer des significations correctes aux événements. L'interprétation des comportements sociaux n'en serait qu'un cas particulier.

L'interprétation que nous proposons retourne la perspective prise dans ces deux cas. Elle privilégie le déficit d'empathie comme cause première des autres symptômes. Le point central de cette interprétation est que l'interaction empathique avec les autres est indispensable pour se construire un temps et un espace social. Elle est indispensable également pour développer une dynamique d'associations différente de celle du système cognitif primaire, qui ne peut procéder à des associations que dans la fenêtre de temps du « présent remémoré ».

A certains égards, cette dernière interprétation entre donc en conflit avec les deux premières. Actuellement, il est difficile de fournir des éléments permettant de trancher ce conflit. L'élaboration d'expériences spécifiques permettant de faire pencher la balance d'un côté ou de l'autre serait d'un très grand intérêt pour les sciences de la cognition.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andler, D., 1992. *Introduction aux science cognitives*. Paris: Folio essais.
- APA – American Psychiatric Association. 1994. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (4th ed., D.S.M. – IV). Washington DC, Author.
- Bernstein, A.S. 1969. To what does the orienting response respond ? *Psychophysiology*, 6, 338-350.
- Bernstein, A.S. 1979. The orienting response as novelty and significance detector: Reply to O’Gorman. *Psychophysiology*, 16, 263-273.
- Bouveresse, J., 1988. Ce que l’œil dit au cerveau. *Les cahiers du Muséum national d’art moderne*, 115-139.
- Bruner, J. 1974. *Beyond the information given*. London: George Allen & Unwin Ltd.
- Deffuant, G. Les modèles cognitifs à l’épreuve des formes du religieux : proposition de directions de recherche centrées sur l’empathie. A paraître dans *Intellectica*
- Dupuy, J.P. 1992. *Introduction aux sciences sociales*. Ellipses.
- Edelman, G. 1992. *Biologie de la conscience*. Odile Jacob.
- Gallo, A. 1988. Pour une approche psycho-éthologique du comportement animal. *Thèse d’état*. Université P. Sabatier, Toulouse.
- Gibson, J.J. 1979. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goldfarb, B. 1956 Receptor preferences in schizophrenic children, *Arch. Neurol.*, 76, 643-652.
- Goldfarb, B. 1961. *Childhood schizophrenia*. Cambridge: Mass. Harvard University Press.
- Gould, S.J. & Lewontin, R.C. 1982. L’adaptation biologique. *La Recherche*, 139, 13, 1494-1502.
- Hermelin, B. 1968. Images and language. IN M. RUTTER 1 E. Schopler (Eds.), *Autism, a reappraisal of concepts and treatment*. New York: Plenum Press.
- Hoc, J.M. & Nguyen-Xuan A., 1987. Les modèle informatiques de la résolution de problème. In Piaget, Mounoud & Bronckart (Eds.), *Psychologie*. Encyclopédie de la Pléiade. Paris : Gallimard, 1712-1753.
- Koffka, K. 1935. *Principles of gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace.
- Kohut. 1977. *The restauration of Self*. International University Press. New-York.
- Lemoigne, . & Demailly. 1986. *Sciences de l’intelligence, Sciences de l’artificiel*. Lyon : PUL.
- Lewontin, R.C. 1978. Adaptation. *Scientific American*, 239, 212-230.
- Lovaas, O.I. & Schreibman, C. 1971. Stimulus overselectivity of autistic children in a two stimulus situation. *Behav. Res. Ther.* , 9, 305-340.

- Morin, E. 1991. *Introduction à la pensée complexe, Communication et complexité*. Paris: ESF.
- Ornitz, E.M. & Ritvo, E.R. 1968. Perceptual inconstancy in early infantile autism. *Arch. Gen. Psychiatry*, 18, 76-98.
- Peeters, T. 1996. *L'autisme : de la compréhension à l'intervention*. Paris: Dunod, 229 p.
- Rogé, B. 1995. Les anomalies du traitement des informations sensorielles dans l'autisme : signes cliniques et hypothèses explicatives. *ARAPI, Aussois*, 5-7.
- Sawicki, M. 1997. Empathy before and after Husserl. *Philosophy today*, pp 123-127.
- Schopler, E. 1965. Early infantile autism and receptor processes, *Arch. Gen. Psychiatry*, 13, 327-335.
- Schopler, E. 1966. Visual versus tactual receptor preference in normal and schizophrenic children. *Journal of Abnormal Psychology*, 71, 108-114.
- Smith, A. 1976 [1759]. *Theory of the moral Sentiments*. D.D. Raphael and A.L. Macfie. Oxford University Press
- Sperber, D. 1997. Intuitive and Reflexive Beliefs. *Mind and Language*, vol. 12, No1, pp 67-83.
- Thinès, G. 1991. *Existence et subjectivité : études de psychologie phénoménologique*. Bruxelles: éditions de l'Université de Bruxelles.
- Thom, R. 1988. *Esquisse d'une sémiophysique : physique aristotélicienne et théorie des Catastrophes*. Paris: InterEditions.
- Varela, F.J. 1989a. *Connaître. Les sciences cognitives, tendances et perspectives*. Paris: Seuil.
- Varela, F.J. 1989b. *Autonomie et connaissance : Essai sur le vivant*. Paris: Seuil, 248 p.
- Varela, F.J., Thompson, E. & Rosch, E. 1993. *L'inscription corporelle de l'esprit, Sciences cognitives et expérience humaine*. Paris: Seuil.
- Von Foerster, H. 1974. Notes pour une épistémologie des objets vivants. In E. Morin & M. Piattelli-Palmarini (Eds.), *L'unité de l'homme*, Vol. 2. Paris: Seuil, 139-155.
- Wallon, H. 1941. *L'évolution psychologique de l'enfant*. Paris : Armand Colin.

L'activité scientifique en tant que comportement naturel ancré sur le conflit cognitif

Jean-Louis DESSALLES & Laleh GHADAKPOUR

E.N.S.T.
46 rue Barrault - 75013
Paris
dessalles@enst.fr

C.R.E.A.
1 rue Descartes
75005 Paris
laleh @poly.polytechnique.fr

Résumé

Nous proposons l'idée selon laquelle on peut décrire la génération des arguments dans les conversations quotidiennes et la formulation d'hypothèses dans l'activité scientifique selon les mêmes processus formels. Autrement dit, nous suggérons le fait que la progression des sciences ressemble, formellement, à une argumentation. Dans la recherche scientifique comme dans la conversation, il s'agit, dans une démarche collective, de mettre en évidence, puis de résoudre, ce que nous appelons un *conflit cognitif*. Nous donnons une liste restreinte de principes dont l'application récursive laisse émerger l'argumentation, qu'elle soit scientifique ou quotidienne. La mise en évidence de ce parallèle a pour conséquence une naturalisation de l'activité scientifique.

mots clés : épistémologie, conversation, conflit cognitif, conflit épistémique

1. Introduction

L'activité scientifique est généralement présentée comme une entreprise collective circonscrite dans l'espace et dans le temps. Si la portée des connaissances qu'elle produit dépasse le cadre culturel, il semble en revanche que l'activité scientifique elle-même, en tant qu'entreprise socialement instituée, soit l'invention seulement de quelques cultures. Pour des raisons maintes fois analysées, la culture occidentale a engendré la science telle que nous la connaissons, avec son système de publication, son principe de critique par les pairs, sa méthode expérimentale, ses critères de réfutabilité et de parcimonie, et ses formalismes symboliques. Même s'il faut reconnaître au théorème de Pythagore ou à la constante de Planck une validité qui transcende le cadre de la culture qui les a produits, le fait que ces connaissances aient pu être

construites dans un certain cadre socio-historique et non dans un autre est une évidence qui semble s'imposer à tout observateur qui prend un peu de recul par rapport à l'histoire des idées.

Dans ces conditions, le fait de proposer, comme nous voulons le faire ici, que l'activité scientifique ressemble étroitement, dans son fonctionnement, à l'activité qui sous-tend les conversations quotidiennes a de quoi surprendre. En effet, l'activité de conversation est l'une des choses du monde les mieux partagées. On la retrouve à l'identique dans les cultures les plus variées. Aucun ethnographe n'a décrit de culture sans langage, ni de culture dans laquelle la fonction principale du langage ne résiderait pas dans la conversation spontanée. Les interactions sociales basées sur le langage occupent de l'ordre de 20% de notre temps éveillé, et l'on retrouve des chiffres semblables à travers des cultures fort différentes (Dunbar 1998). Si l'organisation de l'activité scientifique à l'occidentale est calquée sur le fonctionnement des conversations, pourquoi ne fait-elle pas partie du répertoire comportemental de toutes les cultures ?

Une deuxième raison évidente pour douter de l'existence d'un lien formel entre l'activité scientifique et l'activité langagière spontanée vient du contraste entre la rigueur de la première et la futilité qui caractérise le plus souvent la deuxième. Comment imaginer que des mécanismes analogues à ceux qui prévalent dans les conversations météorologiques produites dans un commerce de quartier aient pu produire la mécanique quantique ou la théorie de la sélection naturelle ?

Nous avançons toutefois qu'il n'y a pas de différence formelle entre les mécanismes de base qui sous-tendent les deux processus. Derrière les différences évidentes que nous venons de rappeler se cache une identité de forme qui est davantage qu'une analogie. En d'autres termes, nous suggérons que le mécanisme qui nous permet d'enchaîner les arguments au cours de la conversation est exactement celui qui permet à la recherche scientifique de progresser. Ce mécanisme repose sur la notion de *conflit cognitif*.

Dans ce qui suit, nous commençons par définir cette notion de conflit cognitif en en illustrant l'importance dans les conversations. Nous montrons ensuite le parallèle entre le traitement conversationnel d'un conflit cognitif et son traitement dans l'activité scientifique. Enfin, nous discutons la portée de ce parallèle et ses implications pour la compréhension du processus d'explication.

2. La notion de conflit cognitif

L'étude des conversations quotidiennes permet de constater que toute intervention dans une conversation a un effet bien déterminé (Dessalles 1993). L'incapacité à produire des interventions appropriées ou à rendre leur effet manifeste aux interlocuteurs provoque un rejet de la part de ceux-ci¹. Nous avons récemment introduit la notion de conflit cognitif pour caractériser l'effet des interventions conversationnelles (Dessalles 1998a). La fonction d'une intervention à contenu argumentatif *est de rendre un conflit cognitif manifeste ou de tenter de résoudre un conflit cognitif*. Une intervention échappant à cette contrainte sera systématiquement considérée comme incongrue et provoquera le plus souvent une réaction explicite d'incompréhension. Cette règle est si contraignante qu'elle limite considérablement ce qui peut être dit à un moment donné d'une conversation.

Le conflit cognitif *n'est pas* une notion sociale. Il n'oppose pas des individus, il oppose des croyances dans l'esprit d'un individu donné. Cette caractérisation de la conversation est donc *a priori* indépendante et complémentaire de toute considération de nature sociale (relations entre personnes, coopération, ou actes de langage). Le conflit cognitif apparaît cependant comme une notion incontournable qui, si elle a été parfois évoquée sous une forme ou sous une autre, n'a jamais été perçue dans toute sa systématisme. Considérons un exemple :

contexte : A s'étonne d'améliorer certaines de ses performances sportives alors qu'il atteint la trentaine.

A1- *Moi, avec l'âge, je peux tenir des trucs en fond, mais dès que c'est le sprint...*

B1- *Normal.*

A2- *Je tiens mieux le fond qu'avant. C'est dingue, ça!*

B2- *Normal, normal. Mais ça c'est normal, hein. On est plus endurant que résistant.*

Avec l'âge.

C1- *Quelle est la différence?*

[...]

Cet extrait est organisé autour d'un conflit rendu manifeste par A en A1 et A2. Ce que A constate sur ses propres performances, le fait qu'il les améliore encore bien qu'il ait plus de 30 ans, est en contradiction avec une

¹ Une incapacité systématique à produire des interventions plus ou moins appropriées dans une conversation est présente dans de nombreuses pathologies mentales. Le comportement conversationnel est une activité complexe, requérant des capacités intellectuelles intactes.

connaissance qu'il tient pour vraie, selon laquelle les performances sportives déclinent au-delà de l'âge de 25 ans. Ici, le conflit cognitif prend la forme d'une incompatibilité logique. Les interventions de B ont entre autres pour effet de résoudre le conflit, grâce à l'introduction des concepts d'endurance et de résistance : l'endurance culmine plus tard que la résistance. Avec cette nouvelle connaissance qui remplace la croyance erronée de A, le conflit cognitif est supposé disparaître. L'intervention de C se comprend encore par rapport à l'existence du conflit initial. Il est crucial, pour la solution du conflit, qu'il existe une différence définie entre les deux types de performance physique, et que cette différence explique le fait que A améliore les performances qu'il a mentionnées.

D'un point de vue formel, un conflit cognitif peut s'exprimer comme la présence simultanée, dans un ensemble de termes représentant les croyances et les désirs d'un individu à un moment donné, de deux termes opposés: (T, N1) et (non T, N2). T est un prédicat logique, comme "*X améliore ses performances sportives*". N1 et N2 sont les nécessités respectives de T et de (non T) au moment considéré. Ces nécessités ont des valeurs qualitatives qui peuvent varier au cours du raisonnement. Comme nous allons le voir, leur valeur peut provenir d'une mémorisation à long terme, mais elle peut aussi être héritée à travers des liens causaux (Dessalles 1998a).

Le fait que l'on puisse trouver, dans notre modélisation, un conflit cognitif à la base de chaque conversation fournit un outil précieux qui facilite l'analyse structurelle des données telles qu'on peut les recueillir dans les situations spontanées (Dessalles 1993). Mais en tant que contrainte systématique, qui impose à chaque intervention d'avoir un effet par rapport à un conflit donné, la notion de conflit cognitif est bien d'avantage qu'un simple outil de description. Grâce à cette notion et à un petit nombre de principes, il est possible d'expliquer et, dans une certaine mesure, de prédire le contenu et l'enchaînement des répliques dans une conversation donnée (Dessalles 1998a). Les rares mécanismes qui ont été proposés pour rendre compte du contenu des conversations, notamment les modèles à base de plans et de buts (Airenti et al. 1993) font appel à des notions qui sont des cas particuliers de la notion de conflit cognitif (Barnden 1998).

Nous proposons l'idée selon laquelle l'enchaînement des interventions au cours d'une conversation sur un sujet donné est, d'un point de vue formel, identique à la façon dont les scientifiques progressent sur une question donnée. Nous décrivons maintenant les aspects essentiels de ce mécanisme commun.

3. Le traitement conversationnel d'un conflit épistémique

Dans notre modélisation, toute intervention à contenu argumentatif vise à établir ou à résoudre un conflit cognitif. Il nous faut indiquer les processus formels par lesquels ces opérations sont réalisées. Un conflit cognitif apparaît lorsque l'on est conduit à considérer comme simultanément nécessaires un état de fait et sa négation. Ces nécessités en conflit peuvent résulter de l'expérience (observation directe, souvenir, mention d'événements par d'autres) ou de l'aboutissement de chaînes causales ou associatives. Un terme du conflit peut être un jugement de nécessité épistémique (*mes performances sportives doivent diminuer avec l'âge*), un désir (*je ne veux pas rater le train*) ou une probabilité (*je ne m'attends pas à trouver une pièce de 1F par terre dans cette forêt du Chili*). Le processus par lequel nous traitons les deux premiers types de conflit est quasiment identique, alors que le troisième implique un traitement différent, faisant appel aux probabilités qualitatives (Dessalles 1993). Pour notre présent propos, c'est le processus par lequel les conversants gèrent les conflits du premier type, que nous appelons *conflits épistémiques*, qui doit retenir notre attention. Nous limiterons l'exposé à ce cas.

Nous allons illustrer, à l'aide d'un exemple, le fait que le traitement des conflits épistémiques peut s'expliquer par un petit nombre de principes. Certains de ces principes régissent la manière dont les valeurs de nécessité sont propagées, d'autres dirigent l'ordre d'examen des arguments.

3.1 L'évaluation des valeurs de nécessité

Les valeurs de nécessité peuvent avoir une origine externe. On peut par exemple considérer l'énoncé (*la terre est ronde*) comme fortement nécessaire, sans avoir au préalable explicité les raisons de ce fait. Nous avons simplement mémorisé cette connaissance avec une valeur de nécessité élevée. Nous pouvons aussi avoir un modèle causal permettant de déduire la rondeur terrestre, par exemple un modèle d'attraction isotrope montrant que les planètes ne peuvent être que sphériques. Dans ce cas, l'héritage des valeurs de nécessité repose principalement sur un premier principe (P1) selon lequel un effet a la même valeur que la cause qui l'a effectivement produit. Ainsi, dans un lien causal actif ($C \rightarrow E$), C et E doivent avoir la même nécessité. Si plusieurs causes sont présentes, E a la nécessité de la cause de moindre nécessité.

Si nous reprenons notre exemple, la rondeur de la terre peut être affirmée d'une autre manière : *si la terre n'était pas ronde, les*

cosmonautes s'en seraient aperçus. Un deuxième principe (P2) stipule que nous traitons le lien (non E \rightarrow non C) de la même manière, pour ce qui est de l'héritage des nécessités, que le lien (C \rightarrow E). Autrement dit, (non C) hérite de la nécessité de (non E). Dans notre exemple, on a maintenant C = *la terre n'est pas ronde* et E = *les cosmonautes constatent que la terre n'est pas ronde*. La forte nécessité de (non E) entraîne une forte nécessité pour (non C).

3.2 L'ordre d'examen des arguments

La propagation des valeurs de nécessité le long des liens causaux conduit inévitablement à des conflits épistémiques. Il s'agit de déterminer la procédure par laquelle, lorsqu'un tel conflit se produit, les différents arguments sont examinés ou conçus. Cette procédure obéit à plusieurs principes :

- (P3) on réévalue la nécessité du terme *faible* du conflit
- (P4) on effectue une recherche abductive du processus causal conduisant à ce terme faible
- (P5) on cherche par abduction un moyen d'interférer avec ce processus causal

La réévaluation (P3) peut se faire soit directement (par ex. en évaluant la fiabilité de la source s'il s'agit d'une information) soit par la recherche causale (P4). L'ensemble de ces procédures peut conduire à une révision à la hausse du terme faible, ou au contraire à l'annulation ou à une diminution suffisante de sa nécessité. Dans ce dernier cas, le conflit est résolu.

Par exemple, si un ami a aperçu un chat vert, sachant que naturellement les chats ne sont pas verts, on va, après avoir testé la force de son témoignage, rechercher par abduction le processus causal conduisant au terme faible (*le chat n'est pas vert*). Une première cause est biologique. La présence d'une mutation pourrait interférer avec cette causalité biologique, mais on la jugera peu plausible. La non-mutation a donc une nécessité élevée, dont (*le chat n'est pas vert*) hérite en vertu de (P1). Le conflit en ressort renforcé. On va donc traiter le terme qui apparaît maintenant comme le plus faible, (*le chat est vert*). Il est vert parce que l'ami l'a vu vert. Si on imagine que le chat a été peint (P5), le fait qu'il apparaisse vert ne conduit plus au fait qu'il soit vert, et le conflit est résolu, à condition que le nouvel argument (*le chat a été peint*) soit vraisemblable.

Lorsque le processus (P5) n'aboutit pas, le conflit se déplace vers la cause du terme faible, selon un principe (P6). Dans notre exemple, ayant accepté que le chat n'est pas vert, on aura un conflit portant sur le fait que l'ami a vu réellement vu le chat vert. Il importe de noter que cette possibilité de déplacement de conflit fait que la mise en œuvre des principes évoqués ci-dessus est récursive. Rien ne garantit que le processus global va se terminer. Le conflit peut se déplacer tant qu'il est possible de remonter les liens causaux. De plus, il peut y avoir bouclage si les nécessités des termes du conflit sont alternativement revues à la hausse². La récursivité permet toutefois que des raisonnements complexes puissent être produits par un nombre très restreint de mécanismes. Ce phénomène est illustré grâce à l'implémentation des mécanismes (P1)-(P6) dans un programme capable de reconstruire des conversations réelles (Dessalles 1998a). Nous allons maintenant suggérer le fait que ces mêmes mécanismes sont à l'œuvre dans la recherche scientifique.

4. Les conflits épistémiques dans l'activité scientifique

L'activité scientifique, comme l'activité conversationnelle, est une activité collective. Sa caractéristique principale est qu'elle constitue un processus globalement cumulatif laissant émerger un progrès des connaissances. Cependant, il est habituel de souligner qu'au quotidien, elle est davantage perçue comme une sorte de lutte entre paradigmes incompatibles (Kuhn 1962). Si les détails des controverses les plus célèbres qui ont jalonné l'histoire des sciences sont bien documentés, les mécanismes qui poussent les scientifiques à établir tel ou tel fait ou à rechercher telle ou telle réfutation ne sont pas explicités. La thèse que nous défendons est que ces mécanismes sont les mêmes que ceux des conversations. Nous illustrons cette thèse sur un exemple.

En 1881, deux scientifiques américains, Albert A. Michelson et Edward W. Morley, conçoivent une expérience qui est ensuite devenue l'une des plus célèbres de l'histoire des sciences. Leur interféromètre était censé mesurer les variations de la vitesse de la lumière en fonction de la vitesse de sa source. Un décalage des franges d'interférence devait se produire lorsque le dispositif était tourné, car la vitesse des rayons

² Mentionnons aussi qu'il est toujours possible de sortir d'un conflit sans le résoudre, tout simplement en abandonnant la recherche d'une solution. Cette attitude revient à considérer le conflit en tant que tel pour en nier l'importance. Une telle sortie d'un conflit à un méta-niveau ne résout pas le conflit à proprement parler. Cette manière d'échapper au conflit cognitif semble faire défaut au sujet affectés de certaines pathologies de type schizophrénique (Bateson et al. 1956).

lumineux étaient supposée dépendre de leur alignement avec la direction de rotation de la terre. Le conflit épistémique venait du résultat négatif de cette expérience: la théorie conduit à un décalage, l'expérience produit une absence de décalage.

La première réaction fut de réévaluer le terme faible du conflit, le non-décalage (principe P3). Une recherche abductive des causes du non-décalage conduit à remettre en question le fonctionnement du dispositif (P4). On a recherché pendant plusieurs années tous les phénomènes pouvant interférer avec le processus conduisant à un non-décalage (P5) : contrôle de la température, des vibrations, etc. jusqu'à ce qu'on parvienne à une précision dix fois supérieure à celle requise. A ce stade, la nécessité du non-décalage commençait à augmenter suffisamment pour que l'on mette en question celle du décalage.

La raison du décalage (P4) résidait dans la loi de composition des vitesses, appliquée à la lumière et à la rotation de la terre. En 1892, George F. Fitzgerald fait une suggestion qui pouvait interférer avec l'application de cette loi (P5). Son idée, reprise avec insistance en 1895 par Hendrik A. Lorentz, est que la partie de l'interféromètre alignée avec le sens de rotation de la terre subit une contraction. Il faut apprécier à quel point cette suggestion pouvait sembler invraisemblable à l'époque. La formulation d'une hypothèse pareille n'était possible, selon notre modèle, qu'en raison de la très grande nécessité qu'avaient acquise tous les autres termes du conflit. Toutefois, tant que l'hypothèse de Fitzgerald et Lorentz restait difficile à accepter, le conflit épistémique ne pouvait être considéré comme résolu. Il s'était simplement déplacé (P6) sur cette question de la contraction des longueurs dans le sens du mouvement. Ce n'est qu'avec la théorie de la relativité que l'on a pu résoudre ce conflit, en acceptant la nécessité du principe d'Einstein selon lequel la vitesse de la lumière ne dépend pas de celle de sa source.

On constate sur cet exemple que les principes dégagés par la modélisation des conversations s'applique de manière naturelle à la description épistémique de l'activité scientifique. Nous abordons maintenant la question de savoir quelle est la portée de cette identité formelle entre les deux processus.

5. Discussion : la science est-elle une conversation ?

La conception traditionnelle de la recherche scientifique repose sur le schéma de la méthode expérimentale, tel qu'il a été formulé par F. Bacon. Partant d'une observation désintéressée, le scientifique accumule un ensemble de faits qu'il va ensuite chercher à décrire de manière plus

concise en formulant des hypothèses explicatives dont les faits peuvent être déduits. Ces hypothèses étant le résultat d'une démarche inductive, il faut les tester en concevant des expériences décisives. Une telle conception peut correspondre à une certaine manière de faire de la science. Par exemple, l'activité de classification, que l'on trouve en entomologie ou en botanique, commence par un recensement systématique de nombreux faits. La science théorique, cependant, ne peut pas fonctionner en l'absence d'un problème bien posé, que nous appelons conflit épistémique. On est alors beaucoup plus proche du schéma d'Aristote :

Ainsi, selon ce que nous avons déjà dit, les hommes commencent toujours par s'étonner que les phénomènes soient ce qu'ils sont; comme, par exemple, on s'étonne devant le spectacle des automates, tant qu'on n'a pas pénétré la cause de leurs mouvements. On s'étonne devant les mouvements périodiques du soleil, ou même on s'étonne de la propriété qu'a la diagonale d'être incommensurable au côté. (Aristote ed. 1991:47)

Une différence fondamentale entre l'activité scientifique et la conversation quotidienne à laquelle nous voulons la comparer réside dans le recours fréquent à l'expérience. Quel est le rôle exact de l'expérience scientifique par rapport au conflit épistémique, et existe-t-il un analogue dans le processus conversationnel ? La vision épistémologique classique voit dans l'expérience scientifique un moyen de confirmer une hypothèse. La tradition empiriste, et son prolongement dans le positivisme logique, voient dans l'expérience (spontanée ou active) le seul moyen d'établir une connaissance. Carnap, par exemple, a tenté de définir le degré de confirmation d'une hypothèse (Hempel 1966). Ici, le parallèle avec les conversations semble absent. Les conversants ne passent pas leur temps à tenter de vérifier des conjectures. Bien au contraire, tout au long de la conversation, ils essaient d'invalider les conflits ou de signaler de nouveaux conflits (Dessalles 1993). Toutefois, le parallèle revient dans toute sa force si l'on considère, avec Popper (1959), que l'expérience ne peut avoir qu'un rôle de tentative de réfutation. Comme la preuve par neuf, l'expérience scientifique n'est tentée que pour son pouvoir d'invalidation. Elle joue alors le rôle d'une question. Dans les conversations, toutes les questions sont motivées par l'anticipation d'un conflit potentiel. Il n'existe pas de question gratuite. Dans la plupart des contextes, on ne peut demander "*Est-ce que tu as une cousine née en 1985 ?*" sans s'exposer à une réplique du type "*Pourquoi tu me demandes ça ?*". Le conflit qui motive la question doit toujours être manifeste. Il en est de même des expériences scientifiques. Elles ne sont jamais gratuites, leur enjeu est la possible réfutation d'une hypothèse. L'expérience trouve ainsi sa place naturelle dans le processus conversationnel qui gouverne l'activité scientifique.

Il reste à répondre à l'objection évoquée au début de cet article. L'activité conversationnelle n'a jamais été inventée, elle est aussi ancienne que notre espèce (Dessalles 1998b). Si la science fonctionne selon le même processus, pourquoi est-elle un produit de l'histoire ? Une première réponse consiste à dire que c'est sous la forme institutionnelle que nous lui connaissons maintenant qu'elle constitue une invention historique. Quelle que soit l'époque ou la culture, l'activité d'un commerçant qui cherche à comprendre pourquoi il manque de l'argent dans sa caisse peut être perçue comme une activité scientifique authentique. Ce commerçant résoudra ce conflit cognitif en émettant des hypothèses en discutant avec ses associés et en mettant ces hypothèses à l'épreuve de la réfutation. Il y aurait ainsi une continuité entre l'activité de conversation quotidienne et l'activité scientifique, cette dernière constituant une forme ritualisée à l'extrême de la première. Mais il reste à expliquer pourquoi la science instituée est une invention historique relativement tardive, si l'on pense que notre espèce a plus de 150.000 ans d'existence. Une deuxième réponse consiste à opposer le traitement rationnel des conflits épistémiques, que l'on trouve à la fois dans la science et dans la conversation, à d'autres modes de traitement des conflits cognitifs, qui feront appel à la révélation.

Cet argument est illustré par J. Lalumia (1974) à l'aide de l'exemple de Thalès. Certains voient dans Thalès l'un des premiers penseurs d'importance ayant adopté une attitude scientifique, quelques six siècles avant notre ère. Afin de résoudre le conflit entre la complexité de la matière et l'exigence d'une simplicité du monde postulée au départ, il émit l'hypothèse que toute matière avait une composition unique : celle de l'eau. Ce modèle n'a pas en soi beaucoup d'intérêt, mais c'est la façon dont il est énoncé qui est nouvelle pour l'époque, comme Lalumia nous l'explique :

Si l'on se penche sur la mythologie grecque, on découvre que beaucoup d'autres ont dit, avant Thalès, que le monde entier est composé d'une même matière et que cette matière est de l'eau. Mais ces hommes étaient des poètes ou des prophètes. Dans les sociétés anciennes, poètes et prophètes occupaient une position particulière. Ils étaient considérés comme des êtres pourvus d'un certain don de voyance, de sorte que, si l'un d'entre eux déclarait que l'univers est composé d'eau, ce don de voyance particulière était considéré comme étant à l'origine de cette déclaration. Il en résultait que le discours du « voyant » passait pour l'expression d'une vérité que lui seul avait la faculté de percevoir, de sorte que nul ne tentait d'en disputer avec lui ou de discriminer quelle pouvait être la part d'erreur ou de vérité. Ainsi, ce qui est important dans le cas de Thalès [...], c'est qu'il entendait s'appuyer sur des raisons susceptibles de convaincre quiconque se donnerait la peine de les examiner. Autrement dit, il invitait chacun à soumettre ses déclarations à l'épreuve de la critique. Il s'agit là d'un point important car, en nous référant aux origines de la science, nous entendons parler, non pas d'un soliloque, mais du début d'un dialogue. (J. Lalumia 1974 :10)

La structure logique de ce dialogue dont parle Lalumia ressemble à s'y méprendre à celle d'une conversation sur le mode épistémique. Le

modèle de Thalès ne va pas tarder à être invalidé par Anaximandre avec des arguments qui nous paraissent tout aussi étonnants que le modèle lui-même, mais qui ont le mérite d'être des arguments. Ce qui distingue le discours scientifique de tout autre discours de connaissance n'est pas à chercher dans l'emploi des chiffres, des formules, ou dans l'énoncé de lois, mais réside dans la possibilité offerte à tous les autres par l'auteur d'une théorie d'invalider celle-ci. Autrement dit, l'activité scientifique est caractérisée par un état d'esprit : celui d'autoriser et d'organiser sa propre réfutabilité. La condition première pour que le dialogue scientifique ait lieu, est que les interlocuteurs se considèrent en principe comme égaux en regard du sujet abordé. Dans les sociétés humaines, un tel dialogue est rendu impossible sur tous les sujets qui dépassent le quotidien, en raison de l'interdiction imposée à l'immense majorité des individus par la religion d'aborder ces sujets de manière critique. Dans notre modèle, cette interdiction de remise en question se traduit par des croyances de très-forte nécessité, qui bloquent la progression du processus rationnel. Les raisons permettant d'expliquer les cas d'émergence de la science dans telle ou telle culture sont à rechercher dans la levée progressive de ce type d'interdiction.

6. Conclusion

Nous avons tenté de mettre en évidence un parallèle étroit entre l'activité scientifique et la conversation quotidienne. Toutes deux ont pour rôle de traiter les conflits cognitifs de manière rationnelle et collective, et le processus qu'elles emploient est formellement le même : recherche du terme faible du conflit et recherche abductive de causes de faible nécessité, ce processus étant appliqué récursivement. Cette démarche rationnelle pour faire apparaître et ensuite résoudre les conflits cognitifs est, au moins dans sa version conversationnelle, un comportement naturel. A ce titre, elle a une origine et une fonction biologiques. Dans (Dessalles 1998b), nous avons émis l'hypothèse selon laquelle la rationalité aurait émergé comme moyen de détecter la 'tricherie' conversationnelle, c'est-à-dire le mensonge. Le mensonge parfait, qui ne provoque aucun conflit épistémique, est un art difficile. Celui qui détecte un conflit à partir des dires d'un autre met cet autre en demeure de résoudre le conflit. Tournant cet appareil rationnel vers ce qui nous apparaît du monde qui nous entoure, la science essaie de repérer les 'tricheries' de la nature, pour ensuite essayer de les résoudre. Présentée sous ce jour, la science apparaît moins comme une invention historique, et davantage comme l'un des comportements caractéristiques de notre espèce.

Références

- Airenti, G., Bara, B. G. & Colombetti, M. (1993). "Conversation and behavior games in the pragmatics of dialogue". *Cognitive Science*, 17, 197-256.
- Aristote, (~ -320). *La métaphysique*. Paris : Pocket, ed. 1991.
- Barnden, J. A. (1998). "Uncertain reasoning about agents' beliefs and reasoning, with special attention to metaphorical mental state reports". In J. Hulstijn & A. Nijholt (ed), *Formal semantics and pragmatics of dialogue*. Enschede : University of Twente, TWLT-13, 49-60.
- Bateson, G., Jackson, D. D. & Haley, W. (1956). "Toward a Theory of Schizophrenia". *Behavioral Science*, 1(4).
- Dessalles, J-L. (1993). *Modèle cognitif de la communication spontanée, appliqué à l'apprentissage des concepts - Thèse de doctorat*. Paris : ENST - 93E022.
- Dessalles, J-L. (1998a). "The interplay of desire and necessity in dialogue". In J. Hulstijn & A. Nijholt (ed), *Formal semantics and pragmatics of dialogue*. Enschede : University of Twente, TWLT-13, 89-97.
- Dessalles, J-L. (1998b). "Altruism, status, and the origin of relevance". In J. R. Hurford, M. Studdert-Kenned & C. Knight (ed), *Approaches to the Evolution of Language - Social and Cognitive Bases*. Cambridge University Press, 130-147.
- Dunbar, R. I. M. (1996). *Grooming, gossip, and the evolution of language*. Cambridge : Harvard University Press.
- Hempel, C. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs : Prentice Hall.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Lalumia, J. (1974). "De la science à la métaphysique et à la philosophie". *Diogène, Gallimard* (88).
- Popper, K. R. (1959). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot, ed. 1982.

AIDE A LA GESTION DES CONFLITS EN AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

APPROCHE MULTI-AGENTS ET MODELES COGNITIFS DES ACTEURS

Nils FERRAND, Guillaume DEFFUANT
Cemagref LISC

L'aménagement et la gestion des territoires constituent un champ d'étude privilégié pour l'analyse des conflits et la conception d'outils adaptés à leur gestion. En effet, on peut observer une grande variété de contextes, de types d'acteurs, et de dynamiques. Par ailleurs, les évolutions actuelles dans les modalités de la décision publique, avec des orientations vers des démarches participatives, justifient un besoin accru en outils ouverts permettant de gérer les conflits qui se multiplient proportionnellement au nombre d'acteurs.

Dans ce papier, nous nous proposons d'explorer différentes modalités de "représentations des conflits de représentations", après en avoir proposé des éléments de typologie. Cette réflexion s'inscrit dans une perspective ingénieriste de conception d'outils d'aide à la gestion. L'analyse des différentes représentations présentes et construites dans les processus de décision en aménagement du territoire nous permet de de catégoriser les "objets" ou "sources" de conflits entre les acteurs. Dans un objectif de gestion, nous étudions alors les perspectives de développement d'outils dédiés, auxquels nous consacrons la suite du papier. Ces outils, conçus selon une approche multi-agents, ont vocation à assister des utilisateurs dans leur évolution en situation de conflit. Pour ce faire, ils s'appuient sur des modèles de représentations permettant d'illustrer et d'aider à résorber partiellement les conflits. Nous tentons d'explicitier les hypothèses cognitives sous-jacentes à ces différentes approches.

Nous proposons trois exemples appliqués dans des cadres d'aide à la décision ou la négociation.

Enfin, nous proposons une discussion en deux parties points : sur le rôle des conflits dans l'aménagement, et sur le rôle des outils de gestion ; en concluant sur les perspectives de développement de nouveaux outils.

LES OBJETS DE CONFLITS EN AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Nous situant dans le cadre de l'aménagement du territoire, nous allons considérer des **conflits relatifs aux usages ou modes de gestion du sol ou d'autres ressources environnementales** (eau, air, paysages). Les exemples auxquels nous nous référerons sont l'implantation d'infrastructures linéaires (lignes électriques, autoroutes, TGV), la gestion de bassins versants, et la gestion intégrée d'un territoire (affectation de crédits et divers zonages). Parmi les autres sources de conflits « classiques », on peut citer les remembrements, le classement en zones protégées sous divers régimes (p.e. NATURA 2000), l'urbanisme en général, la gestion forestière...

L'ensemble de ces exemples présentent différentes caractéristiques communes. Tout d'abord, ces situations sont relatives à l'espace : il s'agit de déterminer « *quoi faire où* ». On peut reporter les attendus de ces conflits sur des cartes. D'autre part, ce sont des situations ouvertes, concernant l'ensemble de la population d'un territoire (et même au delà : cf. la place du Club Alpin Français « parisien » dans les conflits en montagne), et soumises à des procédures réglementées, contrôlées par l'administration publique. Elles font participer différentes « classes » d'acteurs : élus, administrations, opérateurs publics et privés, associations, public ; « effectifs » ou « intentionnels » [Mermet, 84] ; à différentes échelles, depuis le hameau jusqu'à l'Europe. Les intérêts en jeu (« enjeux » ou « critères ») sont multiples : économie, agriculture, écologie, paysage, patrimoines divers, politique, situation sociale, etc. Enfin, ce sont en général des processus longs (une à plusieurs années) et présentant des suites de revirements (le conseil d'état est un acteur important de la régulation de ces procédures), avec des modalités successives dans la gestion de la décision collective (conflit « pur », arbitrages, jugements, contrats, négociation) [Dupont, 94].

Cette première partie donne quelques précisions sur ces objets de conflits. La description des conflits eux-mêmes et de leur développement doit se faire à l'aune d'une vision de la cognition des acteurs impliqués, qui ne sera pas spécifique aux problèmes d'aménagement (la deuxième partie y sera consacrée).

¹ « *Gestion effective : mode de conduite du milieu telle qu'elle résulte de l'ensemble des actions humaines qui l'affectent. [] Gestion intentionnelle : initiatives qu'un acteur spécialisé entreprend, dans le contexte d'une situation de gestion effective, pour faire évoluer l'état du milieu dans un certain sens* ». On peut parler de « *gestion sans maîtrise* ».

L'APPROPRIATION DE L'ESPACE

Les acteurs évoluent dans un environnement naturel ou artificiel partagé, mais leur appropriation en est très variable. Chacun perçoit des « facettes » différentes et une organisation particulière. Les caractéristiques saillantes vont d'indices visuels simples (présence ou absence de différents éléments) à des interprétations complexes, rappelant les rationalités sous-jacentes à la construction diachronique de l'espace (l'espace comme construit social, miroir de la société qui l'utilise). L'espace s'organise comme une hiérarchie de territoires appropriés, avec des trames complexes, fortement distendues par les vécus personnels et familiaux. L'espace se reconstruit aussi continuellement et cycliquement au gré des activités et des pratiques qu'il supporte. L'interprétation de l'espace est ainsi faite à l'aune de son utilisation. C'est évidemment la première source de divergence d'intérêt, de conflits d'usages.

REGULATIONS ET REGLEMENTATIONS

Comme nous l'avons indiqué, les conflits en aménagement du territoire s'inscrivent toujours dans un cadre réglementé, avec des procédures enchevêtrées destinées à les gérer. De plus, différents mécanismes de régulation sociale informelle interviennent (valorisation ou rejet des « meneurs » du conflit, règlements amiables, compensations). Chacun se fait cependant juge de son propre droit lorsqu'il s'agit d'un territoire approprié, « patrimoine » de longue date, très proche pour au moins une des « topo-logiques ». Même dans le strict cadre des institutions, se référant nominalement aux textes, les attributions sont sujettes à discussion, et les responsabilités sont diffuses.

Les conflits portent ici sur les droits de chacun, sur l'interprétation des textes, sur les responsabilités, et sur les attentes sociales que l'on peut avoir (p.e. « *ça va se régler tout seul...* » vs. « *au maire d'en décider* »). Ce cadre s'étend aussi aux procédures dans leur déroulement, avec des règles précises sur la conduite des décisions.

HISTORIQUE DES PROJETS

La « mémoire » des décisions et conflits est en défaut. Sur de longs termes (plus de 15 ans pour certains projets d'infrastructure), les acteurs institutionnels changent plusieurs fois, le contexte évolue, et des strates successives d'études intermédiaires, de pré-projets, de négociations

² Nous ne traiterons pas ici des conflits portant sur les modes de gestion des conflits, qui sont cependant identifiés comme un enjeu important des négociations sociales [

« préalables » s'accumulent, avec pour témoins durables les habitants et les archives de presse. On peut considérer ce type de processus comme une maturation parfois nécessaire, mais elle est rarement capitalisée ; et certains oublis induisent des conflits, lorsqu'ils concernent des faits et dires considérés par certains comme des engagements, en particulier dans le cas de l'état, contraint à la continuité, ou des élus, contraints à la cohérence politique (forme de « vertu » à la Montesquieu).

DYNAMIQUES DU MONDE, EXPLICATIONS ET CAUSALITES

Un « méta-enjeu » couramment évoqué pour l'aménagement est la durabilité (pérennité des conditions actuelles) ou la viabilité (pérennité des capacités de contrôle sous des contraintes identifiées). Il ne s'agit donc pas seulement de considérer comment et où *sont* les choses, mais aussi, et surtout, comment et où elles *vont*, et quelle est leur *organisation*. Chacun se représente donc des processus à partir d'hypothèses de dépendances et de causalité, avec des formes plus ou moins naïves de physiques qualitatives. Ceci conduit, vers le futur, à des résultats discordants, et, vers le passé, à des explications contradictoires. Les interprétations des phénomènes connus, et / ou la prévision des futurs possibles, sont ainsi contingents à des dissensions omniprésentes dans la perception des facteurs.

Les processus concernés peuvent être l'évolution de l'environnement, les dynamiques socio-économiques, les réponses sociales, la résolution des conflits elle-même, et tous leurs couplages.

Les conflits se développent autour de ces objets. La compréhension du développement de ces conflits va dépendre des modèles cognitifs postulés pour les acteurs. Ainsi, selon ces postulats, les directions de travail pour le développement d'outils d'aide à la résolution des conflits vont être différentes. Nous abordons ce point dans la partie qui suit.

PLACE DES CONFLITS DANS L'AMENAGEMENT

Comme le note Rocher [1968, vol. 3, p. 127], « *conflits et contradictions sont un facteur de changement social, [...qui] naissent directement de l'action sociale. [...] Ils sont engendrés par le fonctionnement normal de tout système social. [...] Le conflit est une des voies nécessaires par laquelle passe la société pour s'adapter sans cesse à des situations nouvelles et pour survivre dans le cours de sa propre évolution.* » Il s'agit donc d'un mode de réponse sociale à des changements environnementaux. Mais le conflit est successivement « productif »,

lorsqu'il conteste des schémas et pratiques établis, dont la viabilité n'est plus assuré ; puis « contre- productif », lorsqu'il empêche la réalisation effective des adaptations. Ainsi Mermet [92], s'agissant de gestion de l'environnement, interprète deux types d'actions : « - celles qui, en créant une tension, une pression en faveur de l'environnement, déclenchent et entretiennent le processus de traitement de tel ou tel problème [...] – celles qui, dans le cadre des rapports de tension ainsi créés, permettent à l'équilibre atteint à un moment donné entre les préoccupations d'environnement et les autres enjeux sociaux de s'inscrire dans les faits, par la recherche d'accords sur des programmes d'action d'une part, leur mise en œuvre scientifique et technique d'autre part. » Plus loin, il ajoute que « la primauté [...] reste [...] à l'axe du conflit. C'est le premier sur le plan chronologique, [...] sur le plan fonctionnel, [...] sur le plan logique, dans la mesure où c'est la fracture qu'il institue, à un moment donné, entre notre gestion effective de l'environnement et nos objectifs en la matière, qui ouvre l'espace où la collectivité peut traiter ces questions où elle fait figure à la fois de maladie et de docteur. »

En résumé, le conflit est nécessaire, impératif, structurant, mais il doit être encadré pour ne pas devenir en tant que tel une stratégie pour les acteurs, et un enjeu qui prédomine sur les finalités. Pour ce faire, le cadrage procédural et l'adaptation dynamique au moyen de l'explicitation des représentations sont des médiateurs possibles. La partie qui suit propose une réflexion sur le développement d'outils d'aider à ce type de contrôle et de résolution des conflits.

PRINCIPES ET EXEMPLES DE CONCEPTION DE SYSTEMES D'AIDE A LA GESTION DES CONFLITS

RECOURS AUX APPROCHES MULTI-AGENTS

Les exemples décrits dans la suite font appel à une conception multi-agents³ qui est bien adaptée aux problèmes décrits dans la section

³ Les systèmes multi-agents permettent de décrire un système complexe sous forme d'un ensemble d'entités individualisées en interaction. Ces entités sont décrites par un état (descripteurs quantitatifs, qualitatifs ou symboliques) et une évolution (dynamique), et susceptibles d'interagir simultanément entre elles, et avec un ensemble de données et processus extérieurs (environnement). Ces entités sont structurées au sein d'une organisation qui peut être spécifiée explicitement par les catégories d'agents ou leurs interactions (coordination), ou apparaître (émerger) au cours du processus, et constituer ainsi une information complémentaire produite par le système. L'implantation informatique de ce système permet d'en simuler la dynamique, dans certaines conditions de résoudre les problèmes afférents, instrumenter

précédente. En effet, ils sont hétérogènes, distribués, dynamiques, tolérant à des modèles variés. De plus, il existe des acquis dans les différentes directions concernées : modèles spatiaux, intégration de système, assistance intelligente à des processus collaboratifs, coopération de modèles.

Les modèles et systèmes multi-agents peuvent intervenir de deux façons :

- en tant que support de « codage » des représentations ; celles-ci étant décomposées en un ensemble d'agents organisés selon les contraintes que l'on attribue à la représentation ; c'est en particulier le cas dans la représentation multi-agents de projets spatiaux (voir SMAALA ci-après). Cela suppose donc de faire des hypothèses sur ces représentations et le fonctionnement cognitif associé
- en tant que support de manipulation des représentations : les agents sont « spécialistes » d'une face des représentations, et coopèrent pour gérer les différents conflits. De même, la conception de ces systèmes impose des hypothèses sur la manière dont les acteurs produisent et manipulent ces représentations.

Il apparaît donc que des outils multi-agents d'aide à la résolution des conflits ne peuvent être conçus sans un arrière plan théorique sur le fonctionnement cognitif des acteurs ainsi que de leurs interactions. Souvent cet arrière plan n'est pas explicité, bien qu'il exerce une influence très forte sur les choix conceptuels effectués.

L'explicitation des approches de la cognition choisies est donc un enjeu majeur dans la conception d'outils d'aide à la résolution de conflits. En effet, elle permet de développer une méthodologie raisonnée de développement de ces outils, qui peut être soumise à l'épreuve de l'expérience. L'interprétation des conflits, de leur cause et de leur résolution changera notablement selon les options cognitives qui sont prises. Les hypothèses sur les grands ressorts du fonctionnement cognitif peuvent ainsi être mises en question.

sa gestion pour / par un ensemble d'acteurs, en identifiant en son sein un ensemble d'entités individualisées. Ces simulations peuvent en effet faire apparaître :

- *soit une image prospective du système (apparition de comportements ou structures particulières : simulation prospective),*
- *soit des configuration stables satisfaisant les contraintes introduites (résolution de problèmes),*
- *soit, pour un système partagé par plusieurs acteurs, un support facilitant l'échange, la structuration, et la convergence (réduction de conflits) de points de vue*

INDIVIDUALISME METHODOLOGIQUE : SYSTEMES DE PREFERENCES INDEPENDANTS

Cette approche est celle qui est dominante dans l'idéologie moderne (Dumont 83). Dans ce cadre, la cause principale des conflits est dans les objets ou leur utilisation, que se disputent différents acteurs. Ainsi, chaque acteur est-il conçu comme un agent rationnel, possédant une fonction d'utilité qu'il cherche à maximiser. Cette fonction d'utilité n'est pas influencée par celle des autres. Elle est relative à un état du monde, ou à sa représentation. Dans ce modèle, les autres acteurs sont des objets particuliers du monde : leur comportement intervient par ses conséquences sur les objets du conflit. Aucune interprétation des intentions et des volontés des autres acteurs ne sont envisagées, seules leurs actions comptent⁴.

Ainsi, les représentations des différentes situations « objectives » possibles et de leurs conséquences en termes d'utilités individuelles sont au centre de la compréhension des conflits, et induisent des possibilités de les résoudre par des recherches de compromis.

REPRESENTATION D'UN CONFLIT

Un conflit s'exprime ici par des fonctions d'utilité contradictoires sur certains états du monde : certains états du monde sont favorables à certains acteurs et défavorables à d'autres.

Dans le cadre d'une représentation spatiale en aménagement, ce sera souvent des chevauchements de territoires qui seront revendiqués par plusieurs acteurs pour différentes utilisations.

OUTILS D'AIDE A LA GESTION DE CES CONFLITS

Ce type d'approche inspire plusieurs directions de travail pour élaborer des outils d'aide à la résolution des conflits.

Décision centralisée sans la participation directe des acteurs

Dans ce cas le problème est de déterminer l'ensemble des options possibles et les fonctions d'utilité associées de tous les acteurs. La résolution du problème se trouve dans le choix de la configuration qui maximise l'utilité globale (éventuellement pondérée selon l'importance accordée aux acteurs). Ceci suppose que les alternatives possibles et les fonctions

⁴ Le parallèle est ici celui de l'individualisme de l'économie classique, dans lequel les conséquences visibles des actions des autres se traduisent par leur influences sur les prix uniquement. Les acteurs ne communiquent pas directement, ils le font par l'intermédiaire de leurs action sur les objets.

d'utilité des acteurs soient connues ou postulées de manière pertinente. Ce cas de figure se produit lorsque qu'un expert (ou un groupe d'experts) doit prendre une décision ayant des conséquences sur un ensemble d'acteurs. Le problème principal de cette approche est le caractère essentiellement non univoque de la notion d'intérêt global. Toutes les contestations sont possibles sur l'agrégation qui est faite, et qui renvoie à des choix politiques. On risque ici une confusion entre le rôle de l'expert et celui du politique. Cette version peut s'appuyer sur une exploration de l'espace des représentations, au moyen d'un parcours des paramètres descriptifs des systèmes de préférence des acteurs.

Outils facilitant la participation des acteurs

Dans ce cadre, la participation est essentiellement l'expression de leur fonction d'utilité. Il est possible d'imaginer des outils informatiques permettant de sonder les acteurs régulièrement à mesure que les experts élaborent différentes solutions. On peut également envisager de fournir la possibilité aux acteurs de proposer des solutions possibles et de les tester ensuite auprès des autres acteurs. Cependant, il s'agit là d'un outil permettant de mieux apprécier les fonctions d'utilité et d'en évaluer les incompatibilités. La décision dans ce cadre, reste une optimisation de ces utilités pondérées par l'importance que le décideur leur attribue.

Cette approche peut être critiquée par la simplicité de son modèle cognitif sous-jacent. En effet, les fonctions d'utilité des acteurs sont supposées fixes, et sans influences les unes sur les autres, ce qui est contestable. D'autre part, on voit qu'elle favorise plutôt un fonctionnement technocratique, dans lequel la décision est prise en dehors des acteurs concernés. Les outils envisagés ne permettent que leur consultation, l'optimisation restant à faire par des experts.

On verra plus loin que ce cadre participatif peut aussi être envisagé comme un substrat de co-évolution des utilités dans un cadre partagé.

EXEMPLE 1 : PROJET SMAALA

Dans le projet SMAALA, nous avons collaboré avec un bureau d'études en aménagement pour élaborer un modèle des processus d'expertise conduisant à des propositions de passages (fuseaux) pour des infrastructures linéaires durant les phases d'étude préliminaires. Il s'agissait de prendre en compte les contraintes environnementales fournies par les experts sous forme de cartes de sensibilité, les contraintes structurelles de l'aménagement telles que spécifiées par l'aménageur, et un modèle territorialisé des décisions d'acteur, permettant d'explorer différents points

de vue sur le projet. Dans un deuxième temps, nous avons étudié la confrontation de ces projets et fait apparaître les points de conflit potentiels.

Dans le modèle multi-agents correspondant, l'environnement est constitué de l'ensemble des cartes de sensibilité issues de l'expertise préliminaire. Les agents (de type réactif) représentent individuellement une partie de l'infrastructure linéaire projetée (par exemple un pylône pour une ligne électrique). Leur état est défini par leur position. Chaque agent interagit avec l'environnement pour minimiser l'impact local, et avec les autres agents de la ligne pour respecter les contraintes structurelles (courbure). La recherche des fuseaux de moindre impact s'appuie alors sur le modèle de décision d'un acteur cible, qui permet d'intégrer les différents critères environnementaux. Ainsi, en un point de l'espace, la carte de décision détermine la hiérarchie des critères selon l'acteur cible, et donne, pour un agent localisé en ce point, le déplacement qui diminue son impact. Les agents adaptent leurs interactions en modifiant la taille du voisinage qu'ils considèrent. Après initialisation et itération parallèle, le système multi-agents atteint un état stable satisfaisant les contraintes. On peut alors jouer sur le système de décision pour évaluer la sensibilité de la solution obtenue à un changement de point de vue.

On obtient ainsi une représentation des possibles selon le schéma de préférence d'un acteur.

Par exploration systématique de l'espace de décision (avec un pas large), et comparaison des résultats, on détermine les solutions de moindre conflits, c'est-à-dire celles conformes au plus grand nombre de systèmes de décision.

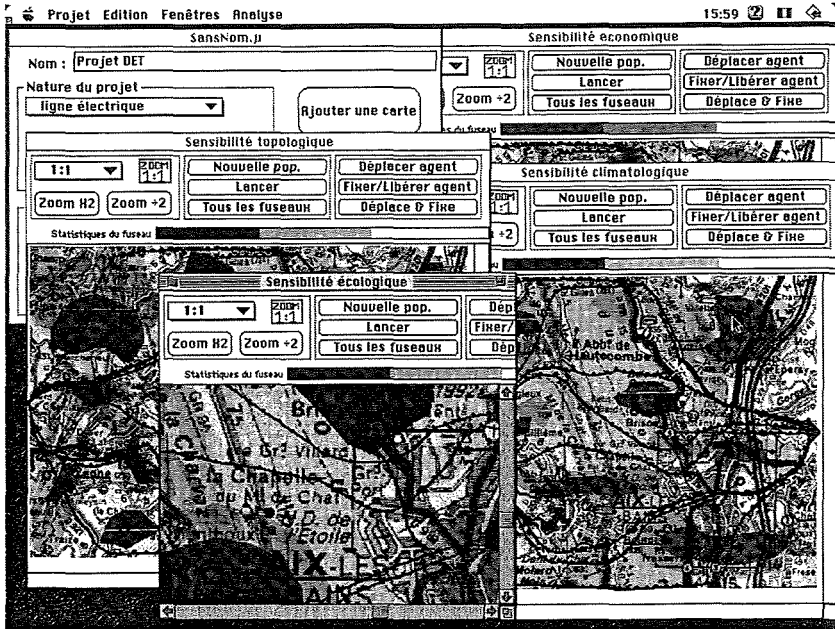


Figure 1 : Aperçu d'un résultat du système SMAALA

Ce modèle, et le système de résolution afférent, peuvent être exploités dans un contexte multi-acteurs, en combinant dans un même système des représentations multi-agents traduisant les positions de différents acteurs. Par confrontation des solutions obtenues, on localise les zones de conflits potentiel. Les ensembles d'agents solution d'un point de vue interagissent entre eux pour détecter où ils se distinguent et où ils s'accordent.

Le modèle et le système SMAALA constituent ainsi un outil d'aide à l'expertise multicritères et multiacteurs, en explicitant dans la détermination des alternatives, la place de l'expertise (cartes de sensibilité) et la place de la décision politique (cartes de décision territorialisée). Ils donnent une image des différentes représentations d'un même projet, à partir d'un modèle simple des positions d'acteurs (pondérations de critères ou cartes de pondérations). Utilisés dans un contexte multi-acteurs, ils permettent de confronter les solutions, et d'identifier les zones de conflit et de compromis.

Nous avons ici un système de gestion des conflits objectifs par interprétation d'un système de valeur confronté à un modèle d'expertise. Les conflits sont interprétés par l'expert *a priori*, les utilités sont indépendantes.

EXEMPLE 2 : DIAGNOSTIC POUR L'AMENAGEMENT DURABLE

Dans un second projet [Gaume, *et alii*, 98], nous nous sommes intéressés au diagnostic pour l'aménagement durable. En travaillant avec des experts de terrain sur une zone soumise à différents projets contestés, nous avons élaboré un double modèle enjeux / acteurs.

Le modèle d'enjeu s'appuie sur une catégorisation des enjeux à l'intérieur du territoire. Ces enjeux peuvent être soit renseignés à partir de données socio-économiques disponibles, soit par expertise. Les enjeux sont spatialisés, c'est-à-dire qu'ils se réfèrent à une zone de l'espace identifiée au sein d'une grille topographique fonctionnelle (cohérence géomorphologique, urbaine, et socio-économique). On caractérise ensuite des relations entre enjeux, sous la forme de règles de dépendance et d'évolution. La matrice d'interaction est assez creuse, mais certaines relations sont complexes : leur activation est fonction de l'état d'enjeux tiers ou catalyseurs. Les agents sont ici de deux types : les agents et les relations. L'ensemble est activé en réponse à un scénario d'intervention (modification de descripteurs : p.e. attribution de budget quelque part) pour donner une image des effets composites après un ensemble de cycles. En l'état, par spécification des enjeux et relations, on décrit un modèle fonctionnel, selon un point de vue.

A un deuxième niveau, nous ajoutons une couche « acteurs », constituée d'un ensemble d'agents représentatifs d'acteurs du territoire. Leur modèle est relativement simple : chaque agent - acteur a une copie réduite du modèle d'enjeu / relation correspondant à sa propre croyance. On a donc un ensemble de modèles divergents sur le fonctionnement du territoire. Quand on applique un scénario, les conclusions tirées par chacun sont très variables. C'est ce qu'on appelle le conflit « vers l'avant », en prévision. Chaque acteur réagit en fonction des résultats perçus et de schémas de sensibilité aux enjeux.

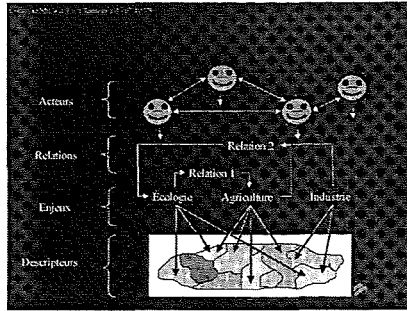


Figure 2 : Schéma de principe du système MEAD

Ce modèle aborde toujours le niveau objectif, mais il aborde des modèles plus fondamentaux car incluant l'analyse des causalités fonctionnelles dans un territoire, et le schéma de valeur (sensibilité aux évaluations d'enjeux). Il traite des conflits sur les dynamiques. Il aide à l'appréhension d'autrui vis à vis de scénarios prospectifs. Il s'agit ici des conflits des « comment faire » et des « pour quoi faire ».

SYSTEMES DE PREFERENCES INFLUENCES SOCIALEMENT

Dans de nombreux domaines, l'expérience courante montre que les agents s'influencent mutuellement dans la définition de leurs préférences. Les phénomènes de mode, les mouvements d'opinion peuvent être vues comme des effets de ces influences. En revanche, on ne fait pas ici d'hypothèses spéculaires poussées.

Un postulat proposé par de nombreux auteurs est ici est que les préférences vont se renforcer et s'homogénéiser à l'intérieur d'un même réseau social. Il s'agit d'un effet de contagion ou de mimétisme. En effet, les membres d'un réseau s'influencent les uns les autres et homogénéisent leurs préférences. Il faut bien souligner que ces préférences proches peuvent également être à l'origine du réseau (mais pas forcément).

Cependant, ces influences existent dès le niveau interindividuel « simple », avec les mécanismes classiques de coévolution vers des compromis ou consensus (tendances Pareto en théorie des jeux).

REPRESENTATION DU CONFLIT

Un conflit est donc représenté par une opposition sociale entre deux (ou plus) réseaux sociaux représentant des fonctions d'utilité similaires, et contraires. Ici, ce ne sont plus des individus qui s'affrontent, mais des communautés. Les membres de chacune des communautés ont en première

approximation des intérêts proches, et partagent une même vision de la résolution du problème. En cela ils s'opposent à une autre communauté.

La différence fondamentale avec le point de vue précédent est que les fonctions de préférences évoluent. Le conflit est identifié comme une différence d'interprétation, avec des conséquences variées, et chaque acteur ou groupe peut alors accepter de prendre un peu du point de vue de l'autre en compte, et modifier son système de préférence. Les modalités de modification sont variées, selon la nature de la relation entretenue avec autrui : un ami influera différemment d'un collègue. Et les conflits seront appréhendés différemment, avec des stratégies d'accord *a priori*, de refus *a priori*, de solution médiane, etc.

OUTILS D'AIDE A LA GESTION DES CONFLITS

Les outils d'aide à la résolution des conflits peuvent être les mêmes que dans la conception précédente. On peut en effet considérer les individus de chacune des communautés et leur affecter un poids, ainsi qu'une évaluation de leur fonction d'utilité. En un sens, la tâche peut être simplifiée par un rapprochement des fonctions d'utilité pour les membres d'une communauté.

Cependant, l'arrière plan cognitif supposé dans cette section autorise la conception d'outils d'un genre différent. En effet, on suppose maintenant que les fonctions d'utilité des agents ne sont pas fixées, et peuvent évoluer (dans une certaine mesure), par l'interaction avec les autres. On peut notamment en identifier deux :

- Une première approche est d'intégrer les paramètres possibles de ces évolutions dans les modèles, incluant des hypothèses sur les réseaux sociaux ainsi que les dynamiques d'influences entre les agents. Dans ce cas, un outil d'aide à la résolution des conflits pourrait tester différents scénarios temporels de diffusions d'opinions en fonction de groupes cibles initiaux. Dans ce cas, la décision a tendance à rester centralisée et technocratique, même si elle doit évidemment s'appuyer sur des sondages. Cette approche est utilisée dans le projet Européen IMAGES (Deffuant & Ferrand à venir)
- Une deuxième approche consiste à parier sur des outils permettant de créer des espaces d'interactions entre les acteurs qui pourront changer les réseaux sociaux associés à certains problèmes, et faire évoluer leur perception. Dans ce cas, l'outil sera considéré comme un espace d'interaction entre les acteurs (décideur expert compris), tentant de modifier des clivages bloquants. Mais sans plus de précisions, une telle approche

peut ne relever que du vœu pieux. En effet, qu'est-ce qui assure que la création d'un tel espace d'échange ne va pas au contraire exacerber les antagonismes, et envenimer les conflits ?

EXEMPLE 2 « SOCIALISE »

Dans cette extension du modèle de diagnostic (Exemple 2 : diagnostic pour l'aménagement durable), nous avons établi des liens entre les acteurs qui leur permettent soit de compléter leurs modèles en échangeant des enjeux ou relations, soit d'évaluer leurs sources de divergences au moyen d'un algorithme simple d'exploration arrière des explications. Le principe retenu est donc de confronter d'une part des résultats vers l'avant, qui ne sont pas évalués de la même façon, et ne sont pas « ressentis » non plus de même. Puis d'essayer d'interpréter « vers l'arrière » les sources de divergence.

On a donc pris en compte du point de vue des autres acteurs de quatre façons :

- ajout d'un enjeu
- ajout d'une relation
- évaluation différentes de l'état d'un descripteur
- évaluation différentes de l'effet d'une relation.

Ces différents mécanismes d'influence sont pris en compte en fonction de la cohérence du nouveau schéma proposé avec le schéma antérieur et les objectifs de l'acteur.

SYSTEMES DE PREFERENCES SPECULAIRES OU EMPATHIQUES

Dans notre première section, les utilités sont indépendantes les unes des autres, dans la seconde, elles s'influencent mutuellement en tendant à s'homogénéiser. Par la suite, nous faisons appel à une vision plus complexe des interactions entre acteurs, qui permet de proposer une nouvelle vision des conflits.

Dans un processus d'aménagement, les acteurs doivent interpréter les conduites des autres pour caractériser leurs positions réelles, et pouvoir anticiper leurs réponses possibles à différentes propositions. Il y a construction d'un « profil » de l'autre, plus ou moins explicite, et qui détermine les stratégies futures à son égard. Ce profil est caractérisé par les comportements attendus, les objectifs projetés, les intérêts perçus, et finalement les valeurs reflétées par le comportement d'autrui. En fonction

⁵ Système d'Aide à la Négociation de Projets en Aménagement

⁶ A cet égard, SANPA peut rentrer dans la catégorie des outils du paragraphe 0

de ces profils, chacun évolue relationnellement et se positionne vis à vis de l'objet du conflit. L'évaluation se fait ainsi à la fois à partir d'un profil instantané, mais aussi par référence à l'historique des interactions antérieures.

Un exemple caractéristique de ce type de conflit est la confrontation d'acteurs plutôt bénévoles et coopératifs, mais qui ont été introduits par un tiers conflictuel. Le profil mutuellement perçu sera plutôt négatif, alors que les relations ultérieures pourront expliciter la bénévolence des acteurs.

Mais ce qui intervient de manière cruciale dans ces processus de conflits est la représentation spéculaire. Une représentation spéculaire est l'image de soi telle qu'on la perçoit dans le regard d'autrui. C'est une double interprétation : « soi pour autrui », et « (soi pour autrui) selon moi ». En tant que chaque acteur est porteur d'un projet ou représentant d'un territoire, ces divergences spéculaires renvoient à la perception d'une dissension dans l'interprétation du monde : « tu ne me comprends pas ; tu ne comprends pas mon monde ; ton regard me dévalorise ». Et respectivement, les réfutations des territoires appropriés résonnent comme des négations de soi.

En se mettant à la place de l'autre, le sujet voit sa propre existence, et même en un certain sens découvre sa propre existence en tant qu'être social. Ainsi, cette existence apparaît-elle comme enviable s'il lit l'envie dans le regard de l'autre, méprisable s'il lit le mépris.

Dans ce cadre, ce qui compte, ce n'est pas d'avoir la même chose que l'autre, mais d'avoir mieux. C'est la différence qui est primordiale, et qui permet d'introduire une notion d'envie. Cette différence peut être une volonté de se rehausser par rapport à l'autre, ou au contraire de rabaisser l'autre. Rousseau avait bien identifié ce mécanisme avec son couple amour propre, amour de soi. L'enfant préfère casser son jouet plutôt que de le laisser à l'autre. C'est ainsi qu'une partie de la violence spécifique à l'espèce humaine peut s'expliquer (la violence de la vendetta). En effet, ce type de violence s'explique par un jeu d'identification, dans lequel l'objectif est de créer la plus grande « différence de potentiel » entre les deux acteurs, pour que le plus bas ait très envie d'être à la place de celui qui est le plus haut (Dupuy 92). On peut même comprendre ainsi l'envie de se rabaisser soi-même, qui peut se présenter dans certains cas. Il s'agit d'un retour de la violence pour l'autre (ou de l'autre) vers soi-même, dans un processus d'identification.

On le voit, la complexité des processus en jeu dans le conflit a augmenté d'un cran. Nous ne pouvons que tracer des perspectives sur les conséquences d'un tel postulat en termes d'outils.

REPRESENTATION DU CONFLIT

Il s'agit d'un conflit de regards. En effet, ce conflit intervient lorsque le regard porté sur le sujet est trop différent de celui qu'il souhaite. Il n'a souvent que la solution de la violence contre cette force qui le fait exister dans le mépris de lui-même. L'objet du conflit n'est qu'un prétexte à l'expression de ces regards.

Ainsi, dans une situation où tout le monde gagne, mais certains beaucoup moins que d'autres, il peut y avoir des conflits violents. La violence vient de cette différence qui peut rendre le regard de l'autre insupportable.

La divergence d'intérêt n'est donc plus ici qu'un prétexte de conflit, qui est constamment prêt à surgir dans la compétition acharnée pour la considération. On comprend ici d'ailleurs pourquoi il est de plus en plus important d'impliquer les acteurs dans les décisions qui les concernent. Là encore, il s'agit d'un regard qui est insupportable, celui d'un décideur ou d'un technocrate, qui crée une différence énorme et insupportable, puisque l'un a prise sur une décision et pas l'autre (quelle que soit l'issue de la décision).

L'enjeu de la représentation du conflit est ici de permettre à chacun d'explicitier le regard perçu et de montrer combien il est différent de l'image de soi. Le conflit est la confrontation des regards ; la difficulté est dans la recherche du changement nécessaire pour rapprocher les regards : dois-je changer moi-même, changer mon image d'autrui, mon image spéculaire, ou autrui ?

OUTILS POUR RESOUDRE CES CONFLITS

En fait, toutes les sociétés ont dû se construire contre ce danger de conflit permanent, de la lutte à outrance pour l'existence. Les différentes cultures ont apporté des réponses différentes, que l'on peut classer en grandes catégories (Deffuant à paraître).

L'une des solutions les plus couramment utilisées pour faire face à cette violence généralisée, est la constitution d'un regard externe, traitant l'ensemble des acteurs de manière égale. Idéalement, chacun reconnaît son existence dans le regard de cet être (souvent imaginaire) externe, et se voit comme faisant partie d'un groupe, dont il est partiellement dépendant.

Plaçons nous maintenant dans la perspective évoquée au paragraphe précédent, envisageant des outils donnant un espace d'interactions entre les acteurs. Une piste de recherche possible pour faciliter la résolution des conflits serait donc de créer un regard externe sur le groupe qui puisse finir par dominer les regards individuels que les uns et les autres se lancent. Il serait ainsi nécessaire de faire apparaître les dynamiques globales du

groupe par des représentations de la communauté des acteurs. Le plus important est que chacun puisse être convaincu que les autres sont dans le même processus d'un regard global primant sur les regards individuels. Pour cela, des outils favorisant les interactions permettant de converger vers cet état et donnant aux acteurs la conviction qu'ils l'ont atteint pourraient être étudiés. Cette approche nous ramène à l'importance fondamentale de la légitimité du tiers intercesseur dans la résolution des conflits.

EXEMPLE 3 : SYSTEME SANPA

Dans le projet SANPA⁷, nous avons proposé qu'un groupe d'agents assiste des acteurs dans leurs discussions et leurs interactions autour d'un projet d'aménagement. Le système doit faciliter l'échange de représentations, leur coévolution, et le maintien de l'historique de la négociation. Ce système est utilisé sur une base Internet.

Chaque acteur est équipé d'un agent assistant qui lui sert principalement de gestionnaire de communication, mais a aussi une action complémentaire de structuration de ses messages, d'enrichissement par recherche d'informations pertinentes, et d'orientation dans la démarche de négociation en suivant des protocoles préétablis. Les messages échangés peuvent inclure des éléments de représentation spatiale qui sont codés sous la forme de modèles multi-agents de type SMAALA. L'ensemble du projet est maintenu par un agent projet indépendant de tout acteur, et qui a pour rôle d'assurer l'intégrité, la mémoire du projet, et de supporter la confrontation des représentations.

⁷ Système d'Aide à la Négociation de Projets en Aménagement

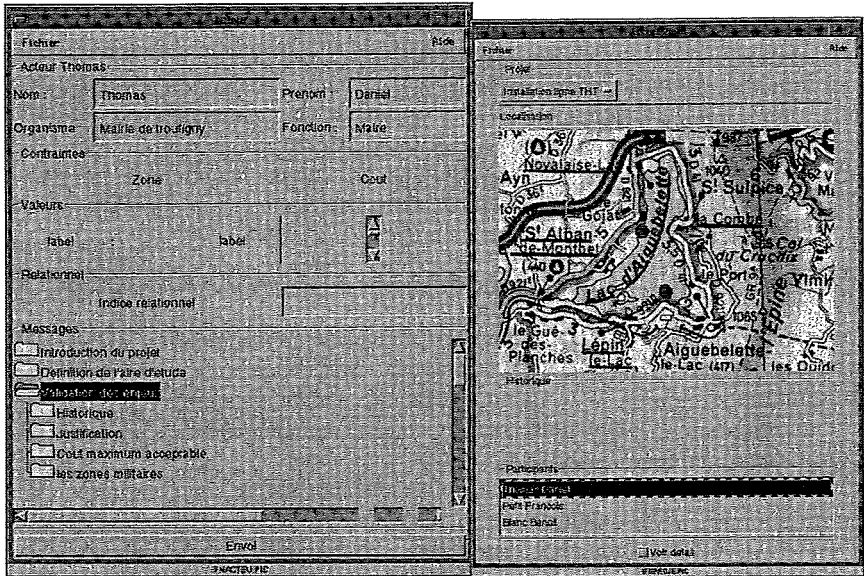


Figure 5 : Interface du système SANPA

SANPA constitue un « substrat actif » pour une négociation en aménagement. Il fournit une espace de confrontation de représentations.

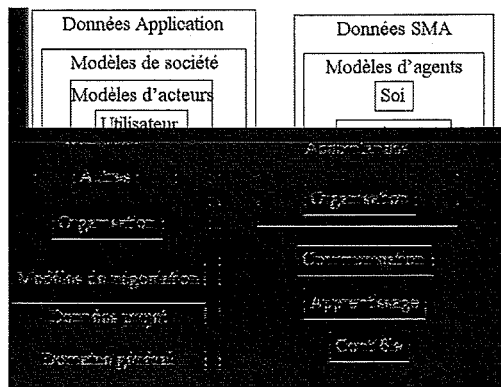


Figure 6 : Modèle d'agent dans SANPA

SANPA instrumente différents niveaux contextuels, ferments potentiels de conflits : informations socio-relationnelles, communication / négociation, concepts, éléments objectifs.

Référentiels objectifs

Dans SANPA, les négociateurs échangent des messages incluant des référentiels. Ceux-ci servent à préciser « de quoi on parle ». Il peut s'agir de phases de négociation, de sujets, d'acteurs, d'objets spatiaux, de localisations, de réglementations, de messages précédents, etc. Tous ces éléments sont indexés grammaticalement dans le corps du message sous forme de pointeurs (« tags »). Ils permettent aux agents assistants de préparer une aide élaborée et contextuelle, en se référant à des bases externes ou internes (web).

Informations socio-relationnelles

Les acteurs disposent de « bases de données acteurs et sociétés », qui décrivent les participants⁸ (selon ce qu'ils ont introduit), les groupes et les modalités de négociation. Ces informations sont maintenues par l'agent projet pour leur partie commune, mais des versions appropriées sont utilisées par les assistants pour proposer des éléments de stratégies relationnelles (simples : suivi de hiérarchies, coalitions transitives).

Les bases de négociation caractérisent des choix procéduraux tels que présentés dans la littérature.

Normes de communication

Afin de faciliter la communication objective, on explicite des dynamiques relationnelles au moyen de graphes de performatifs. Il s'agit, dans le cadre de la théorie des actes de langage, de caractériser l'intention d'effet sur autrui qui est émise dans un message. On donne donc aux utilisateurs un répertoire de performatifs (« demander », « informer », « nier », etc) au sein duquel ils peuvent choisir leur modalité. La succession des performatifs, telle qu'elle est empiriquement suivie par les acteurs devient peu à peu une structure proposée aux utilisateurs, mais jamais imposée. Cela permet d'une part de caractériser les phases de négociation et d'autre part de faciliter l'assistance pour les stratégies de négociation.

Normes conceptuelles

Enfin, les assistants construisent collectivement des graphes conceptuelles qui permettent de référer en fonction des sujets les enchaînements dialectiques, et incidemment d'aller enrichir les contenus ou les références. Par comparaison des graphes individuels, on peut aussi proposer des coalitions conceptuelles (« qui voit les choses de la même façon »).

Rôle de SANPA dans un processus empathique

SANPA s'inscrit transversalement dans les 3 cadres précédents : il intègre un « comparateur » d'utilités, un support à l'influence dans les points de vue, mais surtout, au travers des modèles d'acteurs, de société et de processus (norme de communication), il permet aux acteurs de formaliser leurs représentations mutuelles, et le système peut les expliciter sous différentes formes : comment je communique, ce que je communique, ce qui me préoccupe, etc. C'est une piste préliminaire qui demande à être poursuivie.

CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons souhaité présenter différentes perspectives d'analyse des conflits en aménagement. Nous avons identifié les objets ou sources habituelles de ces conflits. Nous avons ensuite proposé une réflexion sur le développement d'outils multi-agents pour l'aide à la résolution de ces conflits. Il apparaît que les hypothèses sous-jacentes sur les processus cognitifs des acteurs du conflit sont fondamentales pour la définition de ces outils. Nous avons distingué trois grandes familles d'hypothèse : un modèle d'utilités indépendantes, un modèle de diffusion sociale et un modèle « empathique » par construction mutuelle. Pour chacune de ces hypothèses, nous avons proposé un exemple de système visant à aider à la gestion de ces conflits, en en donnant quelques caractéristiques.

Nous espérons donc avoir illustré d'une part que la problématique des conflits en aménagement présente des propriétés particulièrement intéressantes pour la recherche, et que, dans ce cadre, on peut proposer différentes pistes d'assistance instrumentale, selon l'analyse que l'on fait des enjeux des conflits.

A cet égard, les approches informatiques récentes et notamment multi-agents, permettent de créer des espaces de communication nouveaux, dont le potentiel pour l'analyse des conflits, puis l'aide à la négociation et à la résolution de conflits est très motivant. Le caractère ouvert et dynamique des systèmes multi-agents permet d'aborder à la fois des formes particulières de fonctions d'utilité (système multi-agents comme support de codage), et la co-construction dynamique de points de vue et images spéculaires (approche par les agents assistants).

Il reste un certain nombre de questions en suspens.

Tout d'abord, on peut se demander si la création d'un espace de communication, la mise à disposition d'outils performants pour l'aide à la représentation, à la simulation sont garants d'une résolution de conflits plus faciles. Le transfert du champ de la communication directe à la communication médiatisée n'est pas un gage de changement dans les modalités décisionnelles. C'est dans la valeur ajoutée qu'un système peut apporter que réside son intérêt éventuel pour la gestion des conflits.

La réponse générale à cette question varie suivant les présupposés cognitifs attribués aux acteurs. Dans le cas d'une vision spéculaire ou empathique de la cognition, les espaces de communication, en l'absence d'un respect commun pour une vision de référence, et sans intervention d'un tiers artificiel agrégeant les conflits, peuvent être finalement source de conflits plus forts que dans les cas où les outils de communication sont moins performants. A terme, on peut imaginer que les agents assistants incluent des modèles d'acteurs suffisamment élaborés pour que le jeu de l'escalade de la violence empathique se réalise avec l'artefact préalablement et puisse ainsi être « dégonflé » avant d'entre dans l'interaction réelle. A supposer néanmoins que l'expérience de cette violence puisse aider à la contenir et maîtriser.

L'autre question qui nous intéresse ici est l'approche du conflit comme constructeur de la décision. Il est clair que si le conflit concoure à faire prévaloir des intérêts minoritaires mais potentiellement antipathiques à la viabilité des projets, alors les conflits sont souhaitables. Mais quel artefact pourrait discriminer les « bons » des « mauvais » conflits, en l'absence de présupposé sur le bien commun. Ainsi, gommer les conflits ne peut être un objectif systématique, et les formes de régulation qu'il faut imaginer restent à définir.

Comme ultime conclusion, on peut proposer comme projet la construction d'une typologie des conflits qui seraient raisonnée empiriquement à partir des besoins d'assistance qu'ils pourraient susciter. Une telle démarche, d'ordre essentiellement psycho-sociale, passerait par des enquêtes fines sur les processus et sur les attentes insatisfaites en terme d'élucidation des préférences d'autrui, et des images spéculaires véhiculées. On pourrait aussi imaginer des démarches expérimentales fondées sur des jeux d'aménagement bien joués et bien observés.

Comme dans de nombreux cas en matière d'informatique et aménagement, il y a donc une place particulière à accorder ici à une réflexion en profondeur des concepteurs par rapport à l'outil et à son rôle, avec la définition d'une éthique explicitant le ciblage cognitif et social des systèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bellenger, L., 1984, *La Négociation* - Que Sais-Je ? - Puf
- Deffuant G., 1999. « Les modèles cognitifs à l'épreuve des formes du religieux : proposition de directions de recherche centrées sur l'empathie ». *Intellectica* n°26. à paraître.
- Dumont L. *Essais sur l'individualisme*. Le Seuil. 1983.
- Dupont, C., 1994, - *La Négociation - Conduite, Théorie, Applications*, Dalloz.
- Dupuy J.P. 1992. *Introduction aux sciences sociales*. Ellipses.
- Ferber, J., 1995, Les systèmes multi-agents -Vers une intelligence collective. Paris : InterEditions
- Ferrand, N., 1996, "Modelling and Supporting Multi-Actor Spatial Planning Using Multi-Agent Systems", 3rd NCGIA conference on *GIS and Environmental Modelling*, Santa Fe, USA, January 1996.
- Ferrand, N., 1997, *Modèles multi-agents pour l'aide à la décision et la négociation en aménagement du territoire*. Thèse de doctorat en informatique de l'université Joseph Fourier. Grenoble : UJF, juillet 1997.
- Ferrand, N., Ferrent, P., 1997, SANPA : un Système d'Aide à la Négociation de Projets en Aménagement. Actes de la Conférence « *Informatique et Environnement* ». Strasbourg : INRIA.
- Gaume, F., Fallet, B., et al., 1998, Aide à l'aménagement durable : approche multi-agents pour un modèle Enjeux / Acteurs. Colloque "SMAGET - Bilan et applications des approches multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires", 5-8 octobre 1998.
- Mermet, L., 1992. *Stratégies pour la gestion de l'environnement*, Paris : L'Harmattan.
- Rocher, G., 1968, *Introduction à la sociologie générale*, 3 vols., Paris : Points - Seuil

Interprétations et conflits : exemple du débogage

Jean-Marc FOUET

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information

Université Claude Bernard et INSA de Lyon

43 Bd du 11 Novembre 1918

69622 Villeurbanne Cedex

tel : 04 72 44 83 69

fax : 04 72 43 15 36

mél : fouet@bat710.univ-lyon1.fr

1. Introduction

On peut considérer chaque bogue comme un conflit entre ce que le programme est censé faire et ce qu'il fait effectivement ; plus exactement, entre l'interprétation que l'on fait de sa spécification et l'interprétation de son comportement.

"Interprétation", puisqu'on n'a pas accès (sauf dans quelques cas simples) à la spécification complète de l'algorithme ni (sauf à tracer les opérations une par une, ce qui n'est en général pas matériellement possible) à l'intégralité du comportement.

Pour préciser notre propos, nous donnons au §2 une typologie sommaire des bogues les plus fréquemment rencontrés.

L'objectif du débogueur consiste à mettre en évidence la cause de ce conflit, puis à y remédier. La démarche qu'il adopte pour ce faire peut prendre beaucoup de formes, dont nous donnons quelques exemples au §3. Un cas d'interprétation pouvant sembler surprenant est évoqué au §4, tandis que le §5 traite de différents conflits entre le débogueur et les autres intervenants. Le §6, enfin, permet de replacer cette question dans une problématique plus générale.

Les réflexions présentées ici s'appuient d'une part sur l'expérience de l'auteur, administrateur d'un centre de calcul universitaire pendant 15 ans, et d'autre part sur une recherche en Psychologie Cognitive [Mas 98] à laquelle il a participé en tant que "cobaye". Des modèles plus formels¹ que ce qui suit pourront être trouvés dans [Pen 90], [Kat 88], et [Ves 89].

¹ ces modèles ne concernent que la question du débogage de petits programmes.

2. Brève typologie

2.1. Typologie des bogues

Il y a plusieurs moyens de classer les bogues :

- le bogue consiste en :
 - un résultat faux, ou
 - un message d'erreur, ou
 - pas de résultat au bout d'un temps raisonnable ;
- la personne qui signale l'erreur est :
 - celle qui a écrit le programme,
 - ou non ;
- elle est :
 - habituée au logiciel
 - ou non,
 - compétente dans le domaine
 - ou non ;
- le bogue est obtenu au bout d'un temps d'exécution court
 - ou long (ce qui signifie que sa reproduction est coûteuse).

2.2. Typologie des conditions de débogage

Ici encore, on va rencontrer différents critères :

- le débogueur est l'auteur du programme, ou non ;
- le débogueur a accès au programme, ou non (débogage par téléphone);
- le programme est interprété ou compilé ;
- on dispose d'outils de trace, de dump (examen du contenu de la mémoire après arrêt du programme), ou non ;
- le temps d'exécution avant apparition du bogue permet des expérimentations, ou non.

2.3. Typologie des erreurs responsables de bogues

- faute de frappe ;
- faute d'étourderie (test à l'envers, par exemple) ;
- mauvaise interprétation de la spécification (ou mauvaise spécification);
- méconnaissance d'un aspect du langage de programmation utilisé ;
- mauvaise utilisation du programme (donnée hors du domaine de validité) ;
- erreur matérielle (composant qui chauffe, rayonnements électromagnétiques d'un autre appareil...);

- enfin, le pire cas : mauvaise interprétation du résultat, qui est en fait correct (pas d'erreur).

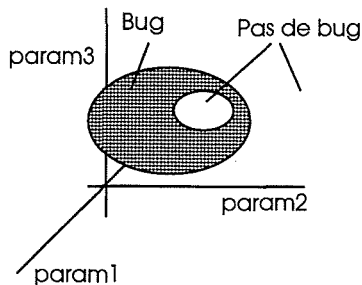
3. Quelques éléments de la démarche

(Ce qui suit devra bien sûr être modulé par les éléments fournis en 2.1 et 2.2, dont certains peuvent rendre impossibles certaines étapes).

1) La première chose à faire consiste à reproduire le bogue. Cela permet d'une part de s'assurer qu'il n'est pas conséquence d'une faute de frappe dans les données, d'autre part qu'il n'est pas aléatoire, enfin et surtout qu'il existe : une part non négligeable des « bogues » résulte du fait que le programme exécuté n'est pas celui que l'on croit

2) La seconde consiste à tenter de reproduire le bogue en faisant varier certaines données, de manière à définir les Conditions d'Apparition du Bogue (CAB). La première partie de cette étape consiste bien évidemment à déterminer quels sont les paramètres pertinents. On délimite ainsi un espace, dont le principal intérêt est la frontière :

savoir que le bogue apparaît pour "tout" x inférieur à 5 et n'apparaît pour "aucun" x supérieur à 5 me conduit à chercher le rôle particulier de la valeur 5 de x , et peut m'amener très rapidement à la solution.



Cela doit cependant être tempéré par le souci d'économie, qui conduit à arbitrer le conflit entre le coût d'une expérience (opérations de mise en place, temps d'exécution, temps de dépouillement) et l'intérêt escompté de ses résultats. Ce souci est récuratif :

puisque je n'ai pas trouvé au bout d'une heure, je vais me résoudre à faire l'expérience de dix minutes que j'avais rejetée comme trop coûteuse.

3) Vient ensuite la formulation d'hypothèses. Celles-ci portent sur la zone du programme à incriminer, et sur le type d'erreur à y chercher. On arbitre ici encore un conflit (entre hypothèses) par principe d'économie [Kla 93] : par exemple,

si l'une des hypothèses concerne une fonction dont je me souviens qu'elle est très complexe et mal programmée, j'irai de préférence vérifier les autres d'abord.

Ce conflit est parfois à peine conscient, et les hypothèses sur le coût des vérifications relèvent parfois d'une interprétation erronée de la "complexité"² du code : en conséquence, il arrive parfois qu'à la fin du processus on s'exclame : "je l'avais sous les yeux depuis le début, je me souviens l'avoir vue, mais pourquoi donc n'ai-je pas poursuivi le raisonnement?".

4) Le test d'une hypothèse repose, non pas sur un conflit, mais sur une dualité : l'état du programme (les valeurs des variables pertinentes pour le bogue) et sa dynamique (ce qu'il vient de faire et ce qu'il va faire). Bien entendu, cette dualité n'est qu'une image, puisque l'état conditionne la dynamique, qui va modifier l'état. Mais elle se traduit souvent par un conflit

puisqu'il est dans cet état il devrait faire ceci, mais il ne le fait pas,

conflit dont l'interprétation peut conduire à la solution :

soit il n'est pas dans l'état que je suppose, soit cet état ne conduit pas où je crois

Ce test d'hypothèse est plus productif, en général, s'il s'avère négatif, c'est à dire s'il fait apparaître un conflit entre le résultat attendu du test et le résultat obtenu ; on peut alors d'une part éliminer l'hypothèse, d'autre part, souvent, en formuler une autre. Notons par contre que le test... peut lui-même être bogué.

Le processus est ensuite récursif : on définit un nouveau bogue, qui est par exemple le fait que le programme ne soit pas dans l'état voulu à tel instant de son déroulement³.

4. Cas extrême d'interprétation

Dans certaines situations de débogage, on a recours au "core-dump", c'est à dire que l'on fait écrire le contenu de (tout ou partie de) la mémoire. Dans d'autres cas, on a recours à la "trace", consistant à faire écrire au fur et à

² au sens naïf de « fouillis », et non au sens de « complexité algorithmique »

³ Parfois, on découvre alors qu'il y a deux bogues, provenant de deux erreurs indépendantes, dont la conjonction ne s'était jamais produite auparavant, ou dont l'effet négligeable n'était pas apparu lors de l'interprétation des résultats.

Dans tous les cas, il est bon, une fois l'erreur localisée et corrigée, de se demander pourquoi elle était passée inaperçue jusqu'à présent.

mesure les opérations qui se déroulent (quelle opération, portant sur quelles valeurs des paramètres, et fournissant quel résultat).

Avec un peu d'habitude -surtout lorsque c'est le même programme que l'on débogue plusieurs fois- on parvient à distinguer des formes dans ces monceaux d'information rébarbative et, dans certains cas heureux, des anomalies sautent aux yeux. Le point intéressant, ici, est que l'on ne cherche pas à interpréter l'information brute, mais des régularités ou irrégularités. On peut faire le parallèle avec le test de Rorschach, les canaux sur Mars ou le sourire de la lune : on voit des signes là où personne n'en a mis.

De plus, certaines de ces anomalies apparaissent mieux lorsqu'on fait défiler la page sur l'écran que lorsqu'on scrute un listing, probablement parce que la persistance rétinienne "gomme" les lignes semblables et fait ressortir celles qui, bien que de même longueur, ont un contenu sensiblement différent.

5. Conflits

5.1. Conflits entre débogueur et programmeur

"Qu'est-ce que t'as changé à la machine? Mon programme marchait bien avant, et maintenant il fait n'importe quoi!". Tout administrateur de système a entendu cette phrase des milliers de fois. S'ensuit alors un dialogue plus ou moins aimable, surtout si l'on a effectivement modifié le système.

Pour le débogueur, l'objet du dialogue est de définir la différence entre la spécification du programme et son résultat, de manière à ensuite pouvoir entamer la recherche de l'erreur. Pour le programmeur, l'objet du dialogue est, tout au moins au début, de rejeter la faute sur autrui.

Ce dialogue conflictuel peut prendre des formes très diverses, notamment en fonction du rapport hiérarchique entre les deux personnes⁴. L'un des soucis du débogueur est : "qu'est-ce qu'il me cache?". Cela se complique lorsque l'on débogue un programme que l'on a soi-même écrit : l'une des bonnes questions est -ou serait- alors : "qu'est-ce que je ne veux pas voir?".

C'est de l'interprétation de ce conflit (entre deux individus ou au sein du même) que peut jaillir la lumière :

je sais que cette fonction a été programmée en dépit du bon sens, à coups de corrections "sparadrap", qu'il faudrait la remettre à plat, mais la paresse me pousse à chercher l'erreur ailleurs.

⁴L'auteur a passé 11 mois merveilleux, en tant que Scientifique du Contingent, à déboguer des programmes écrits par des officiers.

5.2. *Conflits entre débogueur et utilisateur*

L'une des expériences très enrichissantes, pour le débogueur, consiste à travailler par téléphone :

- tapez 5
- voilà
- qu'est-ce qu'il dit?
- rien
- comment, rien?!
- non
- vous avez tapé RETURN, après?
- oui bien sûr
- et dans la fenêtre en bas, il n'y a rien?
- ah, dans la fenêtre en bas? Si, il y a un truc, vous avez raison.
- et ça dit quoi? D'abord, est-ce que c'était là avant que vous ne tapiez 5?
- oh je ne sais pas. Ca dit "Erreur à la ligne 6734"
- ça dit ça??? en Français?!
- euh non, en Anglais
- 6734, ou 06734?
- euh... oui, 06734
- etc.

L'intérêt d'un tel conflit d'interprétations est de faire prendre conscience au débogueur des mécanismes cognitifs qu'il met en oeuvre à son insu, qu'il n'aurait pas perçus dans de "meilleures" conditions de travail.

Si j'avais été devant l'écran j'aurais immédiatement vu du coin de l'oeil le renseignement qui m'intéresse, et j'aurais agi en conséquence par réflexe : ce mode de fonctionnement ne permet pas d'expliquer, a posteriori, comment telle hypothèse m'est venue à l'esprit.

Ce conflit d'interprétations met d'autre part en évidence le fait que les deux personnes ne cherchent pas, ne voient pas, la même information sur un écran d'ordinateur. Si un seul des 1024x856 pixels n'est pas de la bonne couleur, cela pourra sauter aux yeux dans certaines circonstances, alors que l'utilisateur, préoccupé par la forme anormale de son graphique, ne le verra pas. Chacun ne perçoit d'un événement qu'une petite partie de ce qu'il y a à percevoir, et cela est attribuable autant à une "orientation" des sens qu'à leur "imperfection". D'où le conflit des interprétations.

5.3. *Conflits (voulus) entre débogueurs*

Il arrive parfois qu'au bout de plusieurs heures de recherche on ne soit pas plus avancé. Il est alors sain, lorsque c'est possible, d'aller exposer son problème à quelqu'un, pas nécessairement plus "fort". Le premier intérêt est de s'obliger à faire une synthèse des informations que l'on a recueillies. Le second est de s'exposer au feu roulant des "questions idiotes" de quelqu'un qui n'a pas étudié le problème, et qui travaille donc sur son interprétation de votre interprétation, et non pas sur celle qu'il pourrait se construire du problème :

- as tu pensé à [xxx] ?
- oui bien sûr, c'est la première chose que j'ai testée
- ça se produit aussi quand tu [yyy] ?
- oui évidemment. Ah, attends, euh, tu as raison, c'est tellement évident que je ne l'ai pas testé.
- etc.

6. Tentative de synthèse

La figure ci-dessous est adaptée de [Kor 33], ouvrage fondateur de la Sémantique Générale.

Evènement : nombre indéfini
de caractéristiques

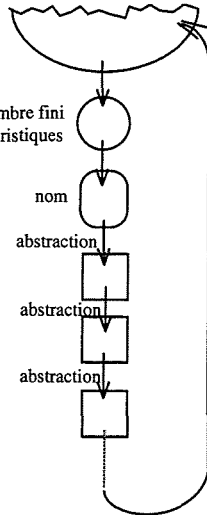
objet : nombre fini
de caractéristiques

nom

abstraction

abstraction

abstraction



Elle représente le cheminement depuis l'évènement (ce qui peut être observé) jusqu'aux représentations que nous nous en faisons (à différents niveaux d'abstraction⁵), en passant par l'objet (ce que nous percevons de

⁵"abstraction", ici, ne signifie pas seulement "suppression d'information", mais

l'événement) et le *nom* que nous lui donnons d'emblée. On remarquera que la figure boucle, traduisant ainsi d'une part que l'observateur fait partie de l'événement, et d'autre part que les abstractions antérieures qu'il a conduites modifient sa perception.

6.1. Si le débogueur a accès au programme

L'événement, ici, consiste dans le fait que le débogueur tape quelque chose sur son clavier, ou clique avec sa souris, et observe quelque chose sur son écran.

L'objet sera le conflit entre ce qu'il observe sur son écran (sachant qu'il ne voit pas tout ce qu'il y a à voir) et son attente.

Le *nom* sera la manière dont il décrit ce conflit, c'est à dire la première interprétation qu'il en fait : tels détails -bien que perçus- seront négligés, tels comportements -bien que non perçus- seront inférés. Par exemple :

- la couleur du fond est normale, je ne m'en préoccupe pas ;
- le programme est en train d'exécuter la fonction toto (je ne le vois pas mais j'en suis sûr).

Il va ensuite provoquer de nouveaux événements (expériences) pour délimiter l'espace des CAB (cf §3.), c'est à dire l'espace des cas où il détecte encore le conflit, par opposition aux cas où il ne le détecte plus. Ces expériences reposent d'une part sur l'interprétation du bogue initial (inutile de tester ceci, ce n'est pas en cause), d'autre part sur l'interprétation qu'il fait du code-source (ce code teste la valeur de telle variable, y a-t-il encore bogue si je change cette valeur?). En d'autres termes, ces expériences vont permettre des généralisations et des *abstractions* successives

ce n'est pas la valeur 5 qui est en cause, ce sont toutes les valeurs positives...

Mais ces expériences -chez le débogueur "professionnel"- sont d'autre part dictées par le fait qu'il a *conscience d'interpréter* :

si je voyais tout ce qu'il y a à voir sur l'écran et dans le code source, le problème serait résolu, mais je sais que je ne peux pas tout voir ; d'ailleurs je n'essaie même pas, ne serait-ce que par souci d'économie.

6.2. Si le débogueur n'a pas accès au programme

L'événement, dans ce cas, est l'interprétation que le "client" fournit du bogue, puis les résultats successifs qu'il annonce lorsqu'on lui demande de

également "ajout d'information", résultant de l'expérience antérieure de l'observateur : voir par exemple les peintures en trompe l'oeil, auxquelles on ajoute inconsciemment une troisième dimension.

procéder à des expériences, sachant qu'il est possible qu'il ne fasse pas exactement l'expérience qu'on lui a demandée. Certaines contr-expériences seront peut-être nécessaires pour s'assurer de la fiabilité de l'information.

Le débogueur, pour construire son *objet*, fait alors intervenir, en plus de la connaissance qu'il a du programme, celle qu'il a du client, ce qui le conduit parfois à un autre *nom* que celui que le client a suggéré d'emblée : en particulier, il aura tendance à soupçonner les données alors que le client soupçonne le programme.

Conclusion

Comme la plupart des activités de diagnostic, le débogage est provoqué par le conflit de deux interprétations (ce que l'on attend et ce que l'on observe), et passe par l'interprétation d'un conflit (voilà pourquoi le programme ne fait pas ce que l'on attend de lui). Consciemment ou non, le débogueur "professionnel" met en oeuvre, à chaque étape, une méthode fondée sur le doute : ce que je pense n'explique pas ce que j'observe, donc ce que je pense n'est pas correct.

Références

[Kat 88] Katz, I.R., Anderson, J.R., Debugging : An Analysis of Bug Location Strategies, *Human-Computer Interaction*, n°3, 1988.

[Kla 93] Klahr, D., Fay, A.L., Dunbar, K., Heuristics for Scientific Experimentation : A Developmental Study, *Cognitive Psychology*, n°25, 1993.

[Kor 33] Korzybski, A., *Science and Sanity : An Introduction to Non-Aristotelian Systems and General Semantics*, International Non-Aristotelian Library Publishing Company, New York, 1933.

[Mas 98] Masmoudi, S., *Modélisation cognitive de l'expertise de débogage de systèmes informatiques complexes*, thèse de l'Université Lumière Lyon 2, Juillet 1998.

[Pen 90] Pennington, N., Grabowski, B., The Tasks of Programming, in J-M. Hoc, T.R.G. Green, R. Samurçay, D.J. Gilmore (Eds), *Psychology of Programming*, Academic Press, London, 1990.

[Ves 89] Vessey, I., Toward a Theory of Computer Program Bugs : An Empirical Test, International Journal of Man-Machine Studies, n° 30, 1989.

Le travail d'interprétation du travail coopératif

Rachel ISRAEL

Eurisco, 4 av Edouard Belin, 31400 Toulouse

Université Technologique de Compiègne

Israel@oncert.fr

1. Introduction

Le cadre général de ce travail est l'outillage, technologique et organisationnel, de la mémoire collective pour le travail coopératif. Ce papier rend compte des conflits d'interprétation au sein de groupes de travail coopératif, et de la façon dont les collectifs et les individus les interprètent et les régulent. J'y analyse les caractéristiques des régimes d'affrontement et d'accordage des interprétations en situation de travail coopératif. Aujourd'hui, l'hétérogénéité des points de vue rassemblés par un management "orienté projet" met en présence, brutalement et de façon transitoire, des traditions interprétatives et des communautés de pratiques, provoquant des conflits d'interprétation. Il va falloir construire des lieux communs à habiter ensemble pour coordonner perspectives et activités. De plus, en l'absence d'une compréhension fine de la spécificité de l'organisation coopérative du travail (qui est récente et reste encore à explorer), les outils organisationnels et technologiques hérités de visions tayloristes ne constituent pas toujours un support efficace. Ces deux facteurs participent d'une augmentation du potentiel conflictuel au sein des groupes de travail coopératif. Pourtant, l'observation de deux de ces groupes travaillant en Projet-Plateforme (PP) a montré que ce potentiel s'actualise peu. Comment se régule ce potentiel conflictuel ? Quel est le rôle des conflits dans la dynamique de construction du sens de la situation ? Y a-t-il une spécificité de l'organisation coopérative du travail qui participe de cette régulation, et quelle est-elle ? Ce papier posera quelques premiers jalons pour répondre à ces questions, sans prétendre les épuiser.

Méthodologie

Le travail présenté s'appuie sur l'observation de deux Projet-Plateformes, avec comme double objectif l'observation des pratiques coopératives et celle du rôle des nouveaux outils sur les relations de travail (outils CAO incluant une maquette électronique dynamique). Les résultats ne seront pas toujours détaillés pour des raisons de confidentialité. Les deux PP ont donné lieu à un travail d'ethnographie et à des séries d'entretiens des acteurs, en situation de travail et à distance du PP. S'y ajoute une observation participante au titre de la traçabilité des décisions de

conception et du retour d'expérience afin d'améliorer la compréhension et l'organisation des groupes de travail coopératif.

Plan du papier

Je discuterai d'abord la notion de coopération, qui me semble être encore à mieux définir, en liant cette notion d'une part au fondement mimétique de la construction des objets partagés, et d'autre part à l'évolution des modes d'organisation du travail collectif, de façon à intégrer les mécanismes inconscients de la coopération au mode organisationnel qu'est la coopération. Je présenterai ensuite une description de principe du travail en PP. Quelques types de conflits observés y seront détaillés. Faisant le constat de l'augmentation des conflits potentiels liés à l'organisation coopérative du travail, j'examinerai ensuite les principaux moyens mis en place, intentionnellement ou non, par le PP pour les réguler. Je pointerai alors le rôle de l'imitation et de l'empathie ; celui de la construction de fictions interprétatives, que j'appelle hyperthèses, qui stabilisent des données "techniques" plus ou moins cohérentes en information permettant l'élaboration d'un contexte problématique stabilisé ; j'aborderai également le rôle de l'élaboration et la propagation de métaphores participant de l'identité que se donne le plateau, et qui sont pour ses membres des images motrices ; je replacerai ensuite ces facteurs dans le cadre d'une individuation individuelle et collective qu'autorise une spécificité essentielle du PP : l'émergence d'un régime d'autorité situé et dynamique. Reprenant cette spécificité en termes nietzschéens, je proposerai une perspective qui pose la coopération comme modèle organisationnel privilégiant la mise en rapport de volontés de puissance redéfinissant leur capacité d'effectuation et les valeurs qui vont les hiérarchiser ; ce modèle favorise la dynamique de l'accordage. Il s'oppose au modèle de la mesure d'écart relatif à des valeurs imposées par un pouvoir extérieur, et qui coupe les forces de leur potentiel et favorise le conflit. Je conclurai en intégrant à la définition de la coopération les conditions d'émergence d'un tel régime d'autorité, ce que je traduis de façon plus opératoire par la présence des acteurs dans les boucles de conception organisationnelle. Ces conditions sont managériales, bien sûr, mais reposent aussi sur la maîtrise affective dont font preuve les individus, et qui les conduit à maintenir une capacité d'être affecté, parfois durement, par la rencontre d'autres points de vue, en privilégiant dans les conflits potentiels, la similitude et l'accordage plutôt que la polarisation sur les différences. Je soutiendrai donc que le conflit en tant que tel n'est en aucun cas moteur. Il n'est qu'une phase dans une dynamique de l'accordage qui est non seulement motrice, mais aussi inéluctable.

2. Mémoire collective et travail coopératif

2.1. La mémoire, un processus de sélection

- l'unité organisation/mémoire

Mémoire et organisation sont deux perspectives sur une même chose, ce qui fait qu'agir sur l'un des termes, c'est déjà agir sur l'autre (Israel et Salvador 98). L'organisation d'une mémoire collective doit donc être cohérente avec le type d'organisation qui l'élabore. C'est pourquoi, visant la coopération, on doit spécifier une mémoire d'entreprise *pour* la coopération. Il est donc essentiel d'affiner la spécificité de la coopération pour établir la spécificité des événements "coopératoires" à mémoriser.

- la sélection intentionnelle

La dynamique des mémoires industrielles "techniques" qu'il s'agit d'outiller, pose la même question que celle de toute mémoire collective : depuis la construction des événements (découpage du flux de la praxis en points saillants, en singularités) à leur évaluation en vue de leur inscription, on a affaire à un processus de sélection (que mémoriser/oublier ?), donc à l'élaboration d'une critériologie. Qui l'élabore, comment et dans quels buts, relève d'un rapport de forces. Chaque force correspond à un intérêt. Mais toutes les forces qui vont être affectées par le processus de sélection ne sont pas toujours représentées dans la construction des critères. Or, ces critères définissent des valeurs, des filtres interprétatifs. La façon dont ces valeurs sont imposées par un pouvoir, ou reconnues et redéfinies comme émergentes du jeu des forces, est cruciale et dépend du mode d'organisation qui structure les activités. La sélection intentionnelle de ces valeurs questionne la genèse de l'échelle qui les constitue et les hiérarchise, et cette genèse ne peut être réduite à un processus sélectif intentionnel.

- la co-sélection inconsciente

De fait, l'interprétation qui oriente les approches de la mémoire des entreprises s'en tient à la mémorisation intentionnelle. Cette interprétation passe sous silence un mécanisme essentiel de toute reproduction/transmission, la tendance à imiter ; comme elle échappe à l'intention et à la conscience, elle se trouve de ce fait radicalement écartée d'un système de valeur fondé sur un ensemble de fictions où l'individu volontaire, performant, motivé, libre de son destin et maître de sa réussite a le premier rôle. Intégrer la réalité de la tendance mimétique aux questions de reproduction des savoirs permet de pointer trois principes. Toute imitation étant interprétative (on n'imité que ce qu'on peut assimiler

(Piaget 1935) il faudra d'abord admettre l'illusion à vouloir contrôler la reproduction à l'identique des modèles (normes, règles etc). Ensuite, il faudra reconnaître la nécessité d'une articulation adaptative forte entre un modèle et ses interprétations situées, pour assurer l'évolution du modèle sur la base des assimilations qui en sont faites. Enfin, il faudra intégrer le principe d'une co-sélection non intentionnelle première, qui construit les objets avant qu'ils ne soient réévalués en conscience.

2.2. La coopération

- la coopération comme mode d'organisation du travail

La définition habituelle de la coopération renvoie à un individu premier, déjà constitué qui, constatant ses limites, s'associe à d'autres pour les dépasser. Appliquée aux situations de travail industriel, sa définition canonique, issue de Marx, puis de Barnard (Maggi 98), est fondée sur ce principe. Elle a vu le jour dans une perspective située, l'évolution du travail comme valeur, comme norme et comme pratique au 18ème ; elle est aujourd'hui reprise majoritairement par la communauté CSCW (Computer Supported Cooperative Work) qui entend supporter en l'outillant le travail coopératif (Cardon 1996). Quand il ne peut plus agir seul sur le monde pour le transformer, l'homme coopère avec ses semblables. Il organise alors des "actions orientées vers un but commun" (Maggi), le but étant relatif à une augmentation de capacité. Outre que cette définition s'applique à toute forme de travail collectif, quelques voix commencent à dire les limites de cette conception de la coopération, pointant un mécanisme *"the form of cooperation is the generative mechanism of the entire edifice of the social system of work [...] the category of origin"* (Iljenkow 1960 in Cardon 96, p80) ou encore une interdépendance initiale *"the conceive of Cooperative Work in term of actual interdependance in work, as opposed to the notion of cooperation as institutionnal subjection of individual self-interests to a putative common good [...]"* (Schmitt, ibid p 107). Toutefois, aucune mécanique n'est proposé pour expliquer cette interdépendance.

- la coopération est première

Je ne développerai pas ici l'assise théorique d'un cadre qui reconnaît l'importance de l'imitation (Tarde 1890, Jousse 1974, Salvador 1996) et en particulier, son rôle dans la genèse de l'individu (Salvador 1996) et du social. Mais dans cette perspective, la définition traditionnelle de la coopération se trouve modalisée. En effet, la coopération devient alors première. Elle est une condition de la genèse de toute intersubjectivité : dans une perspective constructiviste, je ne peux m'assurer de la réalité du monde que j'habite qu'en confrontant et ajustant ma vision à celle de mes

semblables, qui font de même en raison d'un processus mécanique d'imitation mutuelle. Cette forme de coopération, bien qu'inconsciente, est première au sens fort de co-opérer, où "opera" signifie œuvre. Il s'agit de la création d'un monde d'objets communs parce que co-stabilisés. La coopération est donc première et condition d'individuation. La position d'individu, toujours psychologique ET social, n'existe dans aucun "avant" solipsiste : elle émerge du regard des autres, et s'établit à partir des possibilités qu'offre l'institutionnalisation des rôles et des positions sociales comme modèles ; il reste à en hériter, à la déchiffrer, à l'assimiler pour stabiliser sa propre position dans un (des) groupe(s) (le devenir membre de l'ethnométhodologie, l'habitus de Bourdieu etc) ; position à partir de laquelle l'individuation psychique et collective demeure continue, mais produit toujours des "individus de groupe" (Simondon) plutôt que des groupes d'individus. Cette forme de coopération est "antérieure" (du point de vue de sa phylogenèse) à la coopération interindividuelle intentionnelle.

Il me semble essentiel d'articuler ces deux perspectives sur la coopération, qui apparaît non parce qu'elle serait une visée morale, altruiste ou utilitariste menée par des individus libres, mais d'abord parce qu'elle repose sur la mécanique mimétique. Elle fonde le double processus d'émergence des individus et des communautés de pratiques, par assimilation inconsciente continue et mutuelle. Sur cette interdépendance archi-élémentaire, la conscience, la réflexivité individuelle et collective, construisent des normes, et des traditions interprétatives qui peuvent, elles, être utilitaristes, altruistes etc. On parle alors de moyens pour des fins intentionnelles, par lesquelles se déterminent des buts partagés, des morales ou des valeurs de vérité. C'est alors que coopérer prend son second sens. Toutefois, l'organisation des activités de travail peut revêtir plusieurs modalités, et il reste alors à définir différenciellement la coopération, par rapport au travail collectif ou collaboratif, par exemple. L'émergence de la modalité "coopérative" aujourd'hui vient d'une ré-interprétation de l'efficacité du taylorisme, sous la pression de forces internes (constat de la pertinence des transgressions adaptatives des règles par les pratiques) et externes (milieu économique perçu comme plus instable, et demandant réactivité et souplesse). Le travail coopératif, et en particulier le travail en PP dont il sera question, est alors "actions partagées pour un but commun", définition que je ne partage pas, et j'y reviendrai, mais que j'adopterai provisoirement, car c'est celle qui soutient l'organisation du travail en PP.

3. Le travail coopératif en Projet-Plateforme

3.1. Descriptif du travail en Projet-Plateforme (PP)

- principe, objectif et réalité du PP

Le principe du PP est de regrouper pour une mission de conception un ensemble de métiers issus de différents services : on cherche à intégrer dès la conception d'un produit toutes les contraintes de son processus de réalisation, depuis la demande du client jusqu'aux conditions de mise sur le marché. Le PP est aussi appréciée pour les coopérations multi-culturelles, et accueille alors une équipe du pays partenaire. D'abord utilisé pour développer des avions nouveaux, ce principe d'organisation est aujourd'hui également mis en œuvre pour la réalisation rapide (6 à 9 mois) de gros aménagements sur des avions existants. Cela implique d'importantes modifications de la structure de l'avion et des systèmes associés (air, eau, oxygène). Les PP 1 et 2, dont il sera question sont de ce type.

Concrètement, les différents métiers de conception sont regroupés dans un même lieu, pour la durée des travaux d'études et de conception. Les échanges d'information et les itérations en sont facilitées. La modification est divisée en lots selon les zones de l'avion, chaque lot est pris en charge par un responsable de l'entreprise, parfois assisté de jeunes embauchés, qui coordonne une équipe composée de dessinateurs, majoritairement des sous-traitants. Une équipe calcul valide tous les plans. L'intégration des plans CAO fournis par chaque équipe de conception est opérée en continu par les intégrateurs maquette (IM) dans une maquette électronique qui donne à voir le travail de tous. Chaque équipe occupe l'un des grands bureaux qui s'ordonnent des deux côtés d'un couloir central, et une ou deux salles de réunions accueillent les discussions collectives. Selon les besoins, les métiers de la qualité, de la production, de la maintenance passent ou s'installent pour un temps sur le PP. Les petits PP de modification avion représentent 30 à 40 personnes. Un responsable PP coordonne toutes les équipes, ainsi que les relations avec l'environnement hiérarchique et fonctionnel

- interprétations de PP

Dans le langage courant, il semble en premier lieu que le PP désigne le regroupement physique dans un même lieu. A l'usage, les définitions du PP sont plus fluctuantes, et se rattachent à trois perspectives. D'un point de vue territorial, la définition recouvre ceux qui occupent ensemble le même étage du même bâtiment ; elle évolue avec le cours du PP. Sociale, elle désigne les membres du département des études, détachés en PP, qui se re-trouvent en famille. Les autres services concernés n'y sont pas

assimilés malgré leur présence physique. Historiquement enfin, la définition du PP maintient la frontière qui sépare les métiers de production des métiers de conception, métiers "nobles", et qui renvoie au temps où *"la prod se mettait en quatre pour faire exactement ce que voulait le département des études"*. Aujourd'hui, résultant des politiques de productivité et de rentabilité, standardisation et machines à commandes numériques ont quasiment inversé la tendance. Mais les cartographies historiques, elles, évoluent lentement. S'y ajoute mon propre découpage : je dis "le PP" pour parler de l'ensemble des acteurs de la modification, car les "nouvelles" technologies de la communication et l'organisation coopérative du travail portent des configurations de travail plus labiles et moins dépendantes des découpages traditionnels, dont on reconnaît les limites. Ces différentes perspectives ont parfois du mal à se superposer, gênant les représentations et les attentes mutuelles des diverses composantes concernées par le PP, et rendent parfois difficiles l'évaluation de la pertinence des données et informations qui s'échangent.

- spécificités des Projet-Plateformes observés

Deux PP ont été observés, et ont développé des profils spécifiques. Les exemples cités seront majoritairement empruntés au PP 1. Le second, en cours, servira ponctuellement à pointer similitudes ou différenciation. Je chercherai à mettre en évidence les conditions qui permettent à un PP d'asseoir une identité forte, et par conséquent, de faire face aux conflits qu'il rencontre sans augmenter ses propres conflits internes. Ces deux PP sont des modifications "mineures", par rapport aux PP de conception d'avions nouveaux, plus prestigieux et plus longs, qui absorbent l'essentiel des compétences disponibles (ils sont qualifiés de "pompe à compétences"). Chaque PP est sous la responsabilité d'un pilotage Management Produit Avion (MPA) avion, auquel il rend compte. Les différents métiers concernés par les modifications techniques sont sous l'autorité du chef de PP, mais restent rattachés à leurs services (en particulier, les concepteurs sont liés au département des études). Les rapports de pouvoir croisés entre département des études, PP et MPA sont très variables.

La responsabilité de la modification est concentrée sur le PP1, qui, fait rare, gère son propre budget. Il accueille une équipe allemande. En dehors du reporting traditionnel, le MPA1, qui pilote de PP1, n'intervient qu'à la demande du PP sur des points bloquants. L'usage de technologies nouvelles non stabilisées (premier usage à échelle 1) confronte leurs utilisateurs aux inévitables chutes du réseau (de 2h à 2 jours) et problèmes CAO (lenteur, commandes instables...) ; c'est un facteur très perturbant

pour une modification soumise à des délais très serrés, disposant de ressources humaines dans l'ensemble peu formées aux outils nouveaux ou au travail en PP, et parlant peu anglais, langue commune des PP interculturels. Le profil du PP 1 inclue souplesse, "autonomie" assumée, motivation : pour ses membres, le PP est "leur bébé"; l'identité du PP est forte. Tout obstacle la renforce (cycle vertueux). Les décisions sont prises vite et localement, en intégrant les diverses contraintes. On peut noter qu'avec la même configuration théorique, le PP2 aura du mal à asseoir son identité. La non-émergence d'un régime d'autorité local conduira à un conflit larvaire entre département des études et MPA, qui se jouera sur le plateau, et pour le "soutenir", mais qui gênera son individuation.

3.2. *Genèse et typage de conflits observés*

- le travail coopératif agit comme connecteur

Chacun des métiers rassemblés en PP est porteur de schèmes d'assimilation spécifiques à son point de vue et à son activité. Ces traditions interprétatives, qui se connaissent plus ou moins bien, et se trouvent brusquement rassemblées et confrontées sans préparation. Le PP agit alors comme un connecteur direct de mondes sociaux (services, métiers...) médiatisés dans l'organisation traditionnelle par un système de représentation catégorisé en responsables, coordinateurs, niveaux hiérarchiques, servant de "passeurs" et d'herméneutes attirés entre des mondes assez fortement cloisonnés.¹ Chaque membre doit alors construire les représentations qui lui permettront de gérer frontalement les attentes et les demandes de données, d'information, de comportements etc

Cette fonction de connecteur du travail coopératif est redoublée par les outils du concurrent engineering, en particulier par l'usage d'une maquette électronique, qui constitue plus particulièrement un connecteur temporel. Parce qu'elle permet le plus souvent d'éviter les longs délais de construction de maquettes physiques de validation (6 mois), elle connecte des logiques métier qui traditionnellement tiraient de leur position dans le découpage plus séquentiel du projet une part de leurs statuts réciproques. Elle concrétise un "présent commun" de co-validation itérative qui s'articulent encore difficilement avec les rythmes usuels des divers métiers et leurs besoins d'anticipation.

La fonction de connecteur d'échelles esquissée ici pousse les acteurs des PP à un travail d'assimilation important, mais désordonné. La stabilisation

¹ Le regroupement partiel en un même lieu d'acteurs issus de différents services du département des études ou d'ailleurs, constitue par ailleurs un isolement géographique des bases de travail habituelles de ces acteurs : ils perdent ainsi partiellement le bénéfice de leur réseau d'information et de soutien.

de représentations mutuelles n'est négociée qu'en situation de problème, et nombre de conflits d'interprétation en découlent.

- éléments d'une typologie des conflits

Si tous les conflits sont des conflits d'interprétation, ils peuvent cependant être spécifiés, et je m'attacherai à ceux qui me semblent caractéristiques des situations coopératives.

LES CONFLITS D'APPARTENANCE

Ce conflit appartient à la catégorie "interprétation des activités", plusieurs missions s'avérant peu définies. En particulier, les missions liées aux outils nouveaux, et les missions de sous-traitance.

La mission des intégrateurs maquette (IM), liée aux nouveaux outils de conception, s'est redéfinie sans conflits sur le PP. L'intégrateur maquette intègre les plans CAO dans la maquette électronique et procède aux contrôles de cohérence inter-plans. De fait, sa fonction ne cesse d'évoluer au cours du PP, en réponse à l'adaptation des outils, aux usages, et selon les besoins des équipes. C'est ainsi que l'IM fait du support outils, du supports méthodes, du support utilisateurs, des plans en cas de nécessité absolue, ré-écrit des méthodes non applicables, informe le service informatique des problèmes rencontrés, distribue pas mal d'informations car il est un centralisateur. La quantité comme la qualité de travail à fournir est loin de la définition du poste, et l'envergure de la mission sous-estimée. Mais le flou même de cette définition (que valider par un contrôle de cohérence des plans ?) en permet les interprétations nécessaires en fonction du contexte, au bénéfice du PP plus qu'à celui de l'IM, qui, en dehors du PP, n'est pas reconnu pour ce qu'il fait réellement. Les IM râlent, en rajoutent avec verveur, justesse et humour du fait de leur position "centrale" sur le PP, et ce faisant, contribuent à la publicisation et à la stabilisation de l'identité PP tout en dégonflant le potentiel d'agressivité face aux nombreuses pannes d'outils et de méthodes qui affectent tout le monde. L'évolution de la missions des IM se traduit par une multi-appartenance dynamique qui leur permet d'adopter successivement différents points de vue, et de redéfinir en conséquence leurs outils méthodologiques, leurs pratiques, leurs fonctions et leurs discours. Les assimilations et rejets qu'ils opèrent sont imités et interprétés par l'ensemble du plateau, participant à la stabilisation globale de l'identité du plateau.

Toute autre est la situation des sous-traitants, et l'un des conflits déclarés se situe au niveau de la définition différentielle de leur mission sur et hors du PP ; il concerne la définition de l'appartenance, oppose deux

interprétations, la norme juridique et les pratiques d'organisation situées. Dans l'équipe E, la situation est la suivante :

- acte 1 : la nouveauté des outils et méthodes ne permet pas un recul suffisant pour qualifier et quantifier avec précision le travail, et le partenariat avec l'entreprise allemande pose des problèmes d'interculturalité. Par conséquent, la donne est ouverte avec le sous-traitant A, un sous-traitant global.², et la règle négociée est "faites ce qu'il y a à faire, on régularise ensuite", formule la mieux adaptée à la situation.

- acte 2 : l'entreprise allemande rencontre des problèmes imprévus, et ne peut envoyer un coordinateur sur le PP. Or la fonction de coordinateur est essentielle dans une culture où la coordination des spécialistes se fait formellement ou se fait mal. Les circuits d'information et de décision s'en trouvent affectés, ce qui s'ajoute à l'inertie communicationnelle, déjà forte. Les informations nécessaires à la mission des sous-traitants A n'arrivent pas.

- acte 3 : les sous-traitants A avancent leurs travaux sur la base des fictions techniques jugées les plus probables, tout comme l'ensemble du PP. En prévision d'une stabilisation tardive qu'il faudra traiter vite, le sous-traitant anticipe et obtient un calculateur supplémentaire pour le mettre dans le bain.

- acte 4 : le sentiment d'urgence et les angoisses "outils" sur le PP font monter la pression : pour tenir les délais, il faut avancer. L'équipe allemande a du mal à obtenir des informations cohérentes de ses bureaux d'études, sans doute en raison de circuits de sous-traitance complexes³. Les sous-traitants A font partie de la famille PP : ils s'impliquent fortement dans les interactions avec l'équipe allemande, répondent longuement et difficilement⁴ aux questions, refont des calculs, dans des conditions psychologiques parfois très difficiles pour les deux cultures.

- acte 5 : le temps du réajustement du devis arrive. Le décompte du sous-traitant A est jugé, sur les critères habituels de l'entreprise, deux fois trop élevé. Commence alors les demandes de justification, que les sous-traitants, en entretien, posent ainsi :

"Du coup, on va demander aux techniciens A, sur place, ce qu'ils ont fait, et on leur demande des comptes sur la pertinence de leur présence et du travail réellement effectué, dans le seul but de les déstabiliser et d'influer leur position pour le chiffrage. (...) Mais la solidarité bien réelle qui

² Le sous-traitant global prend en charge un lot de travail dont il est responsable, depuis la conception à la fabrication et livre un produit fini prêt à monter sur l'avion. Il s'oppose au ss-tt de capacité, qui ne fait que fournir des ressources supplémentaires sous la responsabilité du donneur d'ordre.

³ fiction inférée par les calculateurs français du plateau, qui sera tardivement et partiellement confirmée, conservant sa part de mystère.

⁴ en raison de problèmes de langue, et de l'absence de représentations mutuelles conduisant à des anticipations négatives

existait entre les gens de l'entreprise et A [sur le PP] dans les moments difficiles, (...), est rompue par la sensation de mise en doute quant à leur argumentation, que ressentent de facto les techniciens de A : ils ont le sentiment d'avoir joué à fond le jeu du PP, en étant partout où il fallait être pour avancer, mais que tout à coup, on change unilatéralement les règles du jeu pour regarder rétrospectivement le travail effectué, mais selon d'autres critères."

Du point de vue PP, la visibilité et l'utilité de travail réellement fait n'a pas été contestée. Mais du point de vue juridique et économique, le sous-traitant A, outrepassant sa mission, a fait un travail que personne ne lui demandait de faire, ce qui est strictement vrai ... et rigoureusement inexact. L'appartenance au PP, l'intérêt du groupe l'a largement emporté sur l'interprétation legaliste de leur mission, ce qui était "normal", puisque chaque partie faisait comme l'autre, prise dans une dynamique mimétique positive de comportement et de motivation. Pour le dire en termes nietzschéens, chaque force présente sur le PP a valorisé sa puissance d'exécution plutôt que de se retirer du jeu des forces en invoquant les pouvoirs qu'elle était ou non en droit d'exercer, et cette valeur était, bien que plus ou moins implicite, constitutive d'un accord fondamental soudant le PP.

- acte 6 : l'irruption d'un pouvoir lié à une autre échelle de valeur, dont personne ne conteste la légitimité, a fortement perturbé l'unité identitaire du PP. La fiction d'une appartenance commune, fondée sur le goût du travail bien fait et la dynamique motivationnelle mimétique, est mise à mal. Coté PP le malaise est tangible : empathiquement, chacun expérimente les deux positions, bien qu'il soit clair que les techniciens A soient plus choqués par la position legaliste de l'entreprise. Les deux logiques sont claires, mais localement inconciliables. Institutionnellement, le recours aux rôles traditionnels permet de régler l'affaire. De part et d'autre, une distance est marquée, source et moyen de détachement qui privilégie l'intérêt collectif. La position des sous-traitants a beau être très contrainte (le rapport de pouvoir est clair), c'est une question d'honneur et de métier qui se joue, et personne n'est prêt à perdre sur ce front. De fait, les sous-traitants continueront à privilégier la règle du PP au delà de leur engagement métier. Par la suite, même affaiblie du point de vue de la croyance consciente en l'unité du plateau, la dynamique mimétique motivationnelle primera. La fiction de l'appartenance commune se maintiendra de fait.

LES CONFLITS D'INTERPRETATION DE L'AUTONOMIE

Clôture du PP et définition située des règles

Ce conflit d'interprétation appartient à la catégorie "interprétation des normes", et se situe au niveau des définitions locales des règles de coordination du PP ; il concerne le problème de définition de d'une maîtrise globale, et oppose interprétation locale et globale des règles. Le PP doit définir ses procédures de gestion et de suivi des modifications techniques, car les procédures normales lui sont inadaptées. Il va donc jouer pleinement de l'autonomie dont il dispose, et quand un responsable département des études viendra rejoindre le PP au bout d'un mois et demi, avec une mission gestion des jalons projet et suivi budgétaire, ses premières actions seront de recalculer le PP :

"- B : *Quand je suis arrivé on était parti vers une modif ingérable. On aurait eu un mal fou à gérer la configuration de l'avion. C'était axé tout technique... Le déclencheur, ça a été d'aller expliquer aux autorités comment on allait travailler. Constat : on ne pouvait pas démontrer notre façon de travailler, il y avait trop d'incohérences. Les outils traditionnels permettent de gérer ça, mais on en sortait justement. (...) on a fait le groupe de travail [multi-métiers] : on allait vers une méthode cohérente en local, mais incohérente en global.(...) Alors on a fait marche arrière toute ! On s'est rapproché [de procédures types], (...) en impliquant la production, avec les outils dans la boucle etc. Aujourd'hui, on a un hors-normes "gérable". (...) une procédure pour s'assurer que tout le monde a bien eu l'info. On est allé tapé dans les méthodes existantes (...) on a fait des innovations, des comptes-rendus de réunions... la synthèse est encore à faire, on a des demandes, tout le monde la veut. Il y a un grand besoin de sécurité, de vue d'ensemble. (...) Et la grosse difficulté, c'est de n'oublier personne."*

L'articulation normes/pratiques est une question qui se pose en permanence dans toute organisation (Reynaud 96). En mode de travail coopératif, on voit l'intégration directe, brutale et éphémère d'entités ayant leurs propres pratiques — c'est à dire leur propre interprétation des normes. L'ensemble qui les réunit va lui-même devoir trouver son propre régime d'interprétation (puisqu'il est mis en place pour satisfaire des contraintes extra-ordinaires). L'exemple ci-dessus met clairement en évidence que, prise au pied de la lettre, l'auto-nomie — des règles pour soi— est un concept dont il faut se méfier. La coopération est au contraire la recherche de règles communes situées, négociées et stabilisées, qui doivent pouvoir servir de référence. Toute augmentation des potentiels interprétatifs appelle une autorité forte qui puisse trancher. En ce sens, coopérer est l'inverse d'un "moins" d'autorité. Par contre, la genèse de cette autorité évolue considérablement : elle doit pouvoir émerger par et pour une organisation locale, et négocier l'articulation des règles qu'elle se

donne dans un cadre externe bien défini. En termes nietzschéens, on peut dire qu'il s'agit de passer de rapports de pouvoir à des rapports de puissances (où un pouvoir se constitue en séparant une force de sa puissance d'effectuation).

LES CONFLITS D'INTERPRETATION DES FICTIONS : GENESE DES HYPERTHESES

Ces conflits appartiennent à la famille "interprétation des informations", et se situent au niveau des régulations locales du sens par le PP. Ils concernent la prise de décision et de risque, opposent des interprétations selon des pratiques métiers (tradition métiers) et des techno-logiques, correspondant à une assimilation excessive des modèles informatiques de la communication.

L'une des phrases qu'on entend le plus sur les PP est sans doute "on a l'info ?" On en déduit facilement qu'une information technique procède d'une logique binaire : on l'a ou on ne l'a pas. L'observation des pratiques dément cette belle simplicité. Il faut pouvoir construire des informations manquantes à partir d'indices, comprendre les informations disponibles, et croire les informations comprises ou incohérentes, c'est à dire les évaluer. Selon quels critères ? principalement des critères de cohérence technique et politique. Les premiers paraissent simples à déterminer, et ils le sont... à la fin du processus de conception. Mais en début de PP, l'activité principale est l'anticipation non des solutions, ni du problème, mais du cadre qui va permettre de poser un ensemble problème-solution par rapport à une logique supérieure, sociale et politique. Chaque tradition interprétative développe donc plusieurs théories du "comment se pose le problème", inférant les enjeux liés aux spécifications techniques : rentabiliser sa part de travail, poser un problème épineux ou coûteux pour qu'il relève de la compétence du partenaire, imposer le formalisme qui imposera les outils, comprendre les usages potentiels d'un élément dans divers contextes, assurer des coopérations futures etc.

Pour chaque théorie, il s'agit d'inférer les motifs qu'à l'autre quand il qualifie ou quantifie les informations qu'il envoie, et d'inférer qu'il fait de même en retour. Une fois ce cadre construit ("*ils*" disent ça parce qu'ils ne veulent/peuvent pas faire"; "*ils*" annoncent tels délais parce qu'ils prennent de la marge pour ..."; "*ils*" veulent nous rouler dans la farine, comme d'habitude "; il faut leur faire comprendre qu'on peut faire bien mieux que ce qu'ils demandent " etc., les problèmes peuvent être (re)posés. Cependant, en l'absence de rencontres, ces cadres sont postulés sans confortation mutuelle de leur pertinence. Ils constituent alors ce que j'appelle des hypothèses, et qui sont autant de fictions rendues

cohérentes, qui vont devoir être infirmées ou confirmées à chaque indice, à chaque interprétation. Et ce, jusqu'à ce qu'une ou plusieurs se dégagent comme les plus ou les moins probables. L'emploi des hypothèses se fait largement en conscience : on sait qu'on utilise une fiction provisoire, sans fondement solide sous-jacent (ce n'est pas une hypothèse) et qu'on lui attribue un statut hypertrophié, qu'il s'agira de maintenir pour avancer, et auquel on va croire en sachant qu'il faudra pouvoir vite y renoncer, ou devoir la maintenir en l'absence de feed-back sur son actualisation.

Ainsi, une série d'informations demandée par le département des études allemand est jugée incohérente avec les informations supposées techniquement pertinentes : le scénario d'une solution alternative, développée en solo et risquant de remettre indûment en cause le travail déjà fourni sur la base des solutions officielles, est élaboré et devient un schème d'analyse des informations entrantes. Ce scénario sera ou non actualisé, mais dans l'attente, il rejoint un ensemble de fictions nécessaires que tout le monde alimente, jusqu'au moment où l'une d'elle, plus cohérente et plus durable, capable d'assimiler un plus grand nombre de données, fera sens et deviendra vraie, deviendra vérité partagée. Chaque fiction, chaque schème de lecture relance un processus interprétatif qui conduit à interroger chaque nouvelle donnée qui arrive, et à pondérer les fictions disponibles, relançant le processus de sélection différentielle des fictions "vraies". Ces fictions permettent un accord différentiel sur le sens : une donnée fait sens selon la stabilité de sa position dans une fiction par rapport aux positions moins stables qu'elle peut occuper dans d'autres, et les fictions qui peuvent assimiler les autres l'emportent.

Ce fonctionnement s'est trouvé remarquablement illustré par une "panne" du processus de communication. La langue commune sur un PP franco-allemand est l'anglais, mais peu de membres du PP le parlent au-delà du vocabulaire technique et de phrases simples. Dans ces conditions, la langue fonctionne quasiment comme un code. Mais ce modèle shannonien ne fonctionne évidemment pas. Prenons un exemple, dont le scénario n'est pas exceptionnel, mais accentué :

Une information technique est demandée par Herr K, concernant la position des points de perçage haut et bas d'une ferrure en zone française, pour percer en face la zone allemande. Cette demande simple a provoqué une tension très dure, qui a affecté les équipes concernées pendant plusieurs jours. Herr K. demande son information dans la "tradition allemande", c'est à dire pour le lendemain, car on n'interrompt pas les activités d'autrui. En raison des problèmes de langue, il fait un croquis, que tout le monde s'accorde à trouver clair : la question est bien posée.

Les français assure que l'information étant disponible dans la maquette, on peut la chercher tout de suite. Mais le dessinateur de la zone s'est absenté, et personne ne sait où est le fichier concerné. Une heure s'est écoulée, et Herr K attend, triplement gêné parce qu'il assiste à un échec, qu'il a dérangé, ce qu'il avait voulu éviter, et parce qu'il est condamné à attendre par politesse alors qu'il a du travail. Le dessinateur revient, et ne trouve rien. Herr K retrace un croquis très simple, explique qu'il demande simplement deux points. On continue de chercher : rien. Soudain, un dessinateur fait remarquer que le bas de la ferrure concernée n'est plus dans la zone d'interface commune, et donc, n'a pas été modélisée. Cette logique semble dépasser Herr K, qui trouve élémentaire de dessiner le haut et le bas de la même pièce, et ne comprend pas la logique du découpage dans la maquette ; il retourne à son bureau. Les français se sentent pris en défaut, et ne comprennent pas l'enjeu de la question. Commence alors l'interrogation du problème (qu'est ce qu'il veut vraiment savoir ? pourquoi il a besoin de cette information ?), et la production de fictions, qui répondent toujours à des questions de contexte social : qui il est, à qui va aller cette information, de quel droit il la demande, il est sous-traitant, pourquoi "ils" reviennent sur le worksharing ? qu'est-ce qu'"ils" préparent ? etc. Les quantifications que j'ai faites à cette période (en période d'urgence) sont les suivantes : mesurés sur 3 demi-journées étalonnées, 85 % des temps d'échange verbaux, et 45% du temps global travaillé est consacré à questions qui restent sans réponses. Ces interrogations apparaissent dès qu'une solution à éclaircir ou à construire ne peut être reliée à un problème de façon cohérente ; certaines hyperthèses ne seront jamais éteintes, ou seront neutralisées par le temps.

Au-delà de la raison technique qui constitue sa raison d'être, il apparaît qu'une autre activité essentielle du PP est de produire des fictions pour faire sens des données qui circulent ou qui manquent, ainsi que les règles de production et d'évaluation de ces fictions, jusqu'à ce que des processus d'accordages les valorisent et les interprètent comme information. A première vue, les fictions produites par le PP apparaissent d'abord comme scénarii de conception, des choix techniques intégrant des contraintes connues et obéissant à des principes et lois physiques élémentaires. Mais nous avons vu que lorsque la communication se trouve effectivement ramenée à un échange de données techniques, un "codage de la réalité", il apparaît clairement que les processus d'interprétation se trouvent eux aussi en panne. Les fictions parlent de bien d'autres choses, et en particulier, du contexte social d'usage des données. Quand il n'est pas disponible, il est reconstruit, et sans confortation possible, la reconstruction ne se clôt pas. Le rapport référentiel mot-objet de l'anglais "technique" rend impossible

la construction d'un tel contexte. Malheureusement, rien n'arrête alors la production de ces hyperthèses, et comme le dirait Bachimont, le PP devient un hypotexte (Bachimont 1996), une multiplication à l'infini des lectures et interprétations possibles, sans qu'il soit possible d'en ancrer une dans un parcours interprétatif canonique (qui est fondé à dire quoi sur quoi, et comment). Dès lors, les rapports se distendent, malgré la bonne volonté réciproque des individus, parce que rien ne vient réguler ces conflits potentiels. L'ajustement, l'accordage, ne se satisfait pas d'un quasi code, et les relations informelles qui en France pourraient ré-orienter une interprétation plus stable, n'apparaissent qu'après les échanges formels dans la culture allemande.

Dans un mode d'organisation coopératif, qui laisse une part plus large à l'indétermination initiale, les conflits d'interprétation liés à l'appartenance, à la définition des missions et des règles situées sont potentiellement accrus ; la stabilisation sur un sens commun est rendu plus difficile par la méconnaissance mutuelle initiale des partenaires en présence, en particulier sur le contexte social qui dit l'usage et la pratique des informations. Le recours aux hyperthèses y pallie jusqu'à un certain point, mais peut également générer des conflits. Pourtant, les conflits évoqués, s'ils sont bien caractéristiques de problèmes quotidiens, sont majoritairement réglés avant de devenir importants.

3.3.Régulation des conflits : règlements de contes à OK Coral ?

La faible actualisation des conflits potentiels tient à de multiples facteurs. Une typologie des principaux modes de régulations observés peut être amorcée, qui révèle une spécificité de l'organisation coopérative du travail. Cette spécificité, qui est celle de l'émergence d'un régime d'autorité situé, permettra d'aborder la position des conflits dans la perspective d'une dynamique d'accordage. Il sera alors possible de redéfinir la coopération comme mode d'organisation favorisant ces dynamiques d'accordage, parce que favorisant les processus d'assimilations.

- la régulation par le défi

La maîtrise du métier traditionnel, le professionnalisme est certes un facteur d'explication : les critères de qualité comme les délais sont très vite interprétés comme un défi à relever prouvant la capacité des métiers à y répondre. Les objectifs du PP trouvent alors une place dans la motivation individuelle, et ce d'autant plus facilement que les

compétences individuelles sont dynamiquement valorisées sur la base des besoins et des compétences situées, voire en train de s'élaborer.

- la régulation par l'émergence d'une autorité située

Le contrôle institutionnel s'exerce sur le PP ; cependant, il s'avère quasi puéril au regard de la maturité des régulations opérées par les membres du PP dans son activité quotidienne. Le fait du contrôle n'est pas en défaut dans son principe : le besoin de règles, de critères d'évaluation, de normes est réel, et même d'autant plus fort que les possibilités d'adaptation locale sont élevées. C'est le principe de sa genèse qui est interrogé par les régulations individuelles et collectives du travail coopératif : la mise en forme d'un registre d'autorité émergent, puis expérimenté, négocié et stabilisé, bien que de façon parfois fort implicite. Ce régime permet la mise à plat des points de vue locaux, la reconnaissance des expertises de terrain, la négociation et l'aménagements des normes si nécessaire. Je reviendrai sur l'analyse de ce facteur qui me semble déterminant pour définir ce qu'est la coopération. Le PP est un espace à la fois réel et imaginaire de transgression, donc de risques assumés d'avance, et le jeu est extrêmement sérieux (professionnalisme oblige). Espace de transgression signifie espace de création de valeur, de critères, de règles. Pratiques locales dont la maîtrise repose sur un ou deux individus, règles localement normalisées, aménagement officiel des méthodes etc, les repères élaborés sont aussi l'une des productions du PP ; ils constituent une condition de son fonctionnement, clairement et collectivement souhaités et élaborés, même dans l'urgence. Repérées alors au vol dans le cours d'action, stabilisées en modèles et imitées, les pratiques les plus efficaces ou les plus mûres se propagent vite.

- la régulation par l'empathie

Il faut également souligner les processus d'empathie. Non seulement l'empathie inconsciente déjà évoquée, mais aussi l'empathie contrôlée, efficacement mobilisée en situation de crise, sur le thème amorceur de : "*ils* doivent avoir les mêmes problèmes que nous" ou "remarque, *ils* doivent être mal aussi". Avec et après Simon, on a beaucoup modélisé d'acteurs à la rationalité limitée, trop peu sans doute d'acteurs à l'affectivité maîtrisée, attentifs à repérer le semblable pour minimiser le potentiel conflictuel quand il est perçu. Pourtant, cette capacité renouvelée d'être affecté, vécue sur le mode du mouvement forcé mais moteur plutôt que de la frustration ou de la lutte, est un élément majeur de la régulation des conflits. De surcroît, la multi-appartenance, qui croît au sein des organisations coopératives, fournit les conditions d'apprentissage de la décentration. La capacité à adopter plusieurs points de vue et à évaluer selon différents critères se développe, et l'interprétation de son rôle et de

ses fonctions devient plus contextuelle. Contrairement à certains clichés du management participatif, motivation et distance ne sont donc pas à opposer au pré-texte de coopération forte.

- la régulation par les métaphores

Quelques métaphores ont assez rapidement contribué à donner forme à l'énergétique du PP, constituant un modèle d'interprétation de la situation largement assimilée, portés par les "grandes gueules" du PP, et souvent paraphrasées. Par exemple, la clôture d'une discussion informelle avec les intégrateurs maquette, posant le rapport technologie/efficacité à propos des outils maquette-cao, a vite marqué la nature de la relation des membres du PP aux outils et méthodes imposés :

- IM A : *on doit gagner les 24 heures du Mans et on nous donne une deux-chevaux*

- IM B : *tu rigoles ! non, on a une ferrari, mais on ne peut rouler que sur les chemins de terre*

Ou encore, cette notice, "proposée" en réunion de PP pour les pieds-de-page des comptes-rendus, et vouée à pointer les contradictions institutionnelles qui demandent à la fois une traçabilité des décisions et pratiques de conception (écrire ce qu'on fait, faire ce qu'on dit) et une élimination avertie des informations jugées indésirables : *"Attention, ce compte-rendu contient des informations qui pourraient nuire : usage modéré"*.

Ces deux vérités situées n'ont pas encore trouvées à être entendues, alors même que l'intelligence collective locale s'affirme de plus en plus mûre pour dégager les problèmes de fond et évaluer leur pertinence.

- la régulation par les fictions, objets transitoires d'accord

Nous avons vu que chaque équipe, chaque individu agit en conteur pour projeter l'avenir du PP, façonnant ses fictions nécessaires, tout en produisant les règlements empiriques qui vont les transformer en esquisses, en activités, en information. Ces fictions permettent l'expression sub-symbolique (imitation d'une attitude, mimiques...) ou l'inscription symbolique (mots, croquis) des points de vue. Autour des objets de cette exteriorisation, les intérêts (forces) en présence se redéfinissent mutuellement, se différencient ; l'assimilation qui en résulte permet de constituer ce sur quoi on peut s'accorder, et ce sur quoi on ne peut pas être d'accord. Cette stabilisation hiérarchise les points de vue en déterminant leur valeur, leur caractère essentiel ou secondaire, par l'émergence de fictions dont certaines vont devenir vérité située. Ces fictions sont d'abord des objets d'accord transitoires. Elles synthétisent

deux phases d'un même processus : d'abord, la nécessaire ambiguïté qui garantit un devenir aux forces en présence et permet leur redéfinition mutuelle dans la construction d'un contexte problématique commun. C'est une phase qui se traduit par une augmentation potentielle des conflits d'interprétation, puisqu'il y a différenciation maximum. Elle conditionne la phase d'accordage qui peut alors s'opérer, constituant peu à peu une échelle de valeurs commune, qui permet de qualifier une unité de sens - une fiction interprétative. Dans tous les cas, la stabilisation d'une hypothèse en vérité partagée lui donne un statut doublement particulier : a) elle a été assimilée par le plus grand nombre b) elle est publicisée, ce qui la rend plus inscriptible, durable, et donc particulièrement offerte aux interprétations qui la renforceront.

- régulation et affects

L'un des constats qu'a permis le PP 1, c'est la capacité des forces en présence à être tour à tour affectante ou affectée, assimilante ou assimilée en fonction d'une logique collective située. Et ce, non pas sur le registre de l'effort (il est réel, mais conséquence) ou de l'altruisme claironnant (la solidarité existe, mais ne s'affiche que face à un problème), mais en vertu du même plaisir à poursuivre la même image motrice, que chacun contribue à construire dans une espèce de conscience flottante, sur le mode de l'humour et du jeu, c'est à dire de la distance et de l'implication, non sans qu'il s'accompagne de la violence des rapports de force, des doutes et des échecs.

3.4. *Coopération et processus d'accordage*

- limites de la prise en charge individuelle des régulations

Même si l'on peut observer l'efficacité de la régulation locale des conflits, elle s'avère très coûteuse pour les individus. Il est donc nécessaire à la fois de reconnaître la réalité des pratiques coopératives, et d'en outiller les bonnes conditions de fonctionnement. La constitution d'une mémoire qui inscrive et transmette le contexte social, et en particulier, les expérimentations coopératives pourra contribuer à l'apprentissage d'une nouvelle expertise collective.

- conflit et dynamique de l'accord

Nous avons vu avec l'approche mimétique de la coopération que besoin d'accordage est mécanique. Il est donc naturel qu'il s'opère. Bien que nous ayons constaté la production effective des processus d'accordage en organisation coopérative, certaines conditions en gênent l'expression et portent l'accent sur le conflit.

L'accordage doit pouvoir s'opérer dans un cadre qui favorise les processus de construction d'objets provisoires, autour desquels s'opéreront la reconstruction des points de vue, puis la stabilisation des interprétations communes. Un tel cadre doit reconnaître le rôle des conflits, qui ne sont pas à opposer à l'accordage, mais constituent une étape dans un cycle interprétatif. Les conflits pointent des désaccords qui demandent à être différenciés, catégorisés, assimilés, afin que les processus de co-sélection stabilisent un objet pertinent. L'ouverture du contexte problématique, puis sa stabilisation et sa clôture doit pouvoir être opérée par tous ceux que le problème concerne. C'est en ce sens qu'on désigne trop vite le conflits comme moteur. Mais quand bien même il peut être perçu comme source d'adaptation positive, c'est toujours l'ensemble du processus d'accord qui est moteur, à condition de permettre l'expression (directe ou non) de tous les points de vue jugés pertinents, y compris sur les modalités d'expression des points de vue.

L'organisation traditionnelle du travail a tendance à considérer les conflits comme premiers, et à en privilégier la régulation par des règles issues d'un pouvoir extérieur. Une telle dynamique restreint la phase de différenciation et d'assimilation, excluant les points de vue que la règle réfute, et valorisant ceux qui sont déjà forts du fait qu'ils sont reconnus. Dans ces conditions, les processus d'accordage s'exercent sur une base qui est d'emblée déséquilibrée ; ils n'impliquent que des forces déjà très stables et donc peu enclines à la décentration et à l'assimilation d'autres points de vue. Le conflit ne peut être que récurrent, car l'accordage est précaire : i) il a exclu des points de vue concernés, qui contesteront toujours l'accord ; ii) la stabilité des forces reconnues autorise la répétition des conflits sans danger pour leur pérennité. Dès lors, c'est le conflit qui semble être moteur. Cette tradition considère la coopération difficile : instaurant des conditions qui favorisent la genèse des conflits, elle doit déployer une grande énergie à les réguler, et les considère dès lors comme caractéristiques des groupes de travail. La coopération ne peut que les multiplier. Ce faisant, les processus d'accordage au niveau de régimes d'autorité émergents ont été minimisés, et n'ont pas été outillés. La construction de tels outils pour la coopération est donc une priorité, qui devra être coopérativement menée.

- la coopération : associer les acteurs au design organisationnel

Je peux à présent reprendre la question de la définition de la coopération, et dire qu'une organisation est coopérative chaque fois qu'elle organise l'association de ses acteurs au design de leurs modes de coordination. La

coopération désigne alors l'institutionnalisation d'un mode de coordination qui inclut la définition de valeurs situées, et implique ses acteurs dans la négociation des critères d'évaluation de son fonctionnement, en favorisant les processus d'assimilation. Toute organisation et toute recherche d'outillage de la coopération devra donc permettre, en amont et pendant le projet, à l'ensemble des acteurs du projet de s'accorder sur les conditions opérationnelles d'effectivité de ces conditions. Les conflits d'interprétations participeront de la dynamique de l'accord, comme le montrent les observations, sans qu'on puisse les interpréter comme moteur.

4. Synthèse nietzschéenne : le sens est dans le jeu des forces

4.2. une redéfinition située des rapport des forces et des valeurs

L'accordage implique un faire-sens commun qui constitue ses objets en définissant ce qu'ils valent par le processus même de leur construction. Inscrire le sens dans un processus de création de valeurs (d'une critériologie) ne revient pas à se soumettre à une force coopérativement "choisie", mais à accepter que les rapports de domination/soumission des forces puissent se redistribuer, sans renoncer à une stabilisation radicalement nécessaire, mais dès lors provisoire. Cela implique à la fois de redéfinir les échelles de valeur en fonction des forces en présence, et une redéfinition de ces forces et de leurs rapports dans un contexte problématique reconstruit. Le sens émerge de ce jeu des forces, d'ailleurs déjà, une chose n'a pas de sens en soi, "*le sens n'apparaît que dans le rapport de la chose avec la force dont elle est le phénomène*" (Deleuze 1962). Selon la redistribution des forces, le même objet sera affecté d'une valeur ou d'une autre, sera cause ou effet, prendra un sens ou un autre. La coopération apparaît ainsi comme condition d'effectuation des puissances, rééquilibrant les rapports entre volonté de puissance et pouvoir. Le pouvoir, en ce qu'il coupe une force de son effectuation, la prive de son potentiel à assimiler ou à être assimilée et la fige dans une effectivité qu'il veut pré-définir. Or, les forces se redéfinissent par les assimilations permanentes qui les affectent en redéfinissant leurs rapports. La modulation située des régimes d'appartenance favorise la décentration. Elle maintient ou génère des devenir-effectifs à fort potentiel, acceptant, parce qu'ils demeureraient actualisables en droit, sinon en fait, d'être tantôt force assimilante, tantôt force assimilée. Chacun a accepté, dans un implicite revigorant, de renoncer à l'exercice d'un pouvoir de droit, de pratiquer un leadership tournant selon les compétences requises par la situation, d'adopter des points de vue autres afin de mieux construire le

sien, et de défendre son autorité souveraine de "professionnel" lorsqu'il le croyait nécessaire.

5. Conclusion

Le PP, rassemblement improbable et éphémère de gens ordinaires mus par les images mêmes que ses membres ont construites et propagées, s'impose quand il devient créateur de valeurs. Il pose par l'exercice de sa puissance effectrice sa propre interprétation dans un rapport de pouvoir, sans renoncer en son sein à l'exercice des puissances de ses membres. Le potentiel de conflits s'est considérablement accru, avec la violence que cela implique, en particulier dans la définition située des rôles de ses membres. Mais le conflit en tant que tel n'a pas été valorisé comme moteur, ce que bien sûr il n'est pas. Les forces en jeu se sont assimilées d'autant mieux que les conditions organisationnelles le favorisaiient, et cette assimilation s'est traduite en règles, en critères d'évaluation, devenant autant d'actes d'individuation dans un rapport de rencontre — avec ses degrés de réussite divers et la distance inéluctable entre intention et acte, mais sans se tenir dans une perpétuelle et morbide mesure d'écart à des valeurs pré-définies en extériorité, écart auquel pourtant les outils de gestion renvoient sans cesse.

La valeur d'un acte, dit Simondon (Simondon 1958), *"n'est pas son caractère universalisable, selon la norme qu'il applique, mais l'effective réalité de son intégration dans un réseau d'actes qui est le devenir.(...) [où la] résonance des actes [s'entend] les uns par rapport aux autres non pas à travers des normes implicites ou explicites, mais directement dans le système qu'ils forment.(...). L'acte moral est celui qui peut se déphaser en actes latéraux, se raccorder à d'autres en s'étalant à partir de son centre unique, actif... qui a assez de réalité pour aller au-delà de lui-même et rencontrer d'autres actes"*

C'est un immense plaisir que de pouvoir observer dans un banal cadre de travail cet exercice normal de la coopération. Face aux demandes modernes de performances individuelles, de dépassement de soi, de compétition à outrance, l'expérimentation du travail en PP offre une preuve supplémentaire que les situations exceptionnelles font les gens exceptionnels, et que la dynamique collective est l'un des meilleurs motifs de l'excellence individuelle quand elle peut être interprétée par des valeurs de puissance plus que par des valeurs de pouvoir.

C'est pour ces raisons que les définitions de la coopération comme actions pour un but partagé, but commun, ressources communes... me semblent

insuffisantes. La maturité des hommes et des femmes au travail évolue, les formes et les valeurs du travail également. La question essentielle que pose la coopération comme mode de relation au travail, c'est celle d'une ré-articulation des rapports de pouvoir et de puissance, c'est à dire, la participation des acteurs dans les boucles de conception organisationnelles et technologiques favorisant les assimilations mutuelles. Ce qui peut se traduire par l'homologie des structures d'action et d'évaluation, donc la définition négociée et située des critères d'évaluation des problèmes, des solutions et des résultats, la reconnaissance des modes d'autorité émergents et le développement de la multi-appartenance, en tant que dispositifs opératoires favorisant l'assimilation. Les conflits d'interprétation y joueront certainement leur rôle de pointeur, et donc, un rôle d'amélioration de la qualité organisationnelle autant que technique ; mais l'interprétation du conflit comme moteur relève d'une confusion de phase, d'une inversion de causalité. Si un conflit est moteur, c'est qu'il a provoqué la mise à plat de questions sur lesquelles il a fallu s'accorder partiellement, mais suffisamment pour dégager une énergétique commune. Cette motivation ne coïncide d'ailleurs pas obligatoirement avec une fin, un but déjà identifié, qui à certains niveaux et sous certaines conditions, aura tout à gagner à se redéfinir dans l'action. La phase conflictuelle n'est perçue comme motrice que dans un type d'organisation qui ne sait pas outiller un processus coopératif créateur de valeurs, au sens le plus concret du terme, et le plus abstrait, et qui s'attache à l'être plus qu'au devenir. De ce point de vue, il nous faudrait interroger les démarches normatives massives qui déferlent, dont le risque serait de reconnaître le devenir, mais en le rabattant sur l'être, organisant strictement ses modalités d'actualisation en niant la part d'incertitude qu'il porte comme ouverture et comme plasticité. Pour y parvenir, l'expérimentation et l'étude des modalités de la coopération dans différentes organisations, différentes cultures, devront nous aider à éviter de figer en les outillant des relations de pouvoir plutôt que des rapports de puissance.

Bibliographie

- Bachimont B., Herméneutique matérielle et artéfacture, Des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser. Thèse d'épistémologie de l'Ecole Polytechnique, 1996
- Cardon, D., Les sciences sociales et les machines à coopérer. Une approche bibliographique du CSCW, Réseaux n° 85, 1997
- Deleuze, G., Nietzsche et la philosophie, PUF, 1962

- Israel R. et Salvador LL., en préparation, Towards Cooperative Organizational Memory
- Jousse M., L'anthropologie du geste, Gallimard 1974
- Maggi, B., Actes du 6ème congrès ERGO IA', Biarritz 98
- Nietzsche F., Généalogie de la morale, dans Friedrich Nietzsche, Oeuvres, ed. dirigée par J.Lacoste et J.le Rider, Editions Robert Laffont, 1993
- Nietzsche F., Le Gai Savoir, dans Friedrich Nietzsche, Oeuvres, ed. dirigée par J.Lacoste et J.le Rider, Editions Robert Laffont, 1993
- Poitou JP, La gestion collective des connaissances de l'entreprise, Actes du séminaire de l'Université de Technologie de Compiègne, 1994
- Reynault, J D, Le conflit, la négociation, la règle. Toulouse, éditions Octares, 1995
- Tarde G., Les lois de l'imitation, Alcan, Paris, 1890
- Salvador LL, Imitation et attribution de causalité, La genèse mimétique du soi, la genèse mimétique du réel, thèse de doctorat de psychologie, Paris V, 1996
- Simondon G., L'individuation psychique et collective, col. Res, l'Invention, Aubier, 1989
- Simondon, G., Du mode d'existence des objets techniques, col. Res, l'Invention, Aubier, 1958
- Zoubarichvili F., Deleuze, une philosophie de l'événement PUF 1974

La simulation pour alimenter et réorganiser le débat sur l'origine du langage humain

Frédéric KAPLAN

SONY Computer Science Laboratory - 6 rue Amyot, 75005 Paris
LIP6 - thème OASIS - 4 Place Jussieu 75232 Paris cedex 05
kaplan@csl.sony.fr

Nous entendons, dans cet article, identifier le rôle que la simulation informatique pourrait jouer au sein du débat sur l'origine du langage humain. Nous montrons que faute de données empiriques, les différentes théories proposent des scénarios potentiels difficiles à comparer et nous illustrons comment la simulation permet de produire un corpus plus riche où les théories peuvent être confrontées à de nouvelles données expérimentales.

1. Introduction

La profusion des théories sur l'origine du langage humain témoigne de la difficulté qui caractérise la comparaison de deux corpus explicatifs dans ce domaine. En 1886, la Société Linguistique de Paris décidait de déclarer une fois pour toute le problème des origines du langage humain non décidable et de refuser dorénavant toute communication sur ce sujet. La linguistique moderne s'est développée pendant le XXème siècle en rejetant la question des origines hors de ses frontières.

Construire une théorie explicative des origines du langage humain est assurément un problème extrêmement difficile et ce pour, au moins, les deux raisons suivantes:

- Son objet d'étude est disparu et inaccessible à l'expérience. Il s'agit d'une reconstruction du passé, au même titre que l'étude de l'apparition de la vie, de l'évolution humaine ou de l'Histoire de nos sociétés. Mais elle est rendue d'autant plus difficile que les données empiriques sont en très faible nombre.

- Il s'agit d'expliquer un phénomène unique: aucune autre espèce animale ne semble posséder un outil de communication qui se rapproche en complexité et en pouvoir d'expression du langage humain¹.

Aujourd'hui pourtant, une approche multi-disciplinaire de cette question revient à l'avant de la scène universitaire. Des résultats en paléontologie, éthologie, neurosciences, génétique des populations et linguistique apportent des nouvelles bases sur lesquelles des nouvelles théories se construisent. Mais le risque est de voir à nouveau, plutôt qu'un conflit d'idées, une accumulation d'histoires potentielles qui ne se contredisent pas vraiment les unes et les autres.

En marge des méthodes traditionnelles, plusieurs groupes de recherche² ont choisi d'étudier ce problème en utilisant des modèles formels, simulés informatiquement. Le discours a dès lors pour élément de débat les simulations qui jouent le rôle de données expérimentales.

Après une brève synthèse de différentes théories du domaine, nous discuterons comment la simulation peut aider à organiser les interprétations sur l'origine du langage humain. Nous illustrerons cette démarche en présentant un modèle simulé et les discussions autour de son interprétation.

2. Théories sur l'origine du langage humain: préadaptations et dynamiques évolutives

Beaucoup de théories sur l'origine du langage humain sont structurées de la manière suivante:

¹ Comme le souligne Hurford (1998), ceci d'une certaine manière rend la constitution d'une théorie explicative encore plus difficile que dans le cas de l'évolution des espèces. En effet, la sélection naturelle de Darwin est convaincante car elle s'applique sur l'ensemble du règne animal de la girafe à la méduse.

² Citons en particulier les groupes de Hombert (Laboratoire de dynamique du langage, Lyon), Hurford (Language evolution and Computation, Edimbourg) et Steels (Sony CSL, Paris et VUB-AI Lab, Bruxelles)

- Il s'agit d'abord d'identifier une étape particulière dans l'évolution des hominidés comme étant le pas crucial dans le développement du langage humain. Si cette préadaptation n'a été réalisée que par l'espèce humaine, le caractère unique de notre outil de communication est alors expliqué.

- Il faut ensuite montrer quelles dynamiques évolutives sont en jeu pour expliquer la formation du langage à partir des préadaptations identifiées. Il s'agit par exemple d'expliquer le caractère évolutivement avantageux d'un trait particulier dans le cadre de la sélection naturelle darwinienne.

2.1. Préadaptations cruciales

Dans notre description des différentes préadaptations cruciales dans le développement du langage humain, nous adoptons un classement en préadaptations physiologiques, cognitives et interactionnelles et sociales, inspiré de celui de Hurford (1998).

a) Caractéristiques physiologiques.

Le cerveau. L'homme se caractérise par un cerveau anormalement grand par rapport à sa masse corporelle. Il semble naturel de lier cette caractéristique au phénomène unique du langage (voir discussion dans (Deacon 1997)).

Le contrôle sensori-moteur. Maîtriser un geste compliqué comme jeter une pierre, demande une grande coordination sensori-motrice à la fois dans l'espace et dans le temps. Pour Calvin (1983) cette capacité aurait fourni les bases neuronales nécessaires à l'utilisation du langage.

L'organe vocal. Lieberman (1984) soutient que l'homme de Neanderthal n'était pas capable de produire les sons que l'on trouve dans les langues utilisées par les hommes modernes. La transformation de notre organe vocal serait une préadaptation déterminante pour la production du langage articulé.

b) Capacités cognitives

L'activité symbolique. Une représentation indirecte correspond à un objet qui est ni présent dans le contexte ni dans une récente situation: le souvenir d'une action par exemple, évoqué dans un contexte très différent de celui où l'action a eu lieu. Le langage humain se distingue des systèmes de communications animaux par la possibilité d'utiliser des symboles, c'est-à-dire de faire référence à des représentations indirectes (Gardenfors 1995). Les peintures rupestres témoignent de

l'acquisition de cette capacité. Pour Donald (1991) le mime, à la fois imitation et imagination gestuelle jouerait un rôle décisif dans cette évolution.

La théorie de l'esprit. Pour beaucoup la capacité de raisonner sur les désirs et les croyances des autres est fondamentale dans la constitution du langage humain. La présence ou l'absence de cette capacité chez les primates est sujette à controverses (voir (Byrne et Whiten 1988))

c) Capacités interactionnelles

La coopération. Un certain niveau d'altruisme et de coopération est sans doute nécessaire à l'émergence d'un système de communication complexe. Beaucoup d'études se sont penchées sur l'origine de tels systèmes altruistes (Axelrod 1984).

La coordination. Pour participer à une interaction langagière un niveau suffisant de coordination (tour de paroles, etc.) entre les intervenants est nécessaire.

d) Structures sociales

Les rites. Knight (1991) soutient que la relation entre le langage et le sacré est fondamentale. Pour qu'un système stable émerge, les signaux peu coûteux que sont les mots doivent être soutenus par un ensemble de signaux plus coûteux. Selon lui, les rituels ont joué ce rôle et sont une préadaptation fondamentale au développement du langage.

La vie en groupe. Pour Dunbar (1996), le langage a évolué pour permettre la stabilisation de larges groupes. Chez les primates, l'épouillage joue le rôle de lien social entre les différents individus du groupe. Mais l'épouillage n'est pas assez efficace pour la cohésion d'un grand groupe d'individus. Dunbar considère le langage humain comme un moyen efficace pour "épouiller" plusieurs personnes en même temps. L'information transportée est de même nature: qui est l'ami de qui, qui fait quoi à qui, etc.

Il est important de noter que même si nous parlons ici de préadaptations, le langage s'est sans doute développé de manière coévolutive avec ces différentes capacités. Le débat porte sur l'importance respective de chacune d'elles et sur l'établissement d'une chronologie des étapes supposées cruciales. Par bien des aspects, une telle comparaison se révèle très difficile en pratique du fait du nombre trop réduit de données empiriques disponibles. Aujourd'hui plus qu'un conflit d'idées, on assiste à une accumulation de scénarios potentiels.

2.2. Dynamiques évolutives

Le fait d'identifier des étapes charnières n'est pas suffisant pour expliquer l'évolution du langage humain. Il est nécessaire de mettre en évidence les dynamiques qui expliquent comment à partir de certaines de ces préadaptations le langage humain s'est développé.

Deux types de dynamiques s'opposent. Certains défendent que la capacité langagière s'est développée de façon génétique, selon les lois de la sélection naturelle darwinienne. D'autres voient le langage comme un phénomène avant tout culturel qui s'est développé selon des dynamiques propres d'un autre type. Evolution génétique et culturelle reposent toutes deux sur des dynamiques collectives complexes mais supposent des préadaptations différentes en ce qui concerne les capacités des agents et leurs modes d'interactions.

Dans l'évolution génétique, les interactions entre individus ont lieu lors de la reproduction. Les enfants héritent d'une recombinaison du patrimoine génétique de leurs parents. Certains gènes peuvent également subir des mutations. Si les capacités linguistiques sont innées, elles peuvent ainsi se modifier. Les caractéristiques génétiques sélectionnées dépendent du succès reproductif des individus. Pour expliquer l'évolution du langage, les capacités linguistiques doivent donc augmenter, au moins indirectement, la probabilité de reproduction.

L'évolution culturelle met en jeu des interactions sonores ou gestuelles entre agents. Au terme de ces interactions, les connaissances et capacités linguistiques de chacun des participants peuvent avoir été modifiées. L'évolution peut être dirigée par diverses pressions: maximiser le succès en communication, minimiser le travail cognitif et la charge mémoire. Mais certaines évolutions peuvent apparaître comme neutres fonctionnellement et simplement résulter des propriétés dynamiques du système culturel étudié.

Notons que ce débat fait écho en linguistique au débat sur le caractère inné ou acquis du langage chez l'enfant. Les innéistes défendent avec Chomsky que la capacité langagière est héritée par l'enfant et qu'elle ne peut s'expliquer par des mécanismes généraux d'apprentissage. A

l'opposé, l'école de Piaget soutient que l'enfant construit le langage au grè de ses interactions par des mécanismes cognitifs non spécifiques.

La part de génétique et de culturel dans l'évolution du langage humain est aujourd'hui difficile à évaluer. Les partisans de chacune des thèses restent en général sur leur position faute de données supplémentaires pour trancher.

3. Rôle de la simulation dans le conflit des théories sur l'origine du langage humain

3.1. Peut-on simuler les théories ?

Avant de nous interroger sur le rôle que pourrait jouer la simulation dans le conflit des théories sur l'origine du langage humain, nous devons nous demander dans quelle mesure chacune des théories évoquées dans la partie précédente est étudiable en simulation.

Une première réponse serait de ne reconnaître que les modèles qui peuvent donner lieu à une description formelle (prenant par exemple la forme d'un ensemble d'équations). En s'abritant derrière une devise du type "ce qui se conçoit bien, s'énonce mathématiquement" il serait aisé de ne garder dans le débat qu'un sous-ensemble de théories explicites et comparables (du type des théories économiques).

La plupart des modèles présentés dans la partie précédente seraient dès lors exclus de la discussion. Si une modélisation mathématique se révèle hors de portée, la simulation multi-agents apparaît comme une bonne candidate pour comprendre les propriétés collectives de systèmes qu'on ne sait bien décrire qu'au niveau individuel (Drogoul et Ferber 1992). Dans le cadre de cette approche ascendante, les modèles se présentent en général sous la forme d'une population d'agents, représentant de façon simplifiée des individus, qui interagissent localement les uns avec les autres. Il s'agit de définir des conditions permettant d'observer le phénomène collectif attendu (ici l'émergence d'un langage artificiel possédant un certain nombre de propriétés fonctionnelles ou structurelles qui caractérisent le langage humain). Ces conditions portent sur la structure des agents, le type d'interactions auxquelles ils participent et le milieu dans lequel ils évoluent. Elles peuvent constituer des modèles des capacités

physiologiques, cognitives, interactionnelles et sociales mentionnées dans la partie précédente.

Mais la transposition des théories sous une forme simulable, si elle apparaît possible, peut se révéler assez difficile à mettre en oeuvre en pratique. La forme computationnelle des simulations est assez éloignée des notions manipulées par les théoriciens du domaine. Dans ces conditions, il peut être utile d'introduire un langage de description intermédiaire dans lequel les différents acteurs peuvent expliciter ce qu'ils souhaitent mettre dans la simulation et ce qu'ils en attendent. De telles méthodes sont aujourd'hui utilisées pour la conception de systèmes multi-agents (voir en particulier la méthodologie Cassiopée (Collinot et al. 1996)).

3.2. La simulation comme méthode expérimentale

Une approche constituant à utiliser la simulation comme expérience virtuelle confrontable à la théorie a commencé à être utilisée depuis quelques années en sciences sociales (Conte & Gilbert 1995). Sugarscape, le monde simulé d'Epstein et Axtell (Epstein & Axtell 1997) peut être vu comme un laboratoire virtuel permettant d'expérimenter divers modèles sur l'apparition de structurations sociales émergentes (migrations, échanges commerciaux, guerre, etc.).

Si l'étude des dynamiques collectives semble naturelle en sciences sociales, elle a été longtemps ignorée, faute d'outils adéquats, par la plupart des travaux en anthropologie et en linguistique. Les plateformes multi-agents de simulation permettent pour la première fois une approche expérimentale de la dimension collective du langage. Les premiers résultats issus de ces recherches montrent comment des dynamiques simples d'interactions peuvent expliquer la formation du structure complexes dans des langages artificiels tant au niveau phonologique, lexical que syntaxique (pour une synthèse voir (Steels 1997a), pour une discussion sur la validation de telles expériences voir (Kaplan 1998b)).

La simulation se révèle une bonne candidate pour produire de nouvelles données permettant d'organiser le débat entre les différentes théories présentées dans la partie précédente mais aussi pour l'enrichir

en proposant des explications nouvelles à certains des phénomènes étudiés.

4. Illustration de la démarche sur un exemple

Plutôt qu'une revue de l'ensemble des résultats 'expérimentaux' obtenus dans ce domaine de recherche par simulations informatiques, nous nous concentrerons sur un exemple particulier afin d'illustrer surtout la démarche entreprise. La thèse défendue est que l'émergence d'un langage cohérent peut être expliquée par une évolution uniquement culturelle des capacités linguistiques.

4.1. Un modèle d'émergence culturelle du langage

Le modèle proposé par Steels explique la formation et l'évolution d'un lexique à partir d'un simple principe de *rétroaction positive* (Steels 1996, Steels et Kaplan 1998a). Les agents sont supposés capables de participer à un jeu de langage appelé le *naming game* (capacité interactionnelle). Durant un naming game, le locuteur désigne un objet du contexte par un nom et par une information extra-linguistique (pointer par exemple). À partir de ces informations, l'interlocuteur doit deviner l'objet désigné. Le jeu est un succès si l'interlocuteur a deviné juste. La structure des agents est assez simple : chaque agent possède un lexique, initialement vierge, sous la forme d'un ensemble d'associations entre des sens et des mots (capacité cognitive). La force de chaque association est caractérisée par un score entre 0 et 1. Le lexique peut contenir des synonymes et des homonymes. Pour coder un sens, le locuteur utilise le mot associé qui a le plus grand score. Le locuteur peut créer un mot aléatoire pour lexicaliser un sens non encore associé à des mots et l'interlocuteur peut mémoriser l'association sens-mot utilisée par le locuteur. À l'issue du jeu, les scores des associations sont modifiés: si l'association utilisée a conduit à un succès son score relatif est augmenté; il est diminué dans le cas contraire (pour les détails de l'algorithme voir (Steels et Kaplan 1998a)). Dans ces conditions, plus une association a conduit à des communications réussies plus elle est utilisée et plus elle est utilisée plus elle conduit à des communications réussies.

La Figure 1 montre la compétition entre différents mots pour exprimer un sens donné. La boucle de rétroaction assure la dominance d'un mot "GU" dans la population.

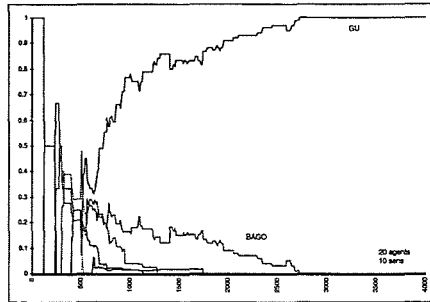


Figure 1. Diagramme de compétition entre différents mots pour exprimer un sens donné. Le diagramme montre le score moyen renormalisé des associations sens-mot pour le même sens. La rétroaction positive conduit rapidement un mot "GU" à devenir dominant dans la population.

De nombreux autres modèles utilisent des boucles de rétroaction pour étudier la cohérence des langues naturelles depuis la phonologie jusqu'à la syntaxe. Dans les expériences de de Boer (1997), une population d'agents se construit un répertoire de sons partagés pour communiquer en ajustant les sons qu'ils produisent après chaque interaction. Batali (1998) propose un modèle à partir de réseaux de neurones récurrents dans lequel des agents sont capables de coder des sens complexes sous forme de chaînes de caractères et de faire l'opération inverse pour le décodage. Les agents ajustent leur grammaire après chaque interaction.

Des modèles où plusieurs boucles de rétroaction interagissent en parallèle sous la forme d'un processus coévolutif sont également étudiés. Steels (1997b) analyse par exemple les interactions entre la formation de catégories internes et leur lexicalisation pour communiquer. Des agents qui ne communiqueraient pas pourraient catégoriser leur environnement de façon très différente les uns des autres. Mais la boucle de rétroaction qui régit la formation du lexique provoque indirectement la création de catégories relativement cohérentes. Un mécanisme dans lequel les agents utilisent directement

leurs connaissances lexicales pour former des catégories est également décrit (Kaplan 1998a). A nouveau, pour les agents c'est le langage qui assure la cohérence des catégories inter-individuelles.

Ces exemples montrent que la cohérence linguistique peut apparaître au sein d'une population alors que les agents n'ont que des capacités limitées (compétences interactionnelles simples de coopération et de coordination) et interagissent uniquement de façon culturelle (pas d'évolution génétique).

4.2. Discussions autour du modèle

Les résultats précédents conduisent de façon naturelle à la question suivante: comment expliquer que les systèmes de communications *appris* ne soient pas plus nombreux dans les espèces animales étant donné la simplicité des mécanismes d'apprentissages nécessaires pour rendre compte de ce phénomène? Oliphant (1998a, 1998b) explique que cette rareté est due à la difficulté de reconnaître par l'observation quel est le sujet de l'interaction. Beaucoup de modèles simulés assument que ce sujet est connu et non ambigu pour les différents participants. De nouveaux modèles ne supposant plus cette hypothèse sont aujourd'hui à l'étude (Steels & Kaplan 1998a, Kaplan et al. 1998). Les premiers résultats issus de ces expérimentations suggèrent que cette ambiguïté intrinsèque sur le sujet de l'interaction pourrait être un facteur explicatif important de l'évolution spontanée du lexique (apparition de nouveaux mots, glissement de sens, etc.) (Steels & Kaplan 1998b). Ils montrent également l'extrême difficulté de développer un lexique dans des conditions d'ambiguïté totale, venant en ce sens corroborer l'hypothèse d'Oliphant. La question reste donc ouverte à ce stade de l'expérimentation.

Notons enfin que les expériences décrites dans cette partie ne traitent que de la formation d'un lexique. Elles ne remettent donc pas en cause les théories existantes sur l'apparition du langage humain. Se pose naturellement la question: quels sont les mécanismes cognitifs supplémentaires pour permettre l'apparition d'un système compositionnel ou d'autres mécanismes relevant de la syntaxe? Cette question est aujourd'hui étudiée par la plus grande partie des groupes de recherche engagés dans cette démarche de modélisation.

5. Conclusion

Nous avons illustré dans cet article, le rôle que la simulation peut jouer dans l'orchestration du débat sur les origines du langage humain. Le projet se conçoit comme une extension de la méthode scientifique pour les domaines d'études à objet unique et disparu. Dans ces domaines où l'expérimentation n'est plus possible, le débat d'idées menace de s'enliser faute d'évidence empirique. Construire des mondes simulés permet d'obtenir un corpus plus riche où les idées peuvent être testées et comparées. Le débat se réorganise autour des simulations et les méthodes scientifiques classiques peuvent être dès lors appliquées. Nous espérons que cette démarche, aujourd'hui mise en oeuvre par un nombre croissant de laboratoires de par le monde, constituera, dans un proche avenir, un langage commun et un support de débats dans ce type de recherches hautement interdisciplinaires.

6. Remerciements

Je remercie Luc Steels et Alexis Drogoul pour leurs commentaires sur cet article. Les simulations présentées ont été construites avec la plateforme Babel développée par Angus McIntyre à Sony CSL, Paris. (McIntyre 1998).

7. Références

- Axelrod, R. (1984), *The evolution of cooperation*, London: Penguin.
- Batali, J. (1998) Computational Simulations of the Emergence of Grammar. In: Hurford, J. et.al. [ed.] *Approaches to the Evolution of Language*: Edinburgh Univ. Press. Edinburgh.
- Byrne, R. and Whiten, A. (1988) Machiavelian intelligence: social expertise and the evolution of intellect in monkeys, apes and humans, Oxford: Clarendon Press.
- William H. Calvin (1983), A Stone's Throw and its Launch Window: Timing Precision and its Implications for Language and Hominid Brains, *Journal of Theoretical Biology*, **104**, 121-135.

- Collinot, A., Ploix, L. et Drogoul, A. (1996) Application de la méthode Cassiopée à l'organisation d'une équipe de robots, In: *Intelligence artificielle distribuée et systèmes multi-agents*, Hermès, Paris.
- Conte, C. et Gilbert, N. (1995) Introduction: Computer simulation of social theory. In : Gilbert, N. and Conte, R. [eds.] *Artificial Societies. The computer simulation of social life*. UCL Press.
- De Boer, B. (1997) Generating vowel systems in a population of agents. In Phil Husbands and Inman Harvey, eds. *Fourth European Conference on Artificial Life*, Brighton, MIT Press, Cambridge, MA.
- Deacon, T (1997) *The symbolic species*, New York: W.Norton and Co.
- Donald, M (1991) *Origins of the modern mind: three stages in the evolution of culture and cognition*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Drogoul, A.. et Ferber J. (1992) Multi-Agent Simulation as a Tool for Modeling Societies: Application to Social Differentiation in Ant Colonies. In: *Decentralized A.I. 4*, Elsevier North-Holland.
- Dunbar, R. (1996) *Grooming, gossip and the evolution of language*, London: Faber and Faber.
- Epstein, J. et Axtell, R. (1997) *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom up*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Gardenfors, P. (1995) Language and the evolution of cognition, Lund university cognitive studies - *LUCS41*, ISSN 1101-8453.
- Hurford, J. (1998) The evolution of language and languages, à paraître dans Dunbar, R., Knight, C. and Power, C. *The evolution of culture*, Edinburgh University Press.
- Kaplan, F. (1998a) A new approach to class formation in multi-agent simulation of language evolution, In Demazeau, Y., *ICMAS 98 Proceedings*, Paris, , IEEE Computer Society, p.158-165.
- Kaplan, F. (1998b) Rôle de la simulation multi-agents pour comprendre l'origine et l'évolution du langage. In: Barthès, J-P.

Chevrier, V. et Brassac, C., *Systèmes multi-agents: de l'interaction à la socialité*, Hermès, pp. 52-64.

Kaplan, F. Steels, L. et McIntyre, A. (1998) An architecture for evolving robust shared communication systems in noisy environments. in: *Sony Research Forum 98*, Tokyo.

Knight, C. (1991) *Blood relations: menstruations and the origins of culture*, Yale University Press, New Haven.

Lieberman, P. (1984) *The Biology and evolution of language*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

McIntyre, A. (1998) Babel: a testbed for research in origins of language, *Proceeding of COLING-ACL 1998*, Montreal.

Oliphant, M. (1998a) Rethinking the language bottleneck: Why don't animals learn to communicate ?. Article présenté à *Evolution of Language 2* - London.

Oliphant, M. (1998b) The learning barrier: Moving from innate to learned systems of communication. à paraître dans *Adaptive Behavior*.

Steels, L. (1996) Self-organizing Vocabularies. In : Langton, C. et Shimohara, K. [eds] *Proceedings of the Artificial Life V*, Nara Japan, 1996, MIT Press, p.179-184.

Steels, L. (1997a) The synthetic modeling of language origins, *Evolution of Communication Journal*, 1997, 1[1], 1-34.

Steels, L. (1997b) Constructing and Sharing Perceptual Distinctions. In : van Someren, M and Widmer G. [eds.] *Proceedings of the European Conference on Machine Learning*. , 1997, Springer-Verlag, Berlin.

Steels, L. et Kaplan, F. (1998a) Stochasticity as a source of innovation in language games. In Adami, C., Belew, R., Kitano, H. and Taylor, C. [eds.] *Proceedings of Artificial Life VI*, Los Angeles, June 1998, MIT Press, p. 368-376.

Steels, L. et Kaplan, F. (1998b). Spontaneous Lexicon Change, *Proceedings of COLING-ACL*, August 1998, Montreal, p. 1243-1249.

La Bible, miroir et source de conflits herméneutiques

Clairette KARAKASH

Institut romand d'herméneutique et de systématique

Université de Neuchâtel, Suisse

E-mail: Clairette.Karakash@theol.unine.ch

Sommaire

Cette contribution a pour but de mettre en évidence le rôle des conflits d'interprétation dans les querelles religieuses, en prenant le christianisme comme exemple. La première partie passe en revue quelques-uns des conflits relatés dans le Nouveau Testament pour en souligner l'importance pour la genèse des théologies chrétiennes. La deuxième partie est consacrée aux conflits entre les autorités ecclésiastiques et les représentants de la science expérimentale à propos de la compréhension de l'Écriture et de son domaine de pertinence. Enfin, la troisième partie prend acte de deux problèmes auxquels sont aujourd'hui confrontées les institutions religieuses traditionnelles: la montée des intégrismes et l'intolérance d'une part, le relativisme et le syncrétisme, d'autre part. Entre l'excès et l'absence de confrontation, le défi consiste, à partir de l'interprétation des conflits du passé et du présent, à spécifier les conditions dans lesquelles le conflit des interprétations peut devenir un moteur et non un frein à l'évolution des mentalités.

Introduction

L'un des domaines où le conflit des interprétations rebondit d'âge en âge sans solution de continuité est, entre autres, celui de l'interprétation des livres saints. Les textes qui servent de référence aux religions du Livre (judaïsme, christianisme, islam) ont non seulement suscité des débats académiques et des désaccords générateurs de schismes, mais leur interprétation a fait et fait encore, hélas, couler du sang. La lutte contre les hérésies et les guerres de religion n'eurent certes pas pour seule cause des divergences d'interprétation des textes sacrés et de la tradition. Ces divergences jouèrent toutefois un rôle central dans le judaïsme postexilique¹ comme dans le christianisme naissant et dans l'histoire des Églises issues de la Réforme. L'interprétation de certains textes bibliques tint également une place de choix dans les bras de fer répétés entre les

¹ Suite à la prise de Jérusalem par Nabucodonosor, les élites juives furent déportées à Babylone. L'édit de Cyrus (538 av. J.C.) autorisa les juifs à rentrer en Palestine et à reconstruire le temple. Les réformes sociales, politiques et religieuses entreprises sous l'impulsion d'Esdras et de Néhémie donnèrent forme au judaïsme postexilique. Les écrits préexiliques furent rassemblés, complétés et harmonisés pour constituer les cinq premiers livres de la Bible (la Loi), auxquels on ajouta ensuite les écrits prophétiques et les autres livres qui composent l'Ancien Testament.

autorités ecclésiastiques et les porte-parole des sciences². À partir du milieu du XIXe siècle, l'essor des sciences humaines fournit aux théologiens de nouveaux outils d'analyse textuelle et de nouvelles connaissances. En matière d'interprétation, la pluralité de fait acquit le statut d'une pluralité de droit, du moins dans les milieux académiques. En revanche, on assiste aujourd'hui, dans les trois religions du Livre, à une montée en force des intégrismes et des fondamentalismes qui investissent la scène politique. À l'opposé, fleurit un relativisme affirmant volontiers que les interprétations sont toutes équivalentes, recevables et légitimes. La tension entre ces deux postures ne se réduit évidemment pas à des divergences quant aux principes d'interprétation des textes, mais ces principes jouent un rôle non négligeable dans la légitimation des doctrines. Cette conjoncture incite à faire l'effort d'interpréter les querelles religieuses et à repérer leur composante herméneutique.

1. La Bible, miroir de conflits herméneutiques

La Bible contient de nombreux textes faisant état de conflits d'interprétation. Prenons quelques exemples dans le Nouveau Testament pour illustrer cette affirmation³.

1.1 La Loi, objet de conflit entre Jésus et les pharisiens⁴

Les évangiles présentent Jésus comme un rabbi⁵ enseignant avec autorité dans les synagogues et comme un prophète doué de pouvoir de guérison. Les actes et les paroles de Jésus provoquent des réactions de la part du clergé. Les scribes⁶ et les pharisiens le prennent à partie sur l'interprétation de la Loi. Dans Mt 12, 1-8, les pharisiens reprochent aux disciples de Jésus d'avoir arraché des épis de blé un jour de sabbat, car la loi interdit de travailler ce jour-là (Ex 34,21). Selon les pharisiens, Jésus devrait réprimander ses disciples qui ont commis une faute. Or Jésus leur répond ceci:

«N'avez-vous pas lu ce que fit David, lorsqu'il eut faim, lui et ses compagnons, comment il est entré dans la maison de Dieu et comment ils ont mangé les pains de l'offrande, que ni lui ni ses

² Pour une perspective générale, cf. Minois, G. (1990-1991). *L'Église et la science; histoire d'un malentendu*. Paris: Fayard, 2 tomes.

³ Pour ce qui concerne la situation sociale, économique et politique de la Palestine au Ier siècle de notre ère, cf. Theissen, G. (1992). *The Gospels in context: social and political history in the synoptic tradition*. Edinburgh: T. & T. Clark. Theissen, G. (1989). *Studien zur Soziologie des Urchristentums*. Tübingen: Mohr.

⁴ Pharisiens: membres d'un parti religieux pratiquant une stricte obéissance aux commandements de la Loi.

⁵ Rabbi: désignation respectueuse des docteurs de la Loi.

⁶ Scribe: docteur de la loi, spécialiste des Écritures.

compagnons n'avaient le droit de manger, mais seulement les prêtres? Ou n'avez-vous pas lu dans la Loi que, le jour du sabbat, dans le temple, les prêtres profanent le sabbat sans être en faute? Or je vous le déclare, il y a ici plus grand que le temple. Si vous aviez compris ce que signifie: "C'est la miséricorde que je veux, non le sacrifice" (Os 6,6), vous n'auriez pas condamné ces hommes qui ne sont pas en faute.» (Mt 12,3-5)

Jésus légitime l'assertion selon laquelle ses disciples ne sont pas en faute en se réclamant, lui aussi, de l'Écriture. Dans la péricope suivante, les pharisiens demandent à Jésus s'il est permis de faire une guérison le jour du sabbat. Il leur répond, ce qui ne manque pas d'ironie, qu'il est permis de faire du bien le jour du sabbat! Le sabbat est fait pour l'homme et non l'homme pour le sabbat. Le bon sens et la miséricorde priment sur l'obéissance aveugle. Il en va de même dans l'histoire du bon Samaritain ou dans la guérison de lépreux qui passe par la violation des règles de pureté en usage dans la société juive de l'époque.

L'évangéliste Jean rapporte que les pharisiens amenèrent à Jésus une femme adultère. La loi prescrivait de lapider ces femmes-là. Jésus garda d'abord le silence puis, comme les pharisiens le pressaient de questions, il finit par dire «Que celui d'entre vous qui n'a jamais péché lance la première pierre.» (Jn 8,7). Tous se retirèrent et Jésus dit à la femme: «Moi non plus, je ne te condamne pas; va, et ne pêche plus.»

Selon ces témoignages, Jésus aurait fait preuve d'une interprétation plutôt libérale de la Loi. Cependant, c'est le même évangéliste qui place dans la bouche de Jésus des paroles d'une exigence inouïe:

«N'allez pas croire que je sois venu abroger la Loi ou les Prophètes: je ne pas venu abroger, mais accomplir. Car en vérité je vous le déclare, avant que ne passent le ciel et la terre, pas un *i*, pas un point sur le *i* ne passera de la loi que tout ne soit arrivé. Dès lors, celui qui transgressera un seul de ces plus petits commandements et enseignera aux hommes à faire de même sera déclaré le plus petit dans le Royaume des cieux; au contraire, celui qui les mettra en pratique et les enseignera, celui-là sera déclaré grand dans le Royaume des cieux. Car je vous le dis: si votre justice ne surpasse pas celle des scribes et des pharisiens, non, vous n'entrerez pas dans le Royaume des cieux.

Vous avez appris qu'il a été dit aux Anciens: "Tu ne commettras pas de meurtre" (Dt 5,17); celui qui commettra un meurtre en répondra au tribunal. Et moi, je vous le dis: quiconque se met en colère contre son frère en répondra au tribunal; celui qui dira à son frère "Imbécile!" sera justiciable au sanhédrin; celui qui dira

"Fou" sera passible de la géhenne de feu. Quand donc tu vas présenter ton offrande à l'autel, si tu te souviens que ton frère a quelque chose contre toi, laisse là ton offrande, devant l'autel, et va d'abord te réconcilier avec ton frère. [...]

Vous avez appris qu'il a été dit: "Tu aimeras ton prochain" (Lv 19,18) et tu haïras ton ennemi. Et moi, je vous dis: Aimez vos ennemis et priez pour ceux qui vous persécutent, afin d'être vraiment les fils de votre Père qui est aux cieux, car il fait lever son soleil sur les méchants et sur les bons, et tomber la pluie sur les justes et les injustes.» (Mt 5,17-45)

Dans le sermon sur la montagne, Jésus semble opérer une radicalisation de la loi. Aurait-il tenu des propos contradictoires?⁷ Pour répondre, il convient d'interpréter les paroles et les actes attribués à Jésus en fonction de l'intention théologique du texte évangélique. Or celle-ci n'est pas donnée *expressis verbis* par l'auteur (en l'occurrence Matthieu). Il appartient au lecteur de la découvrir au fil du récit, en analysant le jeu des codes et le dénouement de l'intrigue. En résumé, il en va d'un désaccord entre les juifs et les chrétiens⁸ à propos du rôle de la Loi comme voie d'accès au salut⁹. Le clergé juif, avait une conception légaliste des Écritures; la Loi devait être respectée à la lettre, et, en cas de violation des commandements, il fallait offrir des sacrifices d'expiation. Jésus conteste ce système symbolique de la souillure et de la pureté: ce n'est pas la lettre qu'il convient de respecter, mais l'esprit de la Loi. Le salut n'est pas une affaire de rites. Si la Loi exprime la volonté de Dieu, alors l'homme ne peut rien y retrancher et il ne peut faire valoir ses mérites devant Dieu. La radicalisation opérée par Jésus sert à montrer la vanité des efforts humains pour se mettre en ordre avec Dieu.

Le conflit entre Jésus et les pharisiens à propos de la Loi se double de divergences d'interprétation des actes et des paroles de Jésus. Les miracles opérés par Jésus, (guérisons et exorcismes) ne suscitent pas que de l'enthousiasme. À Gérasa, Jésus a libéré un homme des démons qui le possédaient; ceux-ci ont investi un troupeau de porcs et l'ont précipité dans la mer. Les habitants estiment que le prix de la guérison est trop élevé: ils supplient Jésus de quitter leur territoire (Mt 8,28-34). Ailleurs, Jésus est

⁷ Cette question a retenu l'attention du théologien Bultmann, R. (1968). *Jésus, mythologie et démythologisation*. Paris: Seuil (ouvrage préfacé par P. Ricoeur). C'est un bon exemple du rôle de l'herméneutique dans le dépassement des contradictions apparentes entre les différents aspects de l'enseignement de Jésus.

⁸ Les spécialistes estiment que l'évangile de Matthieu a été rédigé autour de l'an 85, c'est-à-dire à un moment où les adeptes du Christ ont déjà été expulsés des synagogues.

⁹ Les expressions «être sauvé», «recevoir la vie éternelle», «entrer dans le royaume de Dieu ou des cieux» peuvent être considérés comme des synonymes du point de vue théologique.

soupçonné de pratiquer ses exorcismes grâce à Béelzéboul, le chef des démons (Mt 12, 22-28). Finalement, c'est la personne même de Jésus qui suscite des conflits d'interprétation: est-il un agitateur politique, un blasphémateur, un réformateur de la religion, un prophète charismatique, le messie ou le Fils de Dieu¹⁰ en personne? «Et vous, qui dites-vous que je suis?» demande Jésus à ses disciples (Mt 16,15-16). Les témoins de l'enseignement et des actes de Jésus de Nazareth ont été contraints de se déterminer sur sa légitimité.

Les évangiles déploient une suite de malentendus qui tournent au drame: malentendus entre Jésus et les diverses autorités religieuses juives, entre Jésus et la foule, entre Jésus et ses disciples. L'aboutissement au Golgotha rendit inéluctable une relecture de l'expérience vécue et des enseignements reçus. Les évangiles sont le produit de ce travail de relecture¹¹. Si Jésus était bien le messie, l'envoyé de Dieu, alors son message ne pouvait être en contradiction avec la Loi donnée par Dieu à Moïse ni avec l'enseignement des prophètes, eux aussi envoyés par Dieu au peuple d'Israël. Les tout premiers chrétiens s'efforcèrent d'établir des liens entre la tradition scripturaire dont ils étaient imprégnés et les événements de l'actualité (le ministère et la mort de Jésus). L'un des principes herméneutiques adoptés à cet effet fut le couple promesse-accomplissement: ce qui fut promis à Abraham, ce qui fut annoncé par les prophètes de l'Ancien Testament vient de s'accomplir par la venue de Jésus le Christ et son oeuvre salutaire (cf. Lc 24, 13-35). La théologie de Paul, notamment sa doctrine de la justification par la foi, amorce une relecture critique de la Loi au profit d'une valorisation de la figure d'Abraham, le père des croyants (Rm 4). Paul met en avant la fameuse distinction entre la lettre et l'esprit (2 Co 3,6), qui sera érigée en règle herméneutique par les Pères de l'Église.

1.2 Conflits d'interprétation dans le christianisme naissant

Outre les tensions bien connues entre la Loi et l'Évangile (Rm 7 et 8) ou entre les oeuvres et la foi (Jc 2,14 et 2,26), les livres du Nouveau Testament rapportent des conflits d'interprétation dus aux circonstances. En voici deux

¹⁰ Dans l'Ancien Testament, l'expression «Fils de Dieu» désigne les anges, le peuple élu ou le messie attendu, que Dieu a choisis et auxquels il a confié une mission. Elle est reprise dans les confessions de foi du christianisme naissant pour souligner le caractère unique de la relation que Jésus entretient avec Dieu.

¹¹ Si besoin était de le préciser, les récits évangéliques ont valeur de témoignages et non de reportages. Les évangélistes ne sont pas des témoins oculaires des événements qu'ils rapportent, mais des chrétiens de la deuxième ou de la troisième génération, qui ont mis par écrit les traditions orales circulant dans les Églises primitives (cf. Lc 1,1-3). Leurs sources étaient plurielles, et ils ont probablement opéré un choix dans les récits à disposition. Comme il n'existe pas d'autre accès au Jésus historique, nous n'entrerons pas en matière sur la question de savoir si Jésus a pu prononcer les paroles ou accomplir les performances qui lui sont attribuées.

exemples:

– Au moment où le christianisme se répand hors de Palestine, dans les milieux païens, un conflit éclate à Antioche (Ac 15, 1-35): certains voulaient imposer la circoncision aux nouveaux convertis, arguant que cela était nécessaire au salut. Paul et son disciple Barnabas étaient opposés à cette exigence. L'Église d'Antioche décida d'envoyer Paul à Jérusalem pour prendre l'avis des apôtres et des chefs de la communauté. Le texte rapporte que la discussion fut vive entre les judéo-chrétiens (issus du pharisaïsme) et les pagano-chrétiens. Comment le conflit s'est-il résolu? L'apôtre Pierre, dont l'autorité n'était pas contestée, argumente de la manière suivante:

«Vous le savez frères, c'est par un choix de Dieu que, dès les premiers jours et chez vous, les nations païennes ont entendu de ma bouche la parole de l'Évangile et sont devenues croyantes. Dieu, qui connaît les cœurs, leur a rendu témoignage quand il leur a donné, comme à nous, l'Esprit saint. Sans faire la moindre différence entre elles et nous, c'est par la foi qu'il a purifié leurs cœurs. Dès lors, pourquoi provoquer Dieu en imposant à la nuque des disciples un joug que ni nos pères ni nous-mêmes n'avons été capables de porter? Encore une fois, c'est par la grâce du Seigneur Jésus, nous le croyons, que nous avons été sauvés, exactement comme eux!» (Ac 15, 7-11)

Ensuite, l'apôtre Jacques intervient pour dire que la conversion des païens s'accorde avec la parole des prophètes¹². Il propose de n'imposer aux nouveaux convertis que des exigences minimales. Une lettre est rédigée à l'intention de la communauté d'Antioche, qui sera apportée et lue par deux délégués de Jérusalem: Judas et Silas.

C'est donc par une suite de médiations mises en place par la communauté que le conflit se résout: référence à l'Église de Jérusalem, référence à l'expérience de la conversion des païens lue comme expression de la grâce divine, référence à la tradition prophétique, désignation de délégués chargés de transmettre le message de vive voix. Interprétation, argumentation et diplomatie se conjuguent pour donner au conflit une solution satisfaisante. Mais il n'en fut pas toujours ainsi.

– Un autre sujet de controverse était le retard de la parousie. Les premiers chrétiens attendaient le retour du Christ en gloire de leur vivant. Quand les plus âgés vinrent à décéder, le doute s'insinua quant à la validité de cette prophétie que Paul faisait remonter à Jésus (1 Th 13-18).

¹² Le texte cité par Jacques n'a cependant pas pu être identifié comme tel dans les livres de l'Ancien Testament.

L'évangéliste Luc interpréta ce retard comme le temps laissé par Dieu pour la proclamation de l'Évangile à toutes les nations du monde. C'est également l'avis du rédacteur de la deuxième épître de Pierre:

«Dans les derniers jours viendront des sceptiques moqueurs menés par leurs passions personnelles qui diront: "Où en est la promesse de son avènement? Car depuis que les pères sont morts, tout demeure dans le même état que qu'au début de la création." [...] Il y a une chose en tout cas mes amis que vous ne devez pas oublier: pour le Seigneur, un seul jour est comme mille ans et mille ans comme un jour. Le Seigneur ne tarde pas à tenir sa promesse, alors que certains prétendent qu'il a du retard, mais il fait preuve de patience envers vous, ne voulant pas que quelques-uns périssent, mais que tous parviennent à la conversion.»

D'autres, en revanche, se détournent de la foi chrétienne. Les querelles furent vives, au sein des Églises ou à leur marges, comme l'indiquent, par exemple, les invectives contre les doctrines concurrentes des milieux gnostiques ou des diverses branches du judaïsme (2 Pi 1,20-21 ou Ap 2 et Ap 3).

Pour clore cette première partie, voyons s'il est possible de répondre à l'une des questions proposées par les organisateurs de ce colloque: **«Quel est le rôle des conflits et des antagonismes dans la construction d'interprétation?»**

Le premier effet du conflit qui oppose Jésus aux pharisiens et les premiers chrétiens aux juifs est de mettre en question une interprétation de la Loi considérée comme allant de soi: interdiction de travailler le jour du sabbat, lapidation des femmes adultères, obligation de passer par la circoncision, etc. Cette mise en cause oblige les interlocuteurs à décliner les présupposés de leur interprétation, qui sont le plus souvent tacites, car ils font l'objet d'un consensus à l'intérieur d'une couche sociale donnée. Les protagonistes sont alors mis au défi d'argumenter pour étayer leur point de vue. Dans les textes cités, les arguments invoqués pour légitimer une interprétation étaient puisés dans la tradition scripturaire (la Loi et les Prophètes), dans la tradition orale (les enseignements de Jésus) ou dans l'expérience vécue et attestée (récits de miracles, conversion des païens). Lire le présent à la lumière des écrits antérieurs ou à celle des paroles du Maître a pour effet de recontextualiser ces références et, de ce fait, d'en transformer le sens. Ainsi surgirent des interprétations chrétiennes de la Loi et des Prophètes, qui étaient inacceptables pour les gardiens de la tradition juive, d'où rupture et apparition d'une nouvelle religion. Le christianisme, né d'un conflit d'interprétation interne au judaïsme, s'est, lui aussi, doté d'Écritures (les 27 livres du Nouveau Testament) qui reflètent la manière dont se sont

progressivement construites les interprétations de la figure de Jésus et de sa mort en croix.

2. La Bible, source de conflits herméneutiques

Au fur et à mesure que disparaissaient les contemporains de Jésus de Nazareth et que l'activité missionnaire se déployait hors de Palestine, la nécessité se fit sentir de fixer par écrit les divers témoignages recueillis et d'en expliciter le sens à des destinataires non juifs. Le mariage de la culture judéo-chrétienne et de l'hellénisme n'alla pas sans difficulté. Les élites païennes considéraient les chrétiens comme des gens ignares et crédules. Pour défendre la cause du christianisme, les pères apologistes utilisèrent la rhétorique et les catégories de pensée de leurs adversaires. Mais, jusqu'à la fin du IV^e siècle, ils hésitèrent entre le rejet et l'assimilation des savoirs profanes. Fallait-il composer avec les cultures païennes, notamment avec la philosophie et la science des Grecs, beaucoup plus élaborées que celles des premiers chrétiens? La réponse ne fut pas uniforme: à Alexandrie, Clément puis Origène empruntèrent la voie tracée par Philon. Ils mirent au service de l'Évangile toutes les ressources de la culture ambiante (grammaire, étymologie, philologie, dialectique, rhétorique, philosophie), privilégiant le dialogue entre les traditions juives, hellénistiques et chrétiennes. C'eût été faire preuve d'orgueil que de prétendre pouvoir se passer de la raison et des connaissances des autres cultures. À Antioche en revanche, l'orgueil consistait à croire qu'il est possible d'ajouter quelque chose à la révélation. On y prônait le littéralisme, car la Bible était tenue pour un livre inspiré à la lettre. Alors que l'empire romain faisait naufrage, saint Augustin recueillit l'héritage d'Alexandrie et celui d'Antioche. Il fit preuve d'ouverture à la science profane: dans *La Genèse au sens littéral*, il implore les chrétiens de ne pas soutenir des positions aberrantes et ne pas contester les données de la science, car cela nuit à la crédibilité de l'Évangile.

«Car lorsque ces savants infidèles surprennent un chrétien dans l'erreur sur des matières qui leur sont parfaitement connues, et le voient affirmer ce qu'il avance comme étant tiré de nos livres, pourront-ils croire à ces livres qui nous parlent de la résurrection des morts, de l'espérance de la vie éternelle, du royaume du ciel, lorsqu'ils les verront remplis d'erreurs sur des choses qu'ils peuvent connaître par expérience ou découvrir par des nombres indubitables?» (*Les Douze Livres de la Genèse au sens littéral*, 1,19)

Mais l'attitude d'Augustin est aussi faite d'éclectisme. Il se méfie des mathématiciens et considère l'astronomie comme une vaine curiosité. Il

recommande de se limiter à l'étude des sciences utiles à la foi chrétienne.

«Il est inutile de scruter trop profondément ce qui tient à la nature des choses comme le font les philosophes que les Grecs appellent physiciens. [...] Il suffit au chrétien de croire que toutes choses créées, soit dans le ciel soit sur la terre, visibles ou invisibles, sont l'oeuvre de la bonté du Créateur qui est le seul et vraiment Dieu.[...] Ce que nous devons connaître, ce sont les causes du bien et du mal.[...] Aimez donc la science, mais préférez la charité. Si la science est seule, elle enfle le coeur.» (sermon 354)

Augustin rejette les théories matérialistes et panthéistes pour donner la préférence au platonisme, qui reconnaissait la transcendance divine. Ayant opéré son tri, il se déclare convaincu qu'il ne saurait y avoir de contradiction entre la science profane et la révélation biblique. La science doit être au service de la foi, sinon elle n'est que vanité. Telle est l'attitude qui prévaudra en Occident, pendant un millénaire. Du Ve au XVe siècles, l'Église fait et dirige la science: les seules écoles sont les écoles monastiques et épiscopales. Le monde visible, considéré comme un immense symbole de la réalité spirituelle, reflète l'ordre et l'intention du Créateur. Entre le livre de la nature et celui de la révélation, qui procèdent tous deux de Dieu, la contradiction est *a priori* impossible. Des conflits entre la raison et la foi surgissent malgré tout, et les esprits brillants, tels Jean Érigène Scot, Abélard ou Thomas d'Aquin, sont soupçonnés d'hérésie. À partir du XIIIe s., les Occidentaux prennent peu à peu connaissance de l'héritage recueilli et enrichi par les Arabes; ils découvrent la physique et la métaphysique d'Aristote ainsi que certaines oeuvres d'Avicenne.

2.1 La querelle de l'aristotélisme

La querelle de l'aristotélisme (XIIIe s.) préfigure les conflits qui surgiront avec l'avènement de la science expérimentale. L'univers incréé et éternel d'Aristote n'était pas compatible avec le dogme de la création; des planètes ayant chacune pour moteur un esprit vivant trahissait une conception animiste du monde. Fallait-il rejeter la science d'un auteur aussi prestigieux qu'Aristote, qui suscitait l'admiration des érudits? Face à ce dilemme et aux autres conflits du même genre, trois attitudes furent adoptées:

– *Trier*. C'est le principe énoncé par Guillaume Varon d'Oxford: conserver ce qui s'accorde avec la doctrine chrétienne et rejeter le reste.

– *Admettre une double vérité*. C'est la solution préconisée par les maîtres ès arts, tel un Siger de Brabant: séparer les domaines scientifique et théologique. Mais, les autorités ecclésiastiques du XIIIe s. n'étaient pas prêtes à accorder une pleine autonomie à la raison: une science dont les conclusions s'avéraient contraires à l'Écriture devait être écartée comme une science fallacieuse.

– Fournir un effort d'interprétation pour parvenir à une synthèse. C'est le travail entrepris par Albert le Grand, préparant la voie à son élève, Thomas d'Aquin. La somme théologique de Thomas entendait concilier la philosophie d'Aristote et la Bible. En affirmant que la révélation se fait par accommodation de la Parole de Dieu à la nature rationnelle de l'homme, Thomas ouvrait la voie à la distinction entre les témoignages bibliques et la théologie (la réflexion sur ces témoignages). Alors même qu'une solution se profilait, l'Église se sentit menacée un système de pensée qui lui était étranger. Dans une réaction d'autodéfense, elle le déclara faux et hérétique (condamnation de 1277, sous le coup de laquelle tombèrent les écrits de Thomas d'Aquin), puis elle adopta la synthèse aristotélo-thomiste au début du siècle suivant (Thomas fut canonisé en 1323). Les autorités ecclésiastiques se réclamaient de la révélation scripturaire pour réfuter des affirmations concernant le fonctionnement de la nature. Cette attitude devint la manière habituelle de trancher les conflits entre science et foi, dans le catholicisme romain, et cela jusqu'à Vatican II. Le magistère condamna successivement l'héliocentrisme, l'atomisme, l'existence du vide, la gravitation universelle, l'ancienneté de la Terre, le darwinisme, le polygénisme. La condamnation de 1277 est tombée dans l'oubli, alors que celle de Galilée resta gravée dans tous les esprits. En réalité, l'affaire Galilée s'inscrivait dans la filiation directe des procès médiévaux. C'est au XIIIe s., en effet, que l'Église instaura l'Inquisition et qu'elle commença à user systématiquement de son pouvoir pour convaincre.

«Le maître problème de la grande époque scolastique, posé par la résurgence aristotélicienne, est celui du pouvoir de la raison. Il s'agit de savoir si, ce pouvoir une fois reconnu, il sera possible de limiter son exercice et de le maintenir dans l'obéissance de la foi.»¹³

2.2 La Bible, une pierre d'achoppement

Le développement des connaissances scientifiques dû à l'observation et à l'expérimentation suscita divers conflits opposant les autorités ecclésiastiques aux savants. Nous nous limiterons à deux exemples, touchant à la lettre de l'Écriture, pour examiner la manière dont ils se sont résolus: la querelle de l'héliocentrisme et celle de l'âge de la Terre.

L'affaire Galilée

L'affaire Galilée étant bien connue, nous n'en relèverons que certains aspects.

Au début du XVIIe s., l'Église romaine est divisée entre les partisans d'un catholicisme rénové, faisant droit à la liberté intellectuelle, et les défenseurs

¹³ Gusdorf, G. (1988) *Les origines de l'herméneutique*. Paris: Payot, p. 205.

de la scolastique médiévale (Dominicains et Jésuites). Dès 1612, certains prédicateurs dominicains s'en prennent aux mathématiciens. Galilée, premier mathématicien du Studium de Pise et du Grand-Duché de Toscane, s'en inquiète. Il écrit, à titre préventif, à son ami Castelli (1613) et à sa protectrice, Christine de Lorraine, grande-duchesse de Toscane (1615). Ce sont les seuls écrits où Galilée s'exprime sur des questions religieuses. Dans ces deux lettres, après avoir affirmé que Bible et science ne pouvaient se contredire, Galilée avance les arguments suivants:

– Dieu parle aux hommes de deux manières, par la Bible et par le livre de la création. La Bible n'est pas le seul moyen de connaître; la connaissance acquise par les sens et la raison ne doit pas être négligée.

– Un décret du Concile de Trente avait spécifié que, en matière de foi et de moeurs, l'Écriture devait être interprétée en suivant le consensus des pères de l'Église. D'une part, Galilée démontre qu'il n'y pas accord des théologiens sur le passage biblique où Dieu arrête la course de la Lune et du Soleil pour permettre à Josué de remporter la victoire sur ses ennemis (Jos 10,13). Vu ce désaccord, la prudence est de mise dans l'interprétation de l'Écriture. Il estime d'autre part que les questions d'astronomie ne relèvent ni de la foi ni des moeurs. La Bible ne mentionnant que trois astres (Soleil, Lune, Vénus), Galilée en conclut que l'astronomie ne s'apprend pas dans la Bible.

Suite à la condamnation des thèses coperniciennes et à la mise à l'Index du *De Revolutionibus*, le cardinal Bellarmin lui recommande de ne plus enseigner l'héliocentrisme et de n'en parler que par supposition ou hypothèse. Galilée s'y tient pendant sept ans, mais il relance la controverse en entamant, à propos des comètes, une dispute avec l'astronome Grassi, un adversaire redoutable. La jeune Académie laïque *dei Lincei*, dont Galilée représente le fer de lance, décide alors de lancer une offensive contre l'aristotélisme et les Jésuites. À sa demande, Galilée rédige le *Saggiatore*, qui est un manifeste de la nouvelle philosophie de la nature, sorti de presse en 1623 et dédié à Urbain VIII, le nouveau pape favorable à Galilée. La réplique de Grassi ne se fait pas attendre: sous le pseudonyme de Sarsi, il publie un ouvrage dans lequel il s'en prend à la théorie corpusculaire de la matière exposée dans le *Saggiatore*. Puis Galilée se met à composer le fameux *Dialogo*¹⁴, qui fut à l'origine de son procès. Le manuscrit est soumis au pape qui demande à Galilée de présenter les deux systèmes du monde comme également plausibles et d'ajouter une clause selon laquelle Dieu peut, dans sa toute-puissance, produire des phénomènes célestes d'une manière différente de ce que les hommes imaginent. Cet argument subordonnait implicitement la science à la théologie, mais Galilée ne

¹⁴ «Dialogue où dans les rencontres de quatre journées il est disserté au sujet des deux principaux systèmes du monde, le ptoléméen et le copernicien, en proposant sans aucune détermination les raisons philosophiques et naturelles tant en faveur de l'une que de l'autre des parties».

pouvait s'y soustraire. Il reçut l'*imprimatur* à condition que l'ouvrage fût imprimé à Rome. Or le *Dialogo* sortit de presse à Florence, en février 1632. Dès la réception de l'ouvrage, le pape entra, paraît-il, dans une vive colère et ordonna de confisquer tous les exemplaires imprimés. Mais quand les huissiers arrivèrent à Florence, le stock avait été écoulé; même à Rome, il s'avéra impossible de bloquer la diffusion de l'ouvrage. Galilée fut convoqué au Saint-Office. Après trois mois de procès, le savant, à genoux et la main sur les Évangiles, abjura l'héliocentrisme. Il se vit condamné à la prison, mais sa peine fut commuée en résidence à vie, dans sa propre villa d'Arcetri. Face au pouvoir contraignant des autorités ecclésiastiques, Galilée jugea préférable de se rétracter. L'affaire paraît limpide, et pourtant, des dizaines de milliers de pages furent consacrées à l'interprétation de cette affaire. Aujourd'hui encore, les historiens divergent sur le mobile de sa condamnation¹⁵. Pourquoi donc fallait-il que Galilée fût réduit au silence?

Une première interprétation veut que Galilée ait été victime de l'obscurantisme religieux: martyr de la science nouvelle, il devint aux yeux des élites cultivées, le symbole de l'affrontement entre un fait scientifique et une vérité dogmatique. À vrai dire, ce jugement s'est imposé *a posteriori*, car à l'époque Galilée ne pouvait fournir les preuves de l'héliocentrisme, qui furent apportées ultérieurement par Newton et Foucault, notamment. Il faut donc revoir cette interprétation qui pêche par anachronisme.

Le procès de Galilée eut lieu dans le sillage de la Contre-Réforme. La condamnation de l'héliocentrisme par l'Église en 1616 est probablement due au fait que, dans l'ensemble, les protestants et des hérétiques – tels Giordano Bruno ou Campanella – avaient pris parti pour la nouvelle philosophie. À la contestation de la compréhension de l'Écriture, il ne fallait pas laisser s'ajouter celle du système aristotélo-thomiste. Dans cette version, le procès de Galilée ne serait pas celui de l'héliocentrisme, mais celui d'une mentalité subversive qui refuse de se plier à l'autorité de l'Église. Cette interprétation se heurte toutefois au fait que Galilée fut traité avec des égards exceptionnels.

Une autre hypothèse veut que Galilée ait fait son propre malheur. Il aurait été victime de sa maladie et de son caractère provocateur. Dans ce cas, l'affaire tourne au drame psychologique. Le pape se serait reconnu sous les traits du personnage ridiculisé dans le *Dialogo*, Simplicius, et se serait offusqué de l'insolence de Galilée. Pourtant, ceux qui avaient réclamé sa tête ne furent pas mieux traités que lui: le père Grassi, qui était alors recteur du *Collegio romano* fut envoyé en exil.

Galilée aurait-il été victime de la conjoncture politique? Le pape se trouvait dans une situation délicate au moment du procès. Vers 1630-33, la Guerre

¹⁵ Cf. Stengers, I. (1989). Les affaires Galilée. In M. Serres (Éd.), *Éléments d'histoire des sciences*. Paris: Bordas, pp. 223-249.

de Trente Ans prit une tournure dramatique pour les états catholiques, car Richelieu venait de s'allier avec la Suède luthérienne. Urbain VIII, qui avait jusque-là mené une politique pro-française, se vit suspecté par l'Espagne et l'Autriche de complicité avec l'ennemi. Il risquait d'être déposé. Pour des raisons d'état, le pape se serait vu contraint de lâcher Galilée. La condamnation de Galilée fut officiellement annoncée à toutes les grandes puissances par l'intermédiaire des légats pontificaux. Galilée n'aurait-il été qu'un pion sur l'échiquier politique de l'époque?

Enfin, cette affaire pourrait en cacher une autre. Le véritable mobile du procès n'aurait pas été l'héliocentrisme, mais les penchants de Galilée pour l'atomisme, qui mettait en danger le nouveau dogme de la transsubstantiation. Telle est la thèse de l'historien catholique P. Redondi, qui s'appuie sur un document retrouvé récemment dans les archives du Vatican, document anonyme et non daté, accusant Galilée d'hérésie eucharistique en relation avec sa théorie corpusculaire de la matière¹⁶. L'hypothèse de Redondi est savamment et intelligemment étayée. Elle ne fait cependant pas l'unanimité parmi les historiens, pour des raisons évidentes: les actes du procès ne mentionnent rien qui pourrait laisser supposer que l'atomisme a joué un rôle dans cette affaire. D'ailleurs, le *Saggiatore*, où Galilée expose sa théorie corpusculaire de la matière ne fait aucune allusion au dogme de la transsubstantiation, et cet ouvrage ne fut jamais mis à l'Index. Et si Galilée avait, grâce à ses protecteurs haut placés, évité de justesse un procès pour hérésie c'est-à-dire le bûcher, aurait-il pris le risque de reparler d'atomisme dans les *Discorsi* qu'il rédigea après son procès? Il est permis d'en douter.

Notre propos n'est pas de trancher entre ces différentes interprétations. Mais il est intéressant de relever que, comme dans l'affaire Jésus, le conflit d'interprétation change d'objet au fil du temps: ce n'est plus l'héliocentrisme qui fait problème, mais le mobile du procès. L'histoire ayant donné raison à Galilée, il fallut renoncer à prendre Jos 10,13 à la lettre.

L'âge de la Terre

L'étude des fossiles d'une part, le développement de la géologie d'autre part, amenèrent les savants du XVIIIe s. à conclure que la Terre était beaucoup plus vieille qu'on ne l'avait pensé jusque-là. Les contemporains de Newton avaient un passé de 6000 ans, alors que ceux de Kant l'estimaient à des millions d'années. L'idée de la profondeur du temps géologique ne s'imposa pas sans peine. Buffon publia en 1744 une *Histoire de la Terre*, attribuant à cette dernière l'âge respectable de 84.000 ans. La Faculté de la Sorbonne censura quatorze de ses propositions, jugées

¹⁶ Redondi, P. (1985). *Galilée hérétique*, Paris: Gallimard (éd. orig. 1983, trad. M. Aymard).

contraires à la religion. Et Buffon se rétracta¹⁷, en plein siècle des Lumières! En fait, la rétractation, à l'instar de celle de Galilée, était purement tactique¹⁸. En Angleterre, les théories de J. Hutton¹⁹ et de Ch. Lyell²⁰ vinrent mettre en question l'âge de la Terre, calculé à partir des généalogies bibliques (4000 ou 6000 ans selon les comptes) Ce nouveau différend entre la science et la tradition scripturaire donna lieu à des débats et à une série d'écrits: les traités de Bridgewater²¹. Les deux traités rédigés par le Révérend W. Buckland sont représentatifs de l'opinion de la partie du clergé anglican acquise à la théologie naturelle. Persuadé de la véracité des observations scientifiques, il entreprit de démontrer qu'elles ne contredisaient pas les récits de la Genèse. Il commença par attribuer au «jour» de Gn 1 la signification de «longue période». Chaque jour de la création pouvait être considéré comme une ère géologique. Puis il avança que les ossements retrouvés dans les grottes étaient, comme les fossiles des sédiments terrestres, les témoins des derniers jours avant le déluge. Quand il s'avéra que les restes trouvés dataient de différentes époques, Buckland postula l'existence de plusieurs déluges, antérieurs à celui dont parle la Bible. Il révisa encore une fois sa version concordiste lorsqu'il eut connaissance de la théorie des glaciations: pour Buckland, la Bible ne relate pas l'origine absolue du monde, mais seulement le dernier épisode de la création, celui qui a donné naissance à la race humaine. Contrairement aux médiévaux, Buckland et ses contemporains ne tentaient pas d'ajuster la science à la révélation scripturaire, mais ils ajustaient leur compréhension de l'Écriture aux faits scientifiques.

À notre connaissance, tous les conflits entre la science expérimentale et la religion chrétienne se sont soldés par une révision des dogmes ou par une réinterprétation non littéraliste des textes bibliques. Tous ou presque, car plus d'un siècle après la publication de l'*Origine des espèces* (1859), la

¹⁷ Buffon, G. (1753). Lettre de rétractation publiée au début du 4e tome de son *Histoire naturelle*.

¹⁸ «Quand la Sorbonne m'a fait des chicanes, je n'ai fait aucune difficulté de lui donner toutes les satisfactions qu'elle a pu désirer: ce n'est qu'un persiflage, mais les hommes sont assez sots pour s'en contenter. Par la même raison, quand je tomberai gravement malade et que je sentirai ma fin s'approcher, je ne balancerai pas à envoyer chercher les sacrements. On se doit au culte public. Ceux qui agissent autrement sont des fous. Il ne faut jamais heurter de front les croyances populaires comme faisaient Voltaire, Diderot, Helvétius.» Paroles rapportées par De Séchelles, H. (1785). *Voyage à Montbard* (publié en 1801).

¹⁹ Hutton, J. (1788). *Theory of the Earth*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh.

²⁰ Lyell, Ch. (1830-33). *Principles of Geology*, London: J. Murray 3 tomes.

²¹ Un comte de Bridgewater avait légué à l'Académie des sciences une somme destinée à financer la publication d'écrits pieux. L'Académie confia alors à huit savants la tâche de mettre en lumière la puissance, la sagesse et la bonté de Dieu dans la Création, en illustrant la démonstration par des arguments raisonnables. La plupart des auteurs consacrèrent de longs passages à la géologie.

notion d'évolution se trouve toujours récusée par certains milieux fondamentalistes, apparentés au protestantisme. Il existe à San Diego un *Centre de recherche en science de la création*, qui compte plusieurs centaines de chercheurs. Ceux-ci visent à établir l'historicité du déluge, à apporter la preuve matérielle de l'existence de l'arche de Noé et à démontrer que la formation de la Terre ne remonte pas à plus de 10.000 ans²². Ces créationnistes²³ tirent prétexte des débats, internes à la science, sur les mécanismes de la macro-évolution, pour refuser toute notion d'évolution et faire passer les textes bibliques pour des récits historiques et scientifiques. On pourrait se contenter de sourire, si cette minorité active n'avait, dans les années quatre-vingts, fait adopter – dans une douzaine d'états américains – des lois stipulant que les élèves des écoles devaient recevoir un enseignement plaçant sur pied d'égalité la «science de la création» et la «science de l'évolution». La dernière de ces lois fut abrogée en 1987 par la Cour suprême des États Unis. Face au créationnisme, les milieux tant scientifiques que théologiques se sentent mal à l'aise. Les premiers découvrent que les faits ne parlent pas d'eux-mêmes et que les évidences de la raison sont impuissantes contre les croyances. Les théologiens savent que l'Écriture est prise à la lettre dans les milieux fondamentalistes, mais ils sont désarçonnés par le fait que les créationnistes entendent placer le débat sur le plan scientifique, car ils n'ont souvent pas les connaissances qui leur permettraient de réfuter les arguments pseudo-scientifiques des créationnistes.

À l'exception du créationnisme près, c'est l'effort d'interprétation qui a permis de dépasser le conflit entre des vérités religieuses et des données scientifiques. Il a fallu apprendre à distinguer entre les textes ou les faits et leur interprétation, entre la Bible et la Parole de Dieu, entre ce qui relève de la raison et ce qui dépend de la foi. C'est ainsi, que pour répondre à la question posée par les organisateurs du colloque, nous affirmons qu'il y a toujours interprétation (on n'en sort jamais!), mais c'est seulement lorsque celle-ci est reconnue comme telle qu'elle peut être révisée et que l'affrontement entre des lectures divergentes peut éventuellement aboutir à une interrogation sur les mobiles et les enjeux de cet affrontement.

Conclusion

Si le christianisme fut marqué par de nombreux conflits tout au long de son histoire, il l'est encore aujourd'hui, non seulement en matière d'oecuménisme, mais aussi à propos des méthodes d'interprétation des

²² Cf. Lecourt, D. (1992). *L'Amérique entre la Bible et Darwin*. Paris: P.U.F.

²³ Le créationnisme est une doctrine qui se base sur les récits bibliques de la Genèse pour expliquer l'origine des espèces; elle enseigne que les espèces ont été créées séparément, en une fois, et qu'elles n'ont pas varié depuis l'origine.

textes bibliques. Les théologiens disposent aujourd'hui de nombreux outils d'analyse des textes bibliques. L'exégèse historico-critique²⁴, qui prédomina largement dans les milieux académiques se vit, dans la deuxième moitié du XXe siècle, concurrencée par d'autres approches: analyse structurale, narratologie, approche socio-politique, féministe, psychanalytique, etc. Or ces différentes lectures ne coexistent pas toujours pacifiquement²⁵. Certains défenseurs d'une lecture socio-politique récusent l'exégèse historico-critique, considérée comme bourgeoise et prétendue inutilisable en dehors de l'Europe. Certaines féministes contestent la clôture du canon: les pères de l'Église en auraient écarté des écrits attestant l'importance des femmes dans les premières communautés chrétiennes. E. Drewermann, théologien catholique et psychanalyste allemand, reproche à l'exégèse historico-critique d'avoir vidé les textes bibliques de leur message existentiel²⁶. Ce conflit entre méthodes peut-il être dépassé par une explicitation des présupposés qui président à leur choix? Autrement dit: qu'en est-il de la multiplicité des points de vue? C'est une question délicate, que les organisateurs ont été bien inspirés de mettre à l'ordre du jour du colloque de Rochebrune. La multiplicité des points de vue constitue une véritable richesse, pour autant qu'il y ait débat et que l'on n'admette pas *a priori* que toutes les interprétations se valent ou que «tout est bon» (pour reprendre l'expression que Feyerabend utilisa pour qualifier les méthodes permettant de parvenir à des découvertes scientifiques) Le relativisme nous paraît, en effet, constituer l'un des dangers qui guettent l'herméneutique, l'autre étant évidemment le repli sur des positions dogmatiques.

²⁴ Pour la définition de cette méthode, cf. Zumstein, J. (1994). Les limites de l'interprétation. *Variations herméneutiques*, 1, 23-30.

²⁵ Luz, U. (1992). *La Bible: une pomme de discorde*. Genève: Labor et Fides. (Il s'agit d'un débat théologique publié sous l'égide de la Commission des théologues de la Fédération des Églises protestantes de Suisse, trad. J. Anderfuhren).

²⁶ Drewermann, É. (1985). *Tiefenpsychologie und Exegese*. Olten: Walter-Verlag, tome 2, pp. 247-277.

L'interprétation comme construction conflictuelle du sens en logique mathématique

Dominique Luzeaux*

luzeaux@etca.fr

* CTA/GIP, Laboratoire Perception pour la Robotique
16bis, av. Prieur de la Côte d'Or, 94114 Arcueil Cedex, France

Alors que le soleil commence son ascension par rapport à l'horizon, je survole un champ où fleurissent bon nombre de couleurs, en direction d'un endroit où éclatent plusieurs taches lumineuses, confiture, miel, lait me semble-t-il, autour desquelles bougent deux grandes formes faisant d'amples mouvements...

En ces heures matinales, les deux chercheurs s'étaient réunis autour d'un petit déjeuner, agrémenté de douceurs, et allaient aborder le problème qui leur tenait à cœur depuis plusieurs jours...

Au sein de cet environnement parsemé d'obstacles pour la plupart fixes, à part deux obstacles de taille conséquente aux mouvements globalement bornés mais localement aléatoires, se déplace un agent autonome, assimilable à un point dans l'espace de configurations, évitant les obstacles et ayant pour but d'atteindre une région précise près des obstacles en mouvement...

Une même scène vécue respectivement par une cousine de Maya l'abeille, un observateur curieux et un roboticien au cœur froid peu ému par la poésie des choses... Et pourtant, les récits sont fondamentalement différents, malgré une « réalité » a priori identique. En fait, il apparaît que l'interprétation de cette « réalité » est fortement variable, et on peut déjà distinguer quelques éléments que nous discuterons ci-dessous :

- elle est *locale*, en ce sens qu'elle est propre à un agent (éventuellement reliée à une motivation, au sens éthologique du terme, qu'en informatique on appellerait utilité) ;
- elle donne un *sens* à des choses, à un monde ;

- cette construction du sens se fait parce qu'il y a un *observateur*, qui peut donc percevoir ce monde,
- et qui construit cette *relation* qu'est le sens en fonction des conséquences ultérieures qu'aura cette construction du sens.

Il est donc a priori difficile d'aborder le problème de l'interprétation en faisant abstraction des notions de théorie et de modèle, le premier étant relié aux concepts d'utilité et de clôture déductive, et le second étant vu comme cette référence au monde perçu, observé, vécu, ce qui en fait pose de plus le problème de la téléologie de l'interprétation, voire de son incarnation (traduction du terme anglo-saxon « *embodiment* », couramment employé depuis plus d'une décennie en robotique); en bref, on devine l'apparition d'un quatrième intervenant, qui n'est ni théorie, ni modèle, ni interprétation, celui qui fait, ou pour qui sont faits ce processus. Par ailleurs, posée comme relation arbitraire, c'est-à-dire guidée par un choix, entre théorie et modèle, l'interprétation n'est clairement pas unique, et devient alors naturellement conflictuelle, puisque propre à celui qui établit cette liaison. D'où les questionnements sur les relations éventuelles entre différentes interprétations : inclusion, antagonisme, émergence de nouvelles interprétations.

Ce sont ces divers rapports que nous souhaitons détailler dans les paragraphes qui suivent, en nous restreignant au domaine de la logique mathématique.

1 Interprétation et vérité(s)

Dans [11], nous avons rappelé les définitions classiques de théorie et de modèles, ainsi que mentionné le concept d'« interprétation », qui établit le lien entre d'une part un système formel où la déduction logique se restreint à l'établissement de nouvelles formules par application mécanique finitiste de règles à partir de formules déjà établies, et d'autre part une structure, c'est-à-dire un univers comportant des éléments, des relations, des fonctions, etc. : chaque symbole logique est associé à un élément de la structure, les symboles de variables aux « points » de l'univers, les symboles relationnels aux relations de la structure, les symboles fonctionnels aux fonctions, etc. Ceci permet alors d'interpréter une formule logique au sein de ladite structure

comme vraie ou fausse, en vérifiant si via la traduction brièvement évoquée ci-dessus on aboutit à une propriété satisfaite ou non. Cette démarche est historiquement due à Tarski dans sa formalisation, et permet de définir une notion de vérité en relation avec un système formel, éclaircissant du même coup les rapports entre démontrabilité et vérité, le premier se faisant de manière hilbertienne in abstracto, le second s'appuyant sur une référence concrète, les contraintes étant radicalement différentes : dans un cas, c'est le finitisme récursif qui prime, dans l'autre c'est l'ancrage sur un univers, le passage se faisant instantanément sans considération d'une quelconque finitude (par exemple la formule $((\forall x)(x = x))$ interprétée sur \mathbb{R} est trivialement vraie, même si elle ne l'est que parce que nous nous sommes permis de concevoir \mathbb{R} dans sa totalité au niveau du quantificateur universel¹).

Pour fermer la parenthèse, la confusion faite entre démontrabilité et vérité à la base d'autres confusions comme interprétation et calculabilité ou simulation, est renforcée par le théorème de complétude de Gödel (moins bien médiatisé que son cousin le théorème d'incomplétude), qui démontre l'équivalence entre les deux notions pour la logique du premier ordre (que nous utilisons dès notre plus jeune enfance, d'où cette familiarité intuitive... et trompeuse²).

Il est important de constater la relativité de la notion d'interprétation vis-à-vis de la structure considérée (de même que nous avons constaté dans [11] la relativité vis-à-vis du langage employé) : sans détailler toutes les notations, une formule comme $((\forall x)(x \geq 0))$ va être interprétée comme vraie dans $\{0, 1, 2, 3\}$, mais fausse dans \mathbb{R} . Au contraire, la formule vue précédemment $((\forall x)(x = x))$ est satisfaite dans toute structure (à condition qu'elle soit égalitaire). Remarquons

1. On pourrait se dire que si cependant il existe une formalisation finiment axiomatisable, on pourrait tolérer cette conception dans la totalité dans la mesure où d'une certaine manière il existe une manière finie de décrire cette totalité ; cependant pour \mathbb{R} , il n'y a pas de telle axiomatisation finie en logique du premier ordre, et pour accéder à une représentation finie, il faut passer à l'axiomatisation en second ordre, qui nécessite de pouvoir quantifier des prédicats et non plus seulement des variables. Or, il semble que ce saut conceptuel est trop important pour pouvoir satisfaire même les tenants de la finitude la plus faible ; de toute manière, on pourrait alors, dans la formule ci-dessus, au lieu de prendre \mathbb{R} prendre un ensemble fonctionnel – par exemple les fonctions continues de \mathbb{R} dans lui-même –, ce qui obligerait à travailler dans des logiques d'ordre encore supérieur...

2. Le théorème de complétude syntaxique dit qu'une formule est démontrable si elle est valide dans tous les modèles, en d'autres termes, il n'existe aucune interprétation pour laquelle elle serait fausse. Nous reviendrons à la fin de la troisième section sur ces rapports entre démontrabilité et vérité absolue.

les abus dans la phrase précédente, car nous avons omis de définir complètement la structure : il eût fallu préciser dans le premier cas que $\{0, 1, 2, 3\}$ était muni de la restriction de la structure d'ordre de \mathbb{N} par exemple, ce qui permettait (et était nécessaire) de donner un sens à \geq et à 0 , interprété naturellement comme la constante nulle étant alors mise en relation avec les éléments de l'univers de par la restriction de la structure d'ordre. On aurait tout aussi pu définir une interprétation où le symbole \geq était en fait interprété par $<$, et la formule devenait fausse !

C'est ce découplage entre la syntaxe et la sémantique qui a été le véritable tour de force de Hilbert et ensuite de Tarski, et qui conduit à une notion de vérité non absolue. Même s'il y a des interprétations naturelles en ce sens qu'elles ont lieu dans des structures naturelles (par exemple les entiers ou les réels standards), elles n'ont rien d'absolu, et les autres modèles sont tout aussi acceptables du point de vue de l'interprétation. C'est exactement la situation rencontrée dans les géométries non euclidiennes, où le système formel constitué par les postulats d'Euclide sans le postulat des parallèles admet plusieurs interprétations (la géométrie euclidienne, celle de Riemann, celle de Lobatchevsky...), qui sont donc chacune un domaine de vérité.

Cette absence d'interprétation absolue, ou tout au moins cette co-existence d'interprétations, est quelque chose de fondamental que nous allons développer dans les paragraphes qui suivent.

Outre les exemples que nous avons cités, mentionnons le travail de Kripke sur la sémantique des mondes possibles qui a eu des répercussions très importantes tant dans le monde de la logique que dans celui de l'informatique théorique, de l'intelligence artificielle, de la robotique, etc. Le point de départ de Kripke est de définir la satisfaction d'une formule localement, en un point de l'univers avec une structure liée à ce point aussi (ceci constitue le « monde »), et de propager la valeur de vérité de manière contrôlée, en définissant des relations d'accessibilité entre les mondes (donc entre les structures locales de satisfaction). Cette version topologique de la vérité est une vision très différente de la notion de vérité globale telle que l'héritage aristotélicien la prônait ; le terme « topologique » vient du fait que l'on peut considérer le monde où est effectuée l'interprétation locale comme un ouvert, et l'ensemble des mondes accessibles devient

un treillis construit sur les ouverts, où la structure ordonnée traduit directement l'accessibilité (cette manière de présenter les choses est due à Heyting et a le mérite d'unifier les diverses logiques modales par exemple, et de présenter un cadre mathématique englobant les diverses exubérances de l'intelligence artificielle, avec l'explosion des logiques non classiques, aléthiques, déontiques, épistémiques, érotétiques...).

Cette relativité de la notion de vérité permet entre autres de définir des logiques non monotones, où la relativité de la notion de vérité est non seulement spatiale mais aussi temporelle : une formule vraie à un instant donné peut devenir fausse plus tard. Cette apparente contradiction dans un cadre « classique » aristotélicien, où la vérité est une, indivisible et permanente, n'est plus contradiction dans de telles structures évolutives où la vérité est multiple et locale. Ainsi, un robot qui raisonne peut inférer des propriétés logiques sur la représentation de l'environnement qui l'entoure, et revenir sur ces représentations, soit parce que les mesures sur lesquelles étaient basées les inférences logiques étaient entachées d'erreur, d'incertitude, ou parce que l'environnement a évolué entretemps.

On voit donc le rôle des conflits et des antagonismes dans la construction de l'interprétation :

- ici, le conflit existe vu de l'extérieur (d'où le qualificatif de logiques non monotones, car ne conservant pas de manière strictement croissante l'ensemble des théorèmes inférés, donc le domaine des vérités construites), mais pas de l'intérieur (il y a cohérence interne dans les mondes accessibles entre eux, sinon il n'y aurait pas de logique en tant que telle, car si on peut relativiser la vérité, on ne peut évidemment toujours pas accepter l'incohérence³) ;
- la notion d'interprétation a pris ici tout son sens dans la résolution de ce conflit : le sens naît de l'évolution des interprétations (l'exemple typique est celui issu de la robotique, où c'est tout autant la représentation qui est importante que son évolution au cours du temps, et l'évolution des connaissances inférées, car cela permet aussi un tri parmi toutes les connaissances, celles qui changent ayant en quelque sorte une utilité renforcée par le fait

3. L'incohérence apparaît si l'on peut démontrer la formule fausse (dont toute interprétation est fausse), car alors on peut démontrer toute formule, ce qui ne présente guère d'intérêt.

qu'elles ont dû évoluer).

Ceci peut aussi être vu comme le dual du problème de l'interprétation collective versus individuelle : le collectif émerge ici de l'évolution dans le temps, et l'accessibilité est l'échange et l'aggrégation des « vérités » locales.

Formellement, le cadre des logiques multimodales explique cette situation : on considère pour chaque agent une modalité (ou un couple de modalités traditionnellement), et chaque formule est ainsi quantifiée par l'agent qui la manipule. Par exemple $\diamond_i p$ signifiera que pour l'agent i , il est possible que p soit vérifiée. Les logiques multimodales sont donc une extension des logiques modales, qui permettent, outre des vérités locales, des vérités collectives, la résolution collective se basant sur les propagations des vérités de chaque agent (on peut introduire des schémas plus ou moins forts du style $p \rightarrow \Box_i p$, ou $\Box_i p \rightarrow p$, pour respectivement signifier que ce qui est universel est nécessairement connu par un agent particulier, ou que ce qui est nécessaire pour un agent est universel). C'est ainsi que Mac Carthy résout le problème casse-tête⁴ des conseillers du roi par une logique multimodale. En fait, le point de vue collectif « spatial » (plusieurs conseillers, donc formellement plusieurs mondes échangeant des informations) peut aussi être vu comme une multiplicité des valeurs de vérité au sein d'un seul monde (formellement, ce sont les logiques multivaluées, à la Lukasiewicz, qui s'attaquent à cette problématique).

La logique propose donc une interprétation collective (augmentation globale du savoir) qui se décline en un ensemble d'interprétations individuelles, où le conflit n'est qu'apparent : il est extérieur à chaque agent, et n'apparaît que si l'on adopte un point de vue global à un méta-niveau « au-dessus » de tous les agents. Pour donner un exemple de cette relativité des points de vue, cela revient à l'interprétation d'une géométrie non euclidienne à l'intérieur d'une géométrie euclidienne, l'illustration classique étant de concevoir dans un cadre euclidien la sphère et d'interpréter alors la géométrie non euclidienne riemannienne comme la géométrie de la sphère, cette dernière inter-

4. Pour résumer, le roi vaut savoir lequel de ses conseillers est le plus malin, et peint des points blancs ou noirs sur le front de chacun d'entre eux, leur dit le nombre de points blancs qu'il a peints en tout, et demande à chacun la couleur de son point. La résolution d'un tel problème demande que chaque conseiller utilise pour son propre raisonnement ce que les conseillers précédents ont dit.

prétant la notion formelle de plan, les grands cercles interprétant la notion formelle de droite, etc.

La sémantique des mondes possibles, les multimodalités, permettent donc une pluralité cohérente des points de vue avec gain d'information au niveau de chaque individu ! Un véritable paradis politique !... ou un enfer pour ceux qui sont tentés par les prosélytismes les plus variés !

En fait, la différence avec la vie courante est que le référentiel de vérité (qui permet de parler de conflit) est partagé, alors que dans la logique on peut le séparer arbitrairement entre chaque agent. C'est ce jeu entre les métaniveaux qui est crucial en logique et permet de résoudre ou de mettre en évidence les pires paradoxes.

2 Interprétation et signes

L'ambition de la logique vers la fin du siècle dernier a été de séparer le signe du signifiant, de rompre ce lien naturel depuis les écoles logiciennes de la Grèce Ancienne. En fait, cette ambition est très récente et on pourrait même dire qu'elle est presque dépassée, car les écoles dont l'effort principal en relève sont aujourd'hui caractérisées de formalistes (avec des connotations excessives) et la plupart des contemporains se sont dépêchés d'enterrer les russeliens et les hilbertistes sous les décombres de leur édifice logico-mathématique abattu par le sacrosaint théorème d'incomplétude de Gödel.

En fait, le travail essentiel de cette période a été de faire une distinction fondamentale, que nous avons suivie pour les besoins de l'exposé, entre la manipulation de signes et leur interprétation contextuelle. C'est ainsi que les signes décontextualisés ont permis d'isoler des notions importantes telles la calculabilité, la déductibilité, par rapport à la conséquence logique, donc de trancher entre syntaxe et sémantique. Ce dépouillement a été très constructif pour poser les bases de l'axiomatique et du raisonnement formel. Même si cette démarche avait peut-être un but ultime criticable, ou tout au moins rendu impossible de par l'estocade gödelienne (montrant que tout système formel pouvant exprimer au moins l'arithmétique avec somme, produit et exponentielle ne pouvait être complet, donc recélait des propositions vraies que l'on ne peut démontrer de manière finitiste), elle a isolé les notions de théorie et de modèle, donnant du même coup toute sa

puissance au concept d'interprétation.

Il nous semble intéressant de creuser cette question de la décontextualisation de l'interprétation et de voir comment le signe (dépouillé de tout signifiant) peut quand même imposer une interprétation, dont nous avons vu qu'elle ne saurait être absolue, mais que l'on pourrait qualifier dans certains cas de « naturelle ». Par exemple le principe du carré d'Aristote, tel qu'il a été développé par la syllogistique, peut apparaître comme un moyen de construction de l'interprétation guidée par une sémiologie : l'appartenance d'une majeure ou d'une mineure à la classe des universelles ou des particulières relève d'une analyse sémantique a priori, donc d'un processus d'interprétation⁵ ; puis l'analyse du raisonnement se fait suivant un ensemble de règles tirées de tout contexte interprétatif, pour conclure à la validité dudit raisonnement (en fait à la satisfaction de la conclusion résultante, dans la structure ayant servi initialement à déterminer les classes des prémisses). En fait, tout l'art de la syllogistique (Grèce antique et Renaissance) a été de trouver les moyens de voir quels raisonnements pouvaient être menés, sans disposer des outils théoriques modernes (comme la logique des prédicats) qui eussent permis de poser (à la Hilbert et Tarski) le problème ; la démarche est instructive en ce sens qu'elle se base sur des représentations graphiques (le carré d'Aristote en est l'exemple générique) dont on se sert mécaniquement. Une telle démarche est à cheval sur les aspects syntaxiques et sémantiques, et peut en un certain sens être vue comme un procédé de définition d'adéquation de l'interprétation entre la théorie et un modèle recherché, en l'occurrence ici un modèle accepté de la langue. L'interprétation, ou plutôt le processus de sa construction, est alors bien une certaine paraphrase (au sens large) de signes déjà remplis de signification, comme le suggère Greimas.

C'est dans une telle direction que s'est aussi en quelque sorte lancé Jean Sallantin depuis [13], développant un cadre probatoire, dont l'objectif est de fournir des moyens de contrôler la formulation de nouvelles connaissances dans une tradition aristotélicienne : des diagrammes, dont l'obtention est fondée sur une interprétation a priori issue de la logique linéaire et d'une de ses interprétations « naturelles » rela-

5. Ne serait-ce que le moyen mnémotechnique *Barbara celarent Darii ferio*, où la succession de trois voyelles pour chaque mot indique les quatre raisonnements valides [12].

tive aux notions de tests et de preuves, sont donnés, et les parcourir permet de définir des contraintes dont le respect autorise le contrôle de la production de connaissances.

3 Relativité de l'interprétation et localité universelle des topoi

Dans les sections précédentes, nous avons vu la pluralité de la notion de vérité impliquée par l'interprétation, ainsi que le rôle de l'interprétation comme lien entre le signe et un référent. L'objet de cette section est de « réinterpréter » (à prendre au sens courant !) l'interprétation dans le cadre de la théorie des topoi afin de montrer la relativité fondamentale de cette notion par rapport à l'univers de discours.

Ces considérations vont s'appuyer sur les différences entre la théorie des ensembles et celle des topoi, le monisme de la première contrastant avec le pluralisme de la seconde, et puisent leur raison d'être dans la recherche et l'analyse d'un langage fondationnel des mathématiques.

Rappelons que la théorie des topoi s'appuie sur la théorie des catégories, qui considère de prime abord une structure mathématique quelconque non comme une entité ensembliste constituée d'une certaine façon, mais la définit par ses relations par rapport à d'autres structures, d'où la notion de morphisme et de composition des morphismes comme brique de base en place de celles d'élément et de relation d'équivalence.

Alors que les concepts mathématiques sont usuellement définis en référant à un univers absolu unique d'ensembles (rappelons-nous les enseignements du style : soit un *ensemble* muni de telle opération, alors c'est un ... si les propriétés suivantes sont satisfaites...), la théorie des catégories suggère que l'interprétation d'un concept mathématique puisse varier selon le choix de la « catégorie de discours ». Par exemple, la notion de groupe fait classiquement référence à un ensemble, un élément particulier et des relations particulières à vérifier entre éléments dudit ensemble. La formulation catégorielle repose sur des définitions à base de flèches (les morphismes entre objets)⁶, ce qui donne un ca-

6. Et subséquemment des diagrammes dits commutatifs, qui sont des figures composées des flèches. La notion d'élément individuel est oubliée, au profit de celle d'objet final, tel que toute flèche pointe vers l'objet en question. L'idée de base catégorielle étant l'isomorphisme, la flèche depuis un élément final donne un moyen

ractère structurel relationnel de la notion, au lieu de la référence à une ontologie ensembliste. L'intérêt de la formulation catégorielle est qu'elle est interprétable dans presque toute catégorie : dans la catégorie des espaces topologiques, la formulation de groupe s'interprète comme groupe topologique, dans la catégorie des variétés différentiables elle est groupe de Lie...

Ainsi l'interprétation catégorielle d'un concept mathématique n'est-elle déterminée que par rapport à une catégorie de discours qui peut elle-même varier ; il est donc conféré audit concept une ambiguïté de référence.

Ceci n'est pas sans nous rappeler l'ambiguïté référentielle présente en théorie des ensembles classique (Zermelo-Fraenkel), puisque les axiomes y sont formulés en logique du premier ordre et admettent donc, suite au théorème de Skolem, des modèles non standards, c'est-à-dire des interprétations variées. La différence est que dans le cas des catégories, l'interprétation est ambiguë de par sa relativité par rapport à la catégorie où l'interprétation est faite (mais il y a en quelque sorte une interprétation naturelle une fois la catégorie de discours fixée), alors que dans le cas de la théorie des ensembles, l'ambiguïté naît de l'impossibilité d'avoir un modèle unique (ce qui en logique mathématique est appelé la non-catégoricité⁷). C'est ce qui dans [2] avait été souligné par l'idée que la théorie des catégories se situait en amont de tout choix ontologique contrairement à la théorie des ensembles (donc dans le premier cas l'interprétation est faite par rapport à ce que l'on voudrait définir, dans le second cas par rapport à ce qui existe déjà et a été précédemment défini).

Pour poursuivre la réflexion, il nous faut nous tourner vers les topoi, qui sont des catégories particulières, cherchant à formuler le concept d'ensemble en prenant en compte son caractère sous-déterminé (cf. les différentes constructions des structures hiérarchiques des ensembles, qui, bien qu'essayant de partir d'axiomes « intuitifs », se révèlent loin d'être semblables, il n'est que de voir les multiples axiomes non contradictoires – choix, continu... – et les multiples extensions possibles – grands cardinaux, antifondation, etc.). Pour résumer, un topos est une

de « sélectionner » un élément, au sens de l'exhibition d'un représentant, dont on ignore cependant les propriétés individuelles.

7. Comme quoi les dénominations mathématiques sont quelquefois moins arbitraires qu'il pourrait y paraître !

catégorie où est définie une notion de produit d'objets (permettant donc de définir ce qu'est un couple d'objets), une notion de produit fibré (permettant d'isoler les objets partageant une certaine propriété), une notion d'objet final (il joue le rôle de l'ensemble vide), une notion d'exponentiation (cela correspond en informatique par exemple à fixer dans une fonction à deux variables une des variables pour en faire un paramètre dont dépend la fonction : $(A \times B \rightarrow C) \simeq (B \rightarrow C^A)$), une notion de sous-objet (analogue à l'injection d'un objet dans un autre, elle correspond à l'inclusion) et une notion de classificateur (correspondant à la fonction caractéristique en théorie des ensembles, qui définit au moins les « valeurs de vérité » vrai et faux).

Un théorème fondamental des topoi en logique [3, 4] permet de définir pour chaque théorie des ensembles locale⁸ un topos tel que la *validité* dans ce topos soit exactement la *démontrabilité* dans la théorie locale, et réciproquement à chaque topos on peut associer une théorie locale des ensembles avec la même équivalence. Comme la vérité dans un topos correspond donc à la démontrabilité dans une théorie des ensembles locale, dont la plupart sont sémantiquement incomplètes, il y aura nécessairement polyvalence de l'interprétation, c'est-à-dire que les propositions mathématiques formulées dans les théories locales et interprétées dans les topoi posséderont en général des valeurs de vérité différentes de vrai ou faux.

En fait, cela suggère [4] que l'univers absolu des mathématiques (conception platonicienne de « la » mathématique) doit être remplacé par une pluralité de topoi de discours, chacun d'entre eux devant être regardé comme un monde possible où l'activité mathématique peut prendre place : dans un tel monde, elle y est codifiée par une théorie locale des ensembles.

Cette interprétation de l'activité logico-mathématique (par un jeu subtil entre le topos où est faite une première interprétation de la formulation axiomatique de la théorie locale des ensembles, et la théorie des topoi qui est la métathéorie dans laquelle les propriétés d'un topos sont analysées⁹) souligne la relativité fondamentale, qui contraste

8. Pour résumer, il s'agit d'une formulation des axiomes habituels de théorie des ensembles (Zermelo-Fraenkel) dans une logique intuitionniste d'ordre supérieur, avec une légère restriction sur certaines opérations ensemblistes, conférant à la théorie une notion similaire à celle de type, comme employée dans des théories des ensembles typées (Skolem), d'où le qualificatif de *locale*.

9. Chose a priori impossible en théorie des ensembles, puisque cette dernière est

avec un caractère absolu des mathématiques – tel que nous le vivons ou l'apprenons !

Pour conclure ces quelques paragraphes, notons que si l'on impose la démontrabilité constructive (à la Brouwer) d'une assertion mathématique, cette dernière devient alors valide dans toutes les mathématiques locales. En d'autres termes, l'exigence de constructibilité d'une vérité/interprétation confère un caractère absolu à cette vérité, d'où une réduction de la pluralité interprétatoire par cette exigence.

4 Conclusion

Nous avons cherché à voir les liens entre l'interprétation et les multiples vérités auxquelles elle donne accès, les rapports qu'elle établit entre le signe et le référent, de quelle manière le signe peut guider l'interprétation, et enfin la relativité de l'interprétation dans son contexte le plus général de l'établissement d'assertions mathématiques. On peut conclure sur cette relativité générale qu'impose toute interprétation, jusque dans des concepts apparemment totalement maîtrisés, comme la constance, la finitude ou la dénombrabilité. Ceux-ci dépendent en fait entièrement de l'univers de discours adopté, et ce qui est par exemple dénombrable dans un monde ne l'est pas dans l'autre (argument classique faisant suite au théorème de Löwenheim, qui dit que toute théorie du premier ordre, si elle admet un modèle dénombrable, en admet de toute cardinalité, et donc la formule « je suis dénombrable » peut être interprétée par un modèle non dénombrable). De même, un objet non constant comme une fonction réelle continue variant sur un espace topologique X (vu dans la catégorie **Set** des ensembles) peut devenir constant dans une autre catégorie (par exemple **Sh**(X), la catégorie des faisceaux sur X), où il y représente d'ailleurs la notion de nombre réel constant. Tout n'est que différence d'interprétation !

Nous avons également vu avec la théorie des topoi les moyens d'établir une dynamique d'élaboration de l'interprétation, où l'interprétation est simultanément processus et résultat. Par ailleurs, nous avons

déjà un modèle d'un système formel, et la discussion de diverses théories des ensembles nécessite la possibilité de sortir du modèle pour en considérer un autre, tout ceci en supposant quand même, pour y exprimer ce changement, un modèle d'une (autre) théorie des ensembles, mais laquelle ?

souligné que la légitimation des interprétations est fondamentalement liée au langage discursif employé, et que même dans des domaines a priori où on semble pouvoir accéder à des connaissances figées comme la dérivation d'assertions mathématiques, il n'en est rien. Le seul processus de légitimation d'une interprétation privilégiée, au sens où elle dispose d'un certain caractère absolu, serait de raisonner sous des contraintes supplémentaires, comme celles d'un constructivisme imposé, qui a le mérite de réduire cette relativité au langage employé, mais a aussi l'inconvénient, tout au moins dans notre opinion, d'être un frein potentiel à la créativité du mathématicien, car il nous semble que le constructivisme est en fait une autre forme de langage de discours, que rien ne privilégie (si ce n'est pour certains ce retour à une vérité absolue après près d'un siècle d'apparents ébranlements de l'édifice logico-mathématique, toujours vu comme fondation de la vérité philosophique).

Références

- [1] S. Abramsky, D.M. Gabbay, and T.S.E. Maibaum. *Handbook of Logic in Computer Science, vol. 1: Mathematical Structures*. Oxford University Press, 1992.
- [2] A. Badiou. Platon et/ou Aristote-Leibniz. Théorie des ensembles et théorie des topos sous l'œil du philosophe. In M. Panza and J.-M. Salanskis, editors, *L'objectivité mathématique: platonismes et structures formelles*. Masson, 1995.
- [3] J. Barwise. *Handbook of mathematical logic*. North Holland, 1977.
- [4] J.L. Bell. *Local set theories*. Clarendon Press, 1988.
- [5] N. C.A. da Costa. *Logiques classiques et non classiques*. Masson, 1997.
- [6] H.D. Ebbinghaus, D. Flum, and W. Thomas. *Einführung in die mathematische Logik*. Springer Verlag, 4 Auflage, 1996.
- [7] M. Felden. *Le modèle géométrique de la physique: l'espace et le problème de l'interprétation en relativité et en physique quantique*. Masson, Nouveaux horizons scientifiques, 1996.

- [8] Y. Gauthier. *Logique et fondements des mathématiques*. Diderot Éditeur, Arts et Sciences, 1997.
- [9] R. Goldblatt. *Topoi: the categorical analysis of logic*. North Holland, 1984.
- [10] J. Largeault. *La logique*. Presses Universitaires de France, Que sais-je?, vol. 225, 1993.
- [11] D. Luzeaux. Modèle, langage, théorie : le point de vue de la logique mathématique. In *Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, journées de Rochebrune*, 1998.
- [12] M.-D. Popelard and D. V. *Éléments de logique*. Seuil, 1998.
- [13] J. Sallantin. *Les agents intelligents : vers une rationalité du calcul*. Hermès, 1997.
- [14] D. van Dalen. *Logic and structure*. Springer Verlag, 1994.

Un modèle interactionniste de l'interprétation: le cas de la perception de l'espace

Jean-Pierre Müller

Institut Interfacultaire d'Informatique - Université de Neuchâtel

11, rue Emile Argand, CH-2000 Neuchâtel, Suisse

jean-pierre.muller@info.unine.ch

Introduction

L'expérience immédiate nous montre un espace déjà là qui n'est donc pas à créer, seulement à percevoir, tout au plus à explorer. Cette interprétation de nos perceptions en termes spatiaux demande à être déconstruite pour montrer comment l'espace émerge de nos modalités d'être au monde, donc de nos interactions avec le monde, ainsi que nous allons le faire en introduisant progressivement trois acceptions de la notion de construction de l'espace. A noter que cet article n'a pas d'autre ambition que de proposer une acception possible de la notion complexe d'interprétation au regard d'une certaine expérimentation en robotique.

La pensée traditionnelle qui tend à considérer que des principes fondamentaux sous-tendent forcément l'expérience sensible s'est attachée à les expliciter et non pas à les créer, au moins en apparence. Chez les Grecs, ce projet s'est concrétisé dans la géométrie pythagoricienne qui a connu des prolongements sans précédents jusqu'à la géométrie mathématique d'aujourd'hui. Le sens de cette géométrisation de notre expérience de l'espace a glissé de la recherche des principes divins cachés dans la nature à la description d'un monde en soi, mais c'est le même principe qui se déploie selon diverses modalités: la compréhension d'un monde déjà là. Nous avons là une première construction de l'espace: celle qui consiste à extraire de notre perception immédiate des invariants qui ont été progressivement mathématisés. Ces invariants sont devenus évidents pour l'homme contemporain qui vit désormais dans un espace métrique, c'est-à-dire mesurable, cartographiable, dans lequel chaque objet, ainsi que lui-même, possède sa position. Etant mesurable, on peut donc en faire des cartes, y placer toutes choses, s'en servir pour se déplacer que ce soit à pied, en voiture, en bateau ou en avion. Nous n'allons pas traiter de la construction de ces invariants puisqu'il s'agit d'une modélisation d'une perception déjà formée. Si on veut atteindre à l'interprétation spatiale elle-même, à notre perception comme déjà spatiale, il faut aller plus loin.

Si on veut faire un déplacement, il suffit de prendre la carte, d'y tracer un parcours entre l'endroit où on est et l'endroit où on veut aller. Pour ne pas se perdre, il faut associer l'endroit où on se trouve avec une position sur la carte en cherchant des

objets remarquables autour de nous (remarquez que dans une forêt ou au milieu de la mer, c'est plus difficile), mais comme les objets sont aussi déjà là, de même que l'espace, il n'y a pas d'autres problèmes que d'apprendre à les regarder mieux et à les situer par rapport à la carte. Nous obtenons alors un second sens à la construction de l'espace, à savoir la mise en correspondance entre la perception immédiate et la carte, soit dans le but de construire la carte, soit dans le but de se situer dans une carte déjà construite.

Depuis quelques dizaines d'années, notre évolution technologique a accouché d'un nouvel objet, d'une nouvelle machine, à savoir le robot¹ ; au départ sous la forme d'un bras articulé puis devenu mobile. Contrairement aux mécanismes répétant toujours un geste à l'identique, le robot se targue d'avoir ou de devoir avoir la maîtrise des mouvements qui lui paraissent les plus opportuns pour remplir ses tâches. En d'autres termes, il lui faut appréhender l'espace pour décider ce qu'il y a à y faire et comment le faire. Fort de cette évidence d'un espace déjà là et mesurable, il suffisait donc d'une part de munir le robot d'une représentation de l'espace donc d'une carte ou de moyens de la construire et de moyens de perception permettant de créer cette fameuse mise en correspondance permettant au robot de savoir où il est, où il veut aller et de décider comment y parvenir. Sur les robots industriels, cela marche remarquablement parce qu'ils doivent soit toujours répéter le même geste soit travailler dans un monde très contraint. Force est également de dire que les robots mobiles dans des environnements peu prévisibles (par un exemple dans un atelier) ou carrément non connu à l'avance (par exemple, intervention sous-marine ou sur des sites de catastrophes) ne fonctionnent pas du tout. De par la complexité de l'environnement et la mobilité des objets, il n'y a pas de cartes globales possibles, donc pas de solution. Le robot pourrait encore faire la carte de ce qu'il peut percevoir par ses capteurs (sonars, caméras, etc.) mais pour cela il faut qu'il puisse au mieux identifier des objets et au pire mesurer des distances et surtout que rien ne bouge. Mais les objets sont bien récalcitrants à se laisser identifier en tant qu'objets ce qui pose la question de savoir ce qui fait de quelque chose un objet. La forme géométrique n'épuise pas la nature d'un objet, par exemple une chaise peut avoir des formes multiples, une même chaise peut être vue selon de multiples points de vue. Sa fonction s'y prête mieux mais allez expliquer à un robot qu'une chaise est un objet pour s'asseoir en y appuyant son dos. Pour cela, il faudrait qu'il soit anthropomorphe et soit capable de s'asseoir ce qui suppose qu'il puisse appréhender l'espace, mais c'est justement cela que l'on cherche à lui faire faire. Mais alors c'est quoi cet espace pourtant si évident qui naît des objets qui eux-mêmes naissent du savoir-faire (dans

¹ Cette technologie peut être considérée comme beaucoup plus ancienne si on pense aux automates du XVIII^{ème} siècle.

notre exemple du savoir s'asseoir) et qui semblent se déployer dans un espace qui devrait être déjà là.

Nous avons déjà indiqué que cet espace géométrique, cartographiable n'est géométrique que par une tradition plusieurs fois millénaire. Cet espace qui se présente déjà là à notre perception n'est pas nécessairement géométrique en soi. Pire que cela, la co-définition des objets et de l'espace semble aller jusqu'à rendre la notion insaisissable. Cela peut paraître évident à certains mais il a fallu la robotique pour nous démontrer que la mesure n'est pas la condition d'appréhension du monde et des objets qui nous entourent. L'exemple qui précède pointe même le doigt vers le savoir-faire ou plutôt ce par quoi il s'identifie, à savoir le comportement, comme constituant premier et conjointement de l'objet et de l'espace. Nous obtenons une troisième acception de la construction de l'espace qui n'est ni la géométrisation d'un monde déjà là (théorisation), ni l'utilisation de cette géométrisation pour construire une représentation spatialisées des objets et de soi-même (exploitation de cette théorisation) mais bel et bien la constitution de l'espace tel qu'il nous apparaît à travers le faire de l'organisme. Nous proposons d'appeler cette dernière acception: "interprétation spatiale" et d'en décrire une genèse possible sur la base de nos expérimentations en robotique.

Ayant donc déconstruit l'évidence de l'espace déjà là, nous allons maintenant décrire une histoire possible de cette genèse qui semble s'être déroulée en deux temps:

- La constitution d'un espace (et je dis bien un espace et non pas l'espace) par le seul fait d'être au monde selon certaines modalités constitutives de l'organisme, de l'être physique;
- L'appropriation de cet espace ainsi constitué, apparaissant à la conscience comme déjà là puisque déjà constitué, par la réflexion² au travers des modalités du discours mondain puis de la mathématisation.

Dans cette histoire, le robot apparaît ici non pas seulement comme un objet utilitaire mais comme un objet révélateur, le support d'une démarche expérimentale d'exploration de ce que peut être l'espace, l'objet et bien d'autres choses. Un courant de chercheurs est en train de comprendre et d'exploiter la robotique non pas comme un domaine purement technologique mais surtout comme le support d'une sorte d'épistémologie expérimentale, permettant de porter certains aspects des sciences humaines dans la démarche méthodologique des sciences de la nature et de l'artificiel. Il reste certes à se convaincre que cette déconstruction est effectivement

² On peut utiliser ici la réflexion au sens propre d'action sur l'action. L'action fait être l'espace, l'objet, etc.. L'action sur l'action ferait alors paraître ce que l'action a fait être. C'est ainsi que l'on peut comprendre ce que dit Maturana & Varela dans "l'arbre de la connaissance", Addison-Wesley 1995 et sur lequel nous reviendrons.

pertinente mais nous nous attacherons surtout à expliquer ou au moins à faire sentir la genèse de l'espace dans la perspective donnée précédemment. Pour ce faire nous utiliserons la robotique comme source de métaphores et comme objet à penser cette genèse.

Cette esquisse (car ce texte n'a pas d'autres ambitions) va se faire en trois temps, celui de l'identité, celui de la différence et celui de l'extériorité. Les deux premiers temps sont indispensables pour faire être une quelconque chose et notamment l'espace. Ils constituent une dialectique qui va faire être dans certaines modalités à la fois soi et non-soi, intérieur et extérieur. Cet extérieur une fois constitué, nous aurons l'espace.

Vers une genèse de l'identité

Nous allons commencer par décrire une expérience simple de robotique mobile qui nous permettra de fonder la construction de l'espace sur un cas concret. Les philosophes ne font rien d'autre en faisant ce qu'ils appellent des expériences de pensées. Imaginez donc un robot mobile comme une forme cylindrique montée sur roue (son corps) et dont le pourtour est muni de capteurs sonars (ses ``yeux"). Juste un petit mot sur ces capteurs qui émettent des ultrasons et calculent le temps qu'il faut à l'écho pour revenir vers eux. Ce temps est évidemment proportionnel à la distance entre le capteur et les objets sur lesquels le son rebondit³. Posons le robot avec, par exemple, un mur à sa droite et regardons ce qu'il mesure sur trois capteurs consécutifs à sa droite. Nous aurons trois mesures dont la première sera égale à la troisième et la seconde un peu plus petite (figure 1a). Nous allons programmer le robot de façon à répéter indéfiniment les consignes suivantes:

- Si la mesure 1 est plus petite que la mesure 3 (ou 2) alors tourner à gauche ce qui remet le robot parallèle au mur (figure 1b);
- Si la mesure 3 est plus petite que la mesure 1 (ou 2) alors tourner à droite pour la même raison (figure 1c);
- Si la mesure 2 est trop petite alors tourner à gauche en avançant pour que le robot s'éloigne du mur;
- Si la mesure 2 est trop grande alors tourner à droite en avançant pour qu'il se rapproche du mur;
- Dans tous les autres cas, avancer tout droit.

La logique montre que si le robot exécute ce programme, il va tout simplement suivre le mur. La question que nous souhaitons poser est de savoir si le robot sait que

³ Les bateaux utilisent les sonars pour détecter la profondeur des fonds marins et les chauve-souris pour se diriger dans l'obscurité.

c'est un mur. Cette question reproduit les deux temps de la genèse esquissée plus haut:

- Qu'est-ce qu'un mur?
- Qu'est-ce que savoir que c'est un mur?

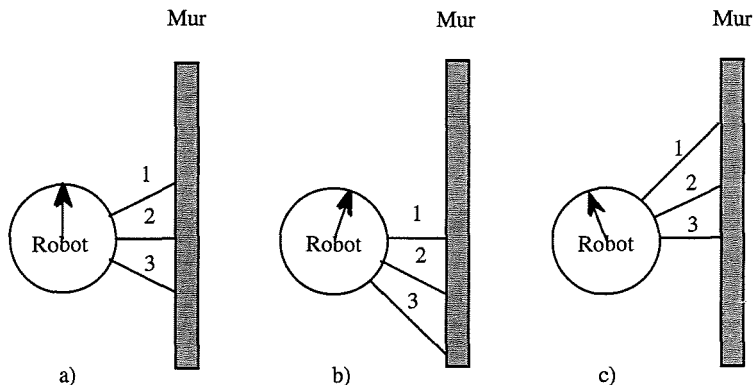


Figure 1

Une expérience simple permet de répondre négativement à la question sur le robot. Si on place le même robot à gauche de quelqu'un portant une valise, le robot va suivre la personne. Force est de constater que nous n'avons pas écrit un programme pour suivre un mur, mais pas davantage un programme pour suivre quelqu'un portant une valise. Il est facile de voir que le robot peut également tourner les coins. Alors qu'avons nous écrit? Tout simplement une boucle maintenant un invariant, à savoir une certaine relation entre trois mesures. Nous appellerons cette boucle une boucle sensori-motrice. Tout ce qui maintient cet invariant est considéré comme la même chose pour le robot. Il n'y a même pas de chose; cet invariant ne fait référence à aucune chose à l'extérieur du robot mais seulement à des sensations internes.

Cette expérience toute simple amène quelques réflexions. D'abord l'intention du programmeur était d'engendrer un comportement, à savoir le suivi de mur par un robot. Nous venons de voir que ce qu'il a programmé n'est pas le suivi de mur mais le maintien cyclique d'un invariant. C'est l'interaction de ce cycle avec l'environnement qui engendre le comportement (figure 2). Le comportement n'est nul part, ni dans l'environnement, ni dans le robot, il naît simplement dans le faire, dans l'entre-deux

de l'interaction⁴. En soit le comportement n'est pas manipulable, on ne peut le changer qu'en changeant la boucle ou en changeant l'environnement. Mais cette boucle a une propriété fondamentale car en faisant, simplement en s'exécutant, elle détermine à sa façon ce qu'il y a de commun à une gamme potentiellement infinie de comportements distincts. Cela semble donc indiquer expérimentalement que le savoir-faire, vu ici comme mise en correspondance du senti et de l'acte, est premier à la constitution du même, c'est pourquoi définir fonctionnellement une chaise comme quelque chose sur laquelle on s'assoit est plus fondamental que n'importe quelle définition structurelle en termes de pieds et de dossiers et de même pour les corridors que l'on traverse, les portes que l'on franchit.

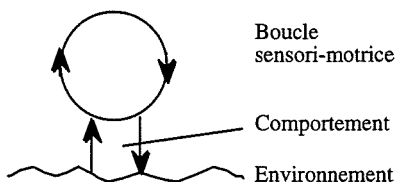


Figure 2

Chez les animaux et chez l'homme les boucles sensori-motrices qui sont forcément à l'œuvre dans tous nos mouvements et leur coordination, ne nous sont pas connues ni même accessibles. Nous ne pouvons pas accéder aux pensées de l'autre autrement qu'à travers ce qu'il dit et ce qu'il fait donc à travers son comportement physique et verbal. De plus l'environnement quel qu'il soit ne nous est connu qu'à travers nos boucles sensori-motrices et est donc inconnaissable en soi. C'est pourquoi la tradition philosophique de la phénoménologie, initiée par Husserl, a cherché à mettre méthodologiquement le monde entre parenthèses pour accéder aux mécanismes de la conscience. Donc si on veut savoir quel est l'environnement d'un animal ou de quelqu'un, (et non pas comment il perçoit l'environnement ce qui est doublement faux puisque nous venons de voir que la perception s'enracine forcément dans l'action et que l'environnement de l'homme dépend de ce qu'il en fait et n'a donc rien d'objectif) c'est d'abord une observation comportementale, fonctionnelle qui va permettre de l'établir. Curieusement, que ce soit pour comprendre l'être ou le monde dans lequel il vit, ou plus exactement comment s'articule indissociablement ce qu'il

⁴ Cette acception du comportement, compatible avec celle du dictionnaire n'a pas toujours désigné cet entre-deux. Dans la littérature behavioriste, le comportement désigne souvent l'arc réflexe (ce qui ressemble à ce que nous appelons ici la boucle sensori-motrice), voire une structure du système nerveux central. Cette dernière acception est souvent reprise sans analyse critique par les roboticiens ce qui amène des confusions.

est et ce que le monde est pour lui, c'est le comportement, cet entre-deux immatériel qui constitue l'articulation primordiale⁵.

Jusqu'ici nous avons esquissé quelques réflexions sur la base d'une expérience de pensée incarnée dans un robot sous la forme d'une boucle sensori-motrice mais nous n'avons pas parlé de la genèse de telles boucles. Une des raisons est que ce problème est encore pas ou mal résolu en robotique et c'est la raison pour laquelle il faut nous tourner vers le vivant. Maturana et Varela⁶ ont argumenté de façon convaincante que tout système vivant est profondément un processus cyclique visant à maintenir comme invariant sa propre organisation, donc son intégrité. Ce processus cyclique global résulte d'une multitude de processus cycliques visant à maintenir un certain nombre de paramètres sous la forme de niveaux de concentrations de diverses substances chimiques indispensables au fonctionnement cellulaire et organique. Les concentrations de ces substances dépendent à la fois de processus internes à l'organisme et de processus du milieu dans lequel il est plongé. Nous voyons donc immédiatement que dès la première cellule au niveau chimique le plus élémentaire, le vivant (d'une certaine façon mais vous me permettrez cette métaphore) sent et agit à travers des processus cycliques maintenant des invariants et donc détermine de cette façon ce qui est pour chacune des boucles le même. A la différence de notre boucle sensori-motrice qui a été programmée une fois pour toutes, ces boucles n'existent que parce que leur environnement le permet avec les bonnes catégories de substances au bon endroit et au bon moment⁷. La propriété fondamentale de telles boucles est que si l'environnement change, la boucle peut disparaître et éventuellement d'autres boucles apparaître provoquant des réactions en chaînes. De fait, alors que la capacité d'adaptation et d'apprentissage semble être une propriété posant des défis majeurs aux chercheurs en Intelligence Artificielle et en Robotique, la nature même du vivant en fait une capacité inévitable. La question pour la nature n'est pas de savoir comment s'adapter et proposer indéfiniment des formes nouvelles mais plutôt comment ces formes peuvent rester stable. A cela, Darwin⁸ pose d'abord la co-évolution des espèces entre elles qui induit secondairement la prise en compte de contraintes environnementales. Le poisson n'est hydrodynamique que secondairement parce que l'eau offre une grande résistance au mouvement mais premièrement parce que le mouvement est prépondérant pour échapper aux prédateurs. Nous voyons ici que la résistance de l'eau n'apparaît au poisson que dans

⁵ Maurice Merleau-Ponty, *La structure du comportement*, Quadrige/Presses Universitaires de France, 1942.

⁶ Humberto R. Maturana & Francisco J. Varela, *Autopoiesis and cognition: the realization of the living*, Reidel, 1980.

⁷ Ce qui ne peut être garanti que si il y a aussi d'autres boucles dans une organisation cohérente qui définit cette autre identité qu'est l'organisme vivant.

⁸ Charles Darwin, *L'origine des espèces*, La découverte, Paris, 1985.

l'entre deux de l'interaction proie-prédateur. Si il n'y avait pas eu de prédateurs, la notion de résistance au mouvement n'existerait pas et l'être humain pas davantage ainsi que le montre Leroi-Gourhan⁹. C'est ce que Darwin avait très bien compris et que le néo-darwinisme a complètement occulté en faisant appel au hasard de la vie et à la nécessité de l'environnement¹⁰. Le vivant est beaucoup plus solidaire et donc systématique que cela. Je serais tenté de dire que tout est possible mais rien n'est vraiment par hasard dans l'ambiguïté de processus à la fois infiniment créatifs et infiniment contraints.

Vers une genèse de la différence

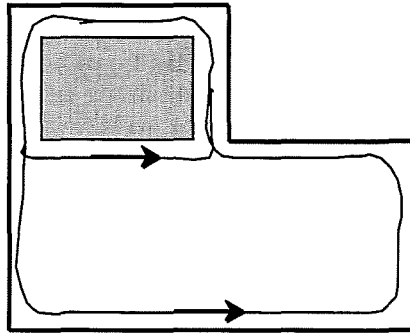


Figure 3

Si notre robot n'avait qu'une seule boucle sensori-motrice, tout serait le même. Y aurait-il sens de parler du même puisque ce même ne serait pas différent de quoi que ce soit d'autre? Vous imaginez bien la réponse. Pour aller plus loin, il faut au moins deux boucles sensori-motrices distinctes. Appelons donc notre boucle précédente D (puisque'elle utilise les capteurs de droite) et imaginons la même boucle avec les capteurs de gauche et appelons la G. Nous avons donc deux boucles et nous supposons d'une part que ces boucles ne sont pas utilisables si les capteurs de droite, respectivement de gauche n'ont pas d'écho assez proche et d'autre part que le robot choisit arbitrairement entre les boucles qui sont utilisables à un moment donné. Placé dans l'environnement de la figure 3, il y décrira les trajectoires mentionnées dans un sens ou dans l'autre selon sa position initiale. La chose intéressante est de regarder comment le robot ``sent'' ce qui se passe pendant qu'il se promène dans son environnement. Pour cela nous allons dessiner un graphe dont les nœuds sont les

⁹ André Leroi-Gourhan, *le geste et la parole*, Albin Michel 1964.

¹⁰ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Éditions du Seuil 1970.

comportements utilisables à un moment donné et les arcs sont étiquetés par la boucle choisie par le robot. Nous obtenons le graphe de la figure 4a. Au premier regard nous constatons que ce graphe est essentiellement constitué lui-même de nombreuses boucles qui ont pour un observateur extérieur une signification bien précise. Les boucles 1 et 2 consistent à suivre un mur (ou autre chose) sur la gauche ou sur la droite respectivement. Les boucles 5 et 6 permettent de suivre un couloir par la droite ou par la gauche, alors que les boucles 3 et 4 représentent les deux grands parcours possibles de l'environnement. Il faut encore ajouter une remarque concernant le temps. En effet, nous avons ici représenté les changements en continu au cours du temps. Il n'y a pas de raison que le robot se rende compte que le temps change. La seule chose qui change pour lui est lorsque l'on passe de GD à D ou à G et inversement. Nous aurions donc plus précisément le graphe de la figure 4b dans laquelle la dynamique ne distingue que deux choses: tourner à l'extérieur d'un contour qui est contenu dans un autre d'une certaine façon ou à l'intérieur d'un contour qui en contient un autre d'une certaine façon.

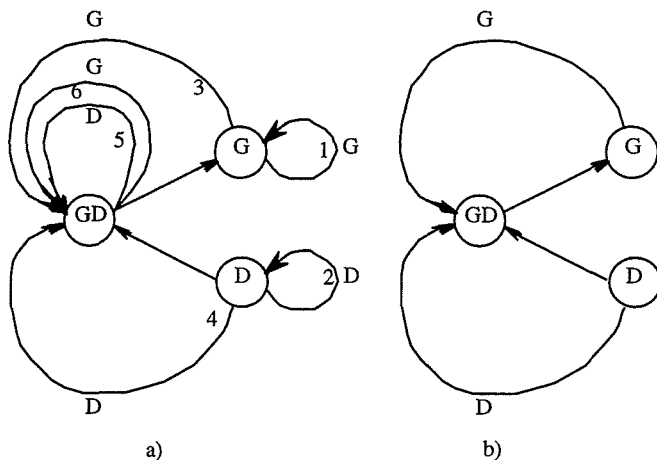


Figure 4

De nouveau cette expérience appelle un certain nombre de réflexions. D'abord, il faut remarquer que ces graphes saisissent non pas un environnement déjà là ou en tout cas comme nous, êtres humains, nous le percevons¹¹, mais uniquement l'histoire

¹¹ Je n'insisterai pas sur les présupposés et les mécanismes par lesquels le dessin de la figure 3 est vu comme un environnement d'un quelconque robot (qui n'y est même pas dessiné) et que nous

de l'interaction telle qu'elle est saisie à travers les boucles sensori-motrices. Les boucles sensori-motrices sont à la fois productrices d'interactions et filtre interprétatif de ces interactions puisque l'histoire que peut se raconter le robot ne dépend que d'elles. Nous nous trouvons dans un compromis constructif entre le réalisme qui met le primat de nos connaissances dans l'environnement et l'idéalisme qui met le primat de celles-ci dans nos concepts¹². On voit bien en effet que cette tentative d'explication ne donne le primat ni à l'un ni à l'autre mais à l'interaction qui forme un monde qui dépend et de l'un et de l'autre.

On peut se poser la question de savoir si ces graphes que nous avons esquissés peuvent constituer des cartes. Avant de répondre à cette question, il faut prendre la précaution de mentionner que ces graphes ne se trouvent pas dans la "tête" du robot mais que c'est un dessin, une représentation, que nous avons fait en tant qu'observateur extérieur de l'exécution qui se déroule dans le robot et à laquelle nous avons accès ce qui n'est pas le cas de ce qui se déroule dans un cerveau. Sur ce dessin obtenu de cette façon, la question est légitime. En effet, lorsque nous demandons notre chemin à quelqu'un, il va nous décrire un chemin pour y parvenir sous la forme d'une séquence d'indices auxquels sont associées des actions, donc des indices fonctionnels, par exemple, d'aller jusqu'au second carrefour, tourner à droite, etc. Nous avons une séquence de processus qui consistent, par exemple, à suivre le trottoir (une magnifique boucle sensori-motrice), tourner dans une autre rue, etc. Si nous faisons un graphe de tous les chemins que nous avons parcouru ainsi dans une ville, nous obtiendrions une carte tout à fait opératoire mais qui aurait la particularité de ne pas correspondre aux cartes habituelles. En effet, il serait impossible de savoir si un lieu de cette carte est proche ou lointain d'un autre et d'en déduire éventuellement un chemin plus court. De plus, nous ne pourrions aller qu'aux endroits où nous sommes déjà allés. Il nous arrive fréquemment de savoir nous rendre à un endroit sans savoir dire où il se trouve sur une carte et ce sentiment est particulièrement flagrant dans une grande ville que l'on nous fait visiter. Rassurez-vous ce sentiment était partagé par nos ancêtres, et ceci jusqu'à la Renaissance, car les cartes d'alors n'étaient que de vagues approximations issues directement d'une mise à plat d'un graphe implicite du même type mais à l'échelle d'un territoire¹³. Donc nous pourrions bien avoir implicitement ce qui peut ressembler à une carte primitive si le robot pouvait se raconter ce qu'il a fait.

sommes supposés percevoir comme si nous y étions. La déconstruction faite en introduction devrait suffire à y faire réfléchir le lecteur.

¹² Concepts a priori dans l'idéalisme Kantien, mais il reconnaît lui-même que cela ouvre néanmoins la question de leur genèse.

¹³ Une magistrale histoire de la cartographie et de la navigation à travers les âges se trouve dans Edwin Hutchins, *Cognition in the wild*, The MIT Press, 1995, Chapitre 2: "Navigation as computation".

Ce n'est pas vraiment le cas parce que son statut de carte ne dépend pas que de la structure qu'elle exhibe mais du contexte interactionnel dans lequel cette structure s'est établie: d'une part, même telle quelle, elle ne cartographie pas vraiment et d'autre part la même structure peut apparaître dans des interactions qui ne permettent pas de l'assimiler à une carte.

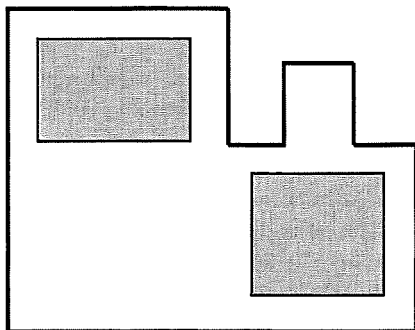


Figure 5

Prenons d'abord le premier argument en faisant la même opération que pour la boucle unique, c'est-à-dire que nous plongeons notre robot dans un autre environnement comme celui de la figure 5. Il est facile de voir que nous obtenons exactement le même graphe. On pourrait dire que ce n'est pas grave que le robot identifie comme le même des choses que nous, observateurs extérieurs, nous voyons comme différents ou même qu'il identifie comme différent des choses que nous considérons les mêmes (nous ne développerons pas ce dernier cas ici). Il suffit dans le premier cas de multiplier les boucles sensori-motrices pour lui donner un univers de distinction qui soit suffisamment riche ou même d'ajouter la mesure du temps. Cela suppose certes que le robot soit capable de mesurer le temps mais nous ne nous engageons pas sur ce chemin même si il y a beaucoup à dire sinon sur le lien entre espace et temps mais surtout entre mesure de l'espace et mesure du temps. Mais le même graphe peut également décrire la dynamique d'un robot se faufilant dans un couloir de métro en suivant alternativement les murs des couloirs et les gens qui marchent dans les dits couloirs. En effet, le nœud GD peut correspondre au robot avançant entre deux personnes et ainsi de suite. Nous nous trouvons alors dans une situation dans laquelle ce graphe ne peut plus lui voir attribuer le statut de carte car il ne correspond plus à quelque chose de statiquement spatial et donc se pose la question de ce qui donne le statut de spatialité à certaines de nos expériences sensibles dûment médiées par les interactions dans lesquelles elles prennent sens. On peut aller plus loin et retrouver des graphes semblables qui ne sont pas liés à la motricité de l'organisme mais, par exemple, dans la vision où la reconnaissance

d'objets semble liée à la dynamique des micro-saccades oculaires¹⁴. Au-delà du même et du différent, nous avons donc à reconstituer une extériorité qui n'est pas

Si ce même graphe avec les mêmes boucles sensori-motrices ne peut pas forcément recevoir le statut de carte, qu'en est-il avec des boucles sensori-motrices qui ne sont pas liées au même type de motricité.

Nous prendrons comme exemple la vision. Malgré le fait que nous voyons une image parfaitement nette avec une impression de vision instantanée et globale de notre champs visuel, les mécanismes de la vision animale ou humaine sont bien différents de ceux de la caméra. En effet, on ne "voit" net que dans la zone appelée fovéa immédiatement en face de la visée de l'œil. Pour voir un objet, nous devons sans arrêt changer l'orientation de l'œil par ce que l'on appelle des micro-saccades oculaires. Il faut noter qu'en fait nous suivons les contours des objets et sautons d'une caractéristique à l'autre d'un objet ou d'un visage en permanence¹⁵. Nous avons donc des asservissements moteurs sur des caractéristiques visuelles locales précises (des boucles sensori-motrices) que nous coordonnons pour être capable de suivre les contours. Nous retrouvons si nous représentons la dynamique oculaire le même type de graphe. Un objet est identifié si nous sommes capables à partir de n'importe quelle caractéristique de l'objet d'y retourner après avoir promené son regard sur d'autres caractéristiques du même objet donc si nous avons des boucles dans le graphe. Deux objets seront considérés comme les mêmes si leur reconnaissance visuelle met en œuvre ce qui peut être représenté par les mêmes graphes. Piaget ne dit pas autre chose avec ses schèmes en associant l'apparition des concepts ou catégories à des schèmes de coordination de schèmes qui ressemblent beaucoup aux boucles sensori-motrices lorsqu'il décrit les réactions circulaires chez le bébé¹⁶.

Construction d'une extériorité

Faisons le point. Nous en sommes à la genèse dans l'interaction, dans l'entre-deux d'un organisme et de son environnement de formes stables, d'invariants dépendant à la fois de l'un et de l'autre et donc spécifiques à l'un et à l'autre. Nous avons vu que ces formes stables peuvent correspondre à l'amorce, implicitement présente dans la dynamique du déroulement comportemental, de quelque chose qui peut ressembler à une interprétation spatiale mais pas seulement spatiale. Mais cette représentation n'est accessible qu'à un observateur extérieur capable de suivre le

¹⁴ Deux objets seront considérés comme les mêmes si leur reconnaissance visuelle met en œuvre ce qui peut être représenté par les mêmes graphes des dynamiques de reconnaissance.

¹⁵ Les trajectoires effectives dépendent de notre mécanisme attentionnel et réciproquement puisque le suivi spontané de certaines caractéristiques marquantes peuvent en retour appelé l'attention.

¹⁶ Jean Piaget, La naissance de l'intelligence chez l'enfant, Delachaux et Niestlé, 1977 (1ère édition 1936).

déroulement de la dynamique interne de l'organisme en question. Pire, ce n'est que l'observateur extérieur qui peut mettre en correspondance ce qu'il peut lui seul voir, avec un environnement extérieur qui dépend totalement de la façon dont lui-même perçoit le monde à travers sa motricité et son passé spécifiques. Pour le robot, il y a structures et invariants mais il n'y a aucune extériorité, il n'y a aucune reconnaissance que ces invariants sont des structures d'un monde qui serait au-delà de lui. D'ailleurs, c'est quoi "lui" puisqu'il ne sait pas ce qu'est l'autre? Nous voyons poindre la direction du dégagement de l'espace et de son extériorité. D'une part, il ne peut pas y avoir d'extériorité sans l'autre et d'autre part l'extériorité dont nous sommes si familier se présente elle-même comme une construction. Evitant le réalisme, l'espace ne peut plus s'imposer à nous comme allant de soi. Puisque nous l'avons déconstruit, tout est à reconstruire.

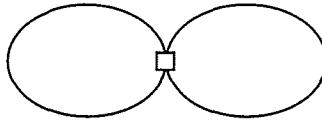


Figure 6

Jusqu'à présent, nous avons considéré certes des populations de boucles sensori-motrices mais dont l'activation se succédait dans le temps, engendrant ainsi la différence. Nous n'avons pas considéré que ces boucles sensori-motrices puissent interagir entre elles, c'est-à-dire que ce qui se produit dans son déroulement interne ou dans son interaction avec l'environnement soit exploité par d'autres boucles et réciproquement. Tout au plus avons nous signalé que les boucles de réactions chimiques dans un organisme ne pouvaient être stables que dans la mesure où d'autres boucles fournissaient les bonnes substances au bon moment. Il s'agit donc d'une véritable synchronisation temporelle et spatiale. A un niveau supérieur, il s'agirait de l'interaction entre deux organismes. Un exemple est la réaction circulaire dans laquelle l'audition d'un cri par un bébé provoque à son tour un cri ce qui fait d'une part entretenir les pleurs d'un bébé et d'autre part propager le phénomène d'un enfant à l'autre ainsi que l'on peut l'observer dans une maternité. Cette synchronisation peut être schématisée par la figure 6 dans laquelle on voit apparaître un nouvel entre-deux¹⁷. Alors que la boucle fait apparaître une identité non partageable avec un autre individu (de la même façon que je ne peux pas savoir comment quelqu'un perçoit une couleur donnée), la synchronisation entre boucles fait

¹⁷ Cet entre-deux ainsi que le rôle de l'évolution darwinienne est particulièrement bien argumentée dans: Luc-Laurent Salvador, Pour un interactionisme conséquent: de Piaget à Darwin et retour, Intellectica, 1993, vol. 1, pp. 101-131.

apparaître un même partagé (comme le fait de savoir que l'on regarde la même couleur).

Maturana et Varela le décrivent ainsi:

``Comme dans le cas des interactions cellulaires chez les méta-cellulaires, il est évident que du point de vue de la dynamique interne d'un organisme, tout autre organisme représente une source de perturbations qu'il ne peut distinguer de celles qui proviennent d'un environnement ``non-biotique". Il est cependant possible que ces interactions prennent un caractère récurrent au cours de l'ontogenèse. Dans la dérive structurale consécutive, ceci aboutit à une co-ontogenèse, avec intrication réciproque pendant leur couplage structurel mutuel, chacun conservant son adaptation et son organisation. Quand ceci a lieu, les organismes co-dérivant donnent naissance à un nouveau domaine phénoménologique, qui peut devenir particulièrement complexe en présence d'un système nerveux¹⁸."

C'est ce que Maturana et Varela appellent les couplages de troisième ordre¹⁹. Ils sont fondateurs d'un monde commun partagé par les organismes couplés entre eux (que ce soit de la même espèce ou d'espèces différentes constituant ainsi ce que l'on appelle une biocénose). Nous voyons donc deux types de couplages: celui de l'individu avec l'environnement établissant le même et le différent pour l'individu et celui entre individus réalisant le même et le différent partagé. Ce monde partagé n'a rien d'objectif puisqu'il naît dans l'interaction des individus mais il n'a rien d'arbitraire puisque ces individus enracinent leur monde ``privé" dans leurs interactions avec l'environnement ainsi que nous l'avons vu. Ce monde partagé est le fondement, la condition de possibilité d'une extériorité puisqu'il n'appartient ni à l'un, ni à l'autre mais à l'entre deux de leurs échanges. De la même façon que la constitution du même et du différent donc la constitution d'un monde, est inévitable dans le vivant, la constitution d'un monde partagé est inévitable et ceci dès les premières formes du vivant. C'est pour cela que le monde vivant malgré son potentiel créatif infini n'est pas arbitraire car les contraintes réciproques appliquées dès les origines ne peuvent pas le rendre à la fois arbitraire et viable. Notre monde aurait pu être autre, mais il ne pouvait être que profondément cohérent. Einstein disait: ``Ce qui m'est le plus inintelligible, c'est que le monde soit intelligible". Dans une perspective réaliste d'un monde déjà là, on peut comprendre son sentiment. Mais dans un monde constitué par

¹⁸ Humberto R.Maturana & Francisco J. Varela, L'arbre de la connaissance, Addison-Wesley, 1994, p.174.

¹⁹ Le couplage de premier ordre est celui de la cellule et de son environnement, le couplage de deuxième ordre étant le couplage intercellulaire. Humberto R.Maturana & Francisco J. Varela, L'arbre de la connaissance, Addison-Wesley, 1994, p.174.

les organismes eux-mêmes, je pense avoir fait sentir pourquoi le monde ne peut être qu'intelligible.

Conclusion

Dans l'introduction nous avons suggéré une genèse de l'espace tel qu'il apparaît à notre conscience en deux temps, celui de sa constitution par le seul fait d'être au monde et celui de son appropriation par la conscience. De fait, nous n'avons parcouru que le premier temps. En effet, c'est nous, en tant qu'observateur extérieur et à travers la médiation d'un robot dont nous avons pu observer et nous représenter le déroulement comportemental, qui avons désigné des phénomènes dont on peut penser qu'ils sont la constitution d'un monde individuel ou partagé et les conditions de possibilité d'une extériorité déjà cartographiable par la structure même des dynamiques internes. Mais il ne s'agit de rien d'autre que des conditions de possibilité pour un robot ou un animal pour qu'il aie quelque chose à saisir et à s'approprier. Maturana et Varela²⁰ suggèrent que cette appropriation elle-même et avec elle la naissance de la conscience se fait à travers le langage. Le langage est défini par eux comme les interactions de troisième ordre permettant de modifier ces interactions elles-mêmes (et les autres par voie de conséquence). Le langage serait donc un ensemble de comportements particuliers, donc rien d'autres que des comportements, dont les graphes que nous avons introduits pourraient ressembler à des grammaires mais spécifiques en cela qu'ils modifient les comportements eux-mêmes. Si c'est le cas, ce que de nombreuses études anthropologiques et philosophiques récentes semblent confirmer mais que l'expérimentation en robotique ne permet pas encore de valider expérimentalement, nous obtenons un certain nombre de conséquences intéressantes. Nous en citerons deux, à savoir la construction de la référence et l'impact sur la dynamique de constitution de notre monde.

En ce qui concerne la référence, c'est-à-dire l'impression quand nous parlons que nous parlons de quelque chose (parfois !), elle se trouve naturellement dans ce que le comportement linguistique a de spécifique. En effet, les interactions comportementales spécifient implicitement un monde partagé par les organismes en interactions. Les interactions langagières en agissant sur les interactions comportementales elles-mêmes, y compris langagières (sinon aucun dialogue ne serait possible) sont donc implicitement à propos de ces interactions elles-mêmes et donc du monde qu'elles constituent. La modulation du langage par le langage permet d'identifier le même et le différent de la relation entre le langage et le monde ainsi constitué et donc fait émerger l'illusion référentielle, c'est-à-dire l'impression de parler de quelque chose. Rassurons-nous, c'est d'ailleurs plus qu'une impression sauf

²⁰ Op. Cité, chap. 9 "Domaines linguistiques et conscience humaine".

que nous parlons de quelque chose par le seul fait que nous en parlons. Nous y trouvons donc tous les potentiels de cette réflexivité²¹ caractéristique de la conscience.

Nous voyons également que le langage, ainsi que la manipulation de signes en général, qu'ils soient graphiques au sens large, linguistiques ou chorégraphiques, introduit une dimension nouvelle. Jusqu'à l'apparition du langage, la constitution des mondes individuels et partagés se faisait spontanément au fil de l'évolution du vivant donc phylogénétiquement. La communication agissant sur les comportements mêmes produit la possibilité d'une évolution dans la vie d'un individu par l'interaction avec les autres individus et la possibilité d'une culture socialement transmise²² donc sociogénétiquement. Le langage en agissant sur le langage lui-même permet de modifier notre relation au monde notamment par notre discours sur nos multiples modalités d'être au monde que constitue la technologie et donc d'évoluer ontogénétiquement²³. Nous nous trouvons donc dans une situation où essayant de comprendre ce monde déjà là, nous le modifions et le complexifions sans cesse puisque nous avons vu que ce monde se constitue dans nos interactions. L'essor technologique actuel apparaît dès lors d'une part comme inévitable²⁴ et d'autre part comme ouvrant un potentiel infini de création de mondes nouveaux mais dont nous ne pourrions prendre conscience qu'à posteriori. Si ce foisonnement technologique est effectivement la réplique humaine du foisonnement du vivant, il ne pourra mener qu'à un monde cohérent dans la mesure où il sera viable.

Cet article n'a pas d'autre ambition que d'ouvrir le débat sur la question de savoir si cette "interprétation" interactionniste de l'interprétation, ici principalement de l'interprétation spatiale, saisit ou non le phénomène de l'interprétation comme filtre de nos perceptions.

²¹ Propriété d'être à propos de soi-même, alors que la référentialité ou plus exactement l'intentionnalité au sens philosophique du terme est la propriété d'être à propos de quelque chose d'autre. Nous voyons ici que ces propriétés sont concomitantes.

²² Contrairement à ce que l'on veut croire dans notre recherche acharnée d'une identité humaine, il existe une véritable culture animale dans les groupes socialisés comme les loups et les singes. (D. Lestel, L'innovation cognitive dans des communautés de partage de sens d'intérêts et d'affects, in *Intellectica*, Paris, 1998).

²³ Dans cette perspective et en dépit de l'égocentrisme occidental, l'individualité n'est pas première mais dernière dans l'évolution du vivant.

²⁴ Il semble être apparu dès le discours sur la technologie de taille des silex il y a environ 15 mille ans, avec un brutal foisonnement des formes et des techniques alors que le silex n'avait pas changé pendant les 2,5 millions d'années précédentes (André Leroi-Gourhan, Op. Cité).

CONTINUITY IN MATHEMATICS: CONCEPTUAL CONFLICTS AND CONTEMPORARY COGNITIVE SCIENCE

Rafael E. Núñez

Institute of Cognitive Studies
University of California at Berkeley

Département d'Informatique et Réseaux
E.N.S.T. Paris

Abstract

The modern notion of continuity in mathematics is often described as counter-intuitive, difficult to teach, and as generating conceptual conflicts. In this paper, using arguments from contemporary cognitive science, I argue that in mathematics there are at least two radically different concepts called "continuity" which are not always consistent, and are at the origin of deep cognitive conflicts. One of these concepts is *natural continuity*, as it was characterized in the 17th century by those who gave birth to calculus. The other one is *Cauchy-Weierstrass continuity* which was introduced in the 19th century. Today the latter is seen as being *the rigorous* definition of what continuity *really is*. I claim that this view is flatly wrong and profoundly misleading: Cauchy-Weierstrass continuity does not capture the essence of continuity, it is simply a different concept build upon very different cognitive mechanisms. Using techniques of modern cognitive linguistics I briefly examine the conceptual structure of the two concepts of continuity in mathematics, and analyze the nature of the conceptual conflict.

Résumé

La notion moderne de continuité en mathématiques est souvent décrite comme étant contreintuitive, difficile à enseigner, et à l'origine de conflits conceptuels. Sur la base d'arguments issus des sciences cognitives contemporaines, je défends dans ce papier l'idée qu'en mathématiques il existe deux concepts radicalement différents dénotés par "continuité" lesquels ne sont pas toujours cognitivement compatibles se trouvant ainsi à la base de conflits cognitifs profonds. Un de ces concepts est celui de la *continuité naturelle*, telle qu'elle a été caractérisée dans le 17e siècle par ceux qui ont inventé le calcul infinitésimal. L'autre concept est celui de la *continuité au sens de Cauchy-Weierstrass* qui fut introduit aux 19e siècle. Aujourd'hui ce dernier concept est conçu comme étant la définition *rigoureuse* de ce qu'est *réellement* la continuité. Cette supposition est

fausse et profondément trompeuse. La définition de Cauchy-Weierstrass ne capture pas l'essence de la continuité. Il s'agit tout simplement d'un autre concept construit sur des mécanismes cognitifs très différents. En utilisant des techniques de la linguistique cognitive moderne j'examine brièvement la structure conceptuelle des deux concepts de continuité en mathématiques, et j'analyse la nature du conflit conceptuel.

Introduction

A serious study of the nature of mathematical concepts is widely assumed to be a purely philosophical enterprise (or historical, at best). Fortunately, this narrow view, which has deeply limited our understanding of the nature of mathematics, is now gradually changing. Some scholars have understood that cognitive science -the empirical study of the mind- has a lot to say about the nature of mathematical concepts. In particular, cognitive science can provide rich tools of analysis regarding the nature of the conflicts underlying counterintuitive concepts in mathematics. One of these concepts is the modern idea of continuity in mathematics. In fact, it is widely accepted that teaching and learning the concept of "continuity" of a function, so important for calculus, is a difficult task (Keisler, 1976; Tall & Vinner, 1981; Robert, 1982; Núñez, 1993; Kitcher, 1997). But the question then is, Why should continuity be something hard to understand? Is continuity *per se* a difficult concept? What are the conflicts that generate the difficulties? I claim that these are not mathematical questions, nor are they purely philosophical. They belong to the realm of the empirical study of the human mind.

In this paper I would like to illustrate how contemporary alternative approaches in cognitive science offer fruitful answers to these questions. In particular, I will be building on *embodied cognition* as it has been framed in the work of various scholars in different fields (Maturana & Varela, 1987; Varela, Thompson, & Rosch, 1991; Lakoff, 1987; Johnson, 1987; Lakoff & Johnson, 1998; Edelman, 1992; Núñez, 1995, 1997; Thelen & Smith, 1994). The cognitive science of mathematics (within the frame of embodied cognition) is the study of mathematical ideas, from the perspective of research on our largely unconscious everyday conceptual systems as they are embodied in the human brain. A major result of this approach is that most everyday abstract ideas are metaphorical in nature, that is, they involve inference-preserving mappings from one conceptual domain to another (Lakoff & Johnson, 1980, 1998; Lakoff, 1993). Recently, Lakoff & Núñez have found that many mathematical ideas are metaphorical in this respect, as when we conceptualize numbers

metaphorically as points on a line, or when we conceptualize lines metaphorically as sets of points (Lakoff & Núñez, 1997; Núñez & Lakoff, in press; Lakoff & Núñez, forthcoming). The concept of continuity of a function is metaphorical as well, that is, it is conceptually realized through precise cross-domain inference-preserving mappings. More specifically, I will argue, in modern mathematics there are at least two radically different concepts of continuity of functions which are both metaphorical in nature. One concept is *natural continuity*, as it was characterized in the 17th century by those who gave birth to calculus. The other one is *Cauchy-Weierstrass continuity* which appeared in the 19th century, and which is the one taken to be *the rigorous* definition of what continuity really is. In this paper I will argue that these two concepts are realized through radically different conceptual (metaphorical) mappings, which provide conflicting entailments. These conflicts lay at the core of the reported cognitive and learning difficulties.

The two definitions of continuity

Let us start taking a look at what textbooks say about continuity of a function. The following is a citation, taken from a typical textbook, which introduces the concept of "continuity":

In everyday speech, a "continuous" process is one that proceeds without gaps or interruptions or sudden changes. Roughly speaking, a function $y = f(x)$ is continuous if it displays similar behavior, that is, if a small change in x produces a small change in the corresponding value $f(x)$... Up to this stage, our remarks about continuity have been rather loose and intuitive, and intended more to explain than to define (Simmons, 1985, pp. 58).

In the same text, pages further, one finds what is called the "rigorous", "formal," and definitive definition of continuity of a function:

A function f is continuous at a number a if the following three conditions are satisfied:

1. f is defined on an open interval containing a ,
2. $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ exists, and
3. $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = f(a)$.

Where $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ (the limit of the function f at a) is defined as:

Let a function f be defined on an open interval containing a , except possibly at a itself, and let L be a real number. The statement

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$

means that for every $\varepsilon > 0$, there exists a $\delta > 0$, such that if $0 < |x - a| < \delta$, then $|f(x) - L| < \varepsilon$.

This definition of continuity of a function –also called Cauchy-Weierstrass definition– is said to be, and taught as, the definition that *really* captures the *essence* of what continuity *is*. It is considered, and taught as, superior and more precise than the so-called "intuitive" and "informal" one. Moreover, paraphrasing the textbook cited above, this definition intends more to "define" than to "explain". This is the standard story. Now, let us step back, and carefully analyze the conceptual structure of the ideas involved in the two definitions, and study why they are in conflict.

The informal/intuitive definition that characterizes, as our earlier quote says, "a 'continuous' process as one that proceeds without gaps or interruptions or sudden changes," was the one used by outstanding and creative mathematicians such as Newton and Leibniz in the 17th century. It is the idea that was characterized by eminent mathematicians such as Euler and Fourier as "a curve described by freely leading the hand". This characterization involves cognitive contents such as motion, flows, processes, change in time, and wholeness. These cognitive contents are the result of natural conceptual extensions from bodily grounded image-schemata and conceptual mappings that are natural to the human conceptual system. They are built, among others, on source-path-goal schemata, fictive motion metaphors, and basic conceptual blends (for details see Lakoff & Núñez, 1997; Núñez & Lakoff, in press; Lakoff & Núñez, forthcoming). It is precisely because of this that the textbook previously mentioned is perfectly right by referring to this idea as occurring in "everyday" speech. What Euler, Newton, Leibniz, and Fourier did (most likely unconsciously) was simply to apply the inferential structure of everyday understanding of motion, flow, and wholeness, to a specific domain of human understanding: functions and variations. For the purposes of this paper, we will call this concept *natural continuity*.

The Cauchy-Weierstrass' definition on the other hand, is realized through radically different cognitive mechanisms. *Cauchy-Weierstrass continuity* implicitly denies motion, flow and wholeness, dealing exclusively with static, discrete, and atomistic entities. These entities are realized through conceptual extensions of rather different cognitive primitives, such as part-whole schemata, container schemata, and a combination of different conceptual mappings.

For the purpose of this short article, the problem can be summarized as follows: Students are introduced to *natural continuity* using concepts, ideas, and examples consistent with the inferential patterns sustained by the natural human conceptual system. Then, they are introduced to *another* idea that has a radically different inferential structure which provide entailments that conflict with those from the previous idea. The mathematical culture and practice then makes this conflict even worse: Students are never told that the new definition is actually a completely different human embodied idea, and what is worse, they are told that *Cauchy-Weierstrass continuity* does capture the very essence of the old idea which by virtue of being "intuitive" and "vague", is to be avoided. This essence is usually understood as independent of human understanding, social activity, and philosophical enterprises.

Unveiling the conflict

Let us analyze, from the perspective of an embodied cognition why these two concepts of continuity –natural and Cauchy-Weierstrass– are cognitively so different. Although it is not the scope of this article to show a complete cognitive analysis of these two concepts (for a complete analysis, see Lakoff & Núñez, 1997; Lakoff & Núñez, forthcoming), I will focus here on some relevant aspects which will help us to understand the nature of the conceptual conflict. In particular I will center on the fact that the term "continuity", as used in discussion of mathematics, it is semantically linked to three distinct ideas. One of them is *natural continuity* itself (as in the "informal", "intuitive" definition) and the other two are implicitly combined in the concept of *Cauchy-Weierstrass continuity*: These ideas are *Gaplessness* (for lines as sets of points) and *Preservation of Closeness* (for functions).

i) *Natural continuity*. This idea has several essential features:

- a) the continuous function is formed by motion, which takes place over time.
- b) there is a directionality in the function.
- c) the continuity arises from the motion.
- d) since there is motion, there is some entity moving, (in Euler's version, the hand).
- e) the motion results in a static line with no "jumps."
- f) the static line that results has no directionality.

These features show that motion is a very important content of the idea of natural continuity. We take for granted, however, how, cognitively, we are able to conceive mathematical functions as having motion and

directionality, as when we say *sin x oscillates* or *g(x) grows faster than f(x)*. But from where do motion, and directionality come? The answer is not in mathematical axioms or proofs. The answer is provided by cognitive science. We can conceive the mobile and static aspects of the continuous curve via the activation of an everyday human cognitive process: the fictive motion conceptual metaphor (Talmy, 1996), which can be summarized as:

- A Line IS The Motion of a Traveler tracing that line.

Examples of this mapping are abundant in everyday language. For instance, when talking about the subway in Paris we may say:

- Line 5 *goes through* Bastille et République.
- Just after Corvisart, line 6 *reaches* Place d'Italie.
- Right after *crossing* the Seine, line 4 *comes to* Chatelet.
- Line 7bis *traverses* the Parc des Buttes Chaumont
- RER C *goes along* the Seine.
- Line 9 *stops at* Pont de Sèvres.
- What is the line that *goes all the way down* to Créteil-Université?
- Unlike Tokyo, in Paris there is no line that *goes around* the city.

In these cases a métro line, which as such is a static object, is conceptualized in terms of a traveler moving along the route of the line. Thanks to this cognitive mechanism, in mathematics we can speak of a function as *moving, growing, oscillating, approaching values, and reaching* limits. It is worth noticing that this way of speaking is not limited to students but includes professional mathematicians as well. Formally speaking, the function does not move, it is nothing more than a static and fixed mapping between sets of values. But cognitively speaking, which is what matter when one deals with understanding, learning, and the nature of concepts, under the fictive motion conceptual metaphor, the function does move.

These embodied natural and everyday human cognitive mechanisms are the ones that make possible the intuitive dynamic and static conceptualizations of a continuous function. As in the case of Euler's "intuitive" characterization, the continuity is characterized by a precise cognitive mechanism: motion in the Fictive Motion version of the inference-preserving cross-domain mapping. The idea that human intuition is vague and unstable is a myth. Using this methodology we can give a precise cognitive account of Euler's intuitive notion of continuity for a function in terms of stable elements of ordinary embodied human cognition, showing how mathematical ideas are constituted out of ordinary bodily grounded ideas.

ii) *Cauchy-Weierstrass continuity*. This definition is motivated by complex mathematical objects that mathematicians faced in the 19th century. It emerges from three important intellectual movements of that time: the arithmetization of analysis; the set-theoretical foundations movement; and the philosophy of formalism. Although these movements were separate in their goals, they were complementary in their effects on the development of mathematics. All of them required conceptualizing lines, planes, and n -dimensional spaces as *sets of points*.

This definition requires a series of cognitive primitives, also embodied in nature, but different from the ones we saw for the case of natural continuity. Among others, there are at least three conceptual metaphors that are relevant that combine their inferential structure in a systemic way to give an extremely powerful mathematical tool (again, for a complete description, see Lakoff & Núñez, 1997; Lakoff & Núñez, forthcoming). These metaphors are:

- A Line IS a Set of Points
- Natural Continuity IS Gaplessness
- Approaching a Limit IS Preservation of Closeness Near a Point

Let us analyze them one by one.

•*A Line IS a Set Of Points*

In general terms, there are two importantly different ways of conceptualizing a line (either a curved or straight line):

1) a holistic line: a line which is not made up of discrete elements. Under this conceptualization a line is absolutely continuous and points are locations *on* the line. In this sense, a line is an entity distinct from the points, that is, locations on that line, just as the métro line is a distinct entity from the locations on that métro line. Lines, from the perspective of our everyday geometric intuition, are natural continua.

2) a composite line: a line which is conceptualized as a an aggregate of entities. This form of conceptualization is the one that provides inferential structure to the conceptual metaphor *A Line IS a Set of Points*. According to this conceptual mapping, the points are not locations *on* the line, but they are entities *constituting* the line. An important entailment of this conceptual metaphor is that, if one point (constituting the line) is missing, then the line has a gap what results in two disconnected lines.

The first characterization, the holistic line, is the one that is congruent with natural continuity and the second one, the composite line, the one congruent with Cauchy-Weierstrass' definition. The distinction between these two ways of conceptualizing lines (and planes and n -

dimensional spaces) has been crucial throughout the history of modern mathematics, and the failure to distinguish between them has led to considerable confusion. Both conceptions are natural, in that both arise from our everyday conceptual system. Neither is "right" or "wrong" *per se*; however, they have very different cognitive properties, and provide different inferential structures. Unfortunately, the culture of mathematics, blinded by formal definitions, axioms and proofs, ignores these important cognitive phenomena.

•*Natural Continuity IS Gaplessness*

According to our everyday intuition, a line constitutes a *natural continuum*. It is not conceptualized as made up of points; rather points are conceptualized as *locations* on the line. The line itself is an entity distinct from the point-locations on it. We understand lines, that is, natural continua, without any jumps or gaps, as being continuous. As we move along a line, we go through point-locations. When we move continuously along a line from a location *A* to a location *B*, we go through all point-locations on the line between *A* and *B*, without skipping over any, that is, without leaving any gaps between the point-locations. In this case we will say that the collection of point-locations between *A* and *B* is *gapless* when the line segment *AB* is naturally continuous. The crucial point here is that this conceptual metaphor characterizes the point-locations on a line (a natural continuum), as constituting the line itself. Such a metaphorical "line" is *not* a natural continuum, but only a set of points: a static aggregate of discrete entities. Given a naturally continuous line segment *AB*, the aggregate of point-locations on that line will be *gapless*. Similarly, when a naturally continuous line segment is conceptualized as a set of points, that set of points will be *gapless*. An entailment of this conceptualization is an important conceptual metaphor:

•Natural Continuity IS Gaplessness.

Therefore, a line conceptualized as a set of points cannot be –cognitively– *naturally continuous* but only *gapless*. However, thanks to this precise inference-preserving cross-domain mapping, we can (unconsciously) conceive a gapless aggregate as natural continuum.

•*Approaching a Limit IS Preservation of Closeness Near a Point*

Cauchy-Weierstrass continuity depends on the definition of limits. This definition does not refer to any motion, time, or "approach." Instead, it refers to static elements (such as existential quantifiers). This definition has no holistic lines and no holistic surfaces in the metaphorical ontology for the Cartesian plane. The plane itself is made up of a set of pairs of real

numbers. Besides, the definition calls for a *gapless* "open interval" of real numbers. The taken-for-granted gaplessness of the set of real numbers in the open interval in the definition is in fact Cauchy-Weierstrass' metaphorical version replacing the natural continuity of the intuitive line in Newton's geometric idea of a limit.

In order to arithmetize the definition avoiding motion, Cauchy-Weierstrass definition of limit, replaces the idea of "the function f approaching a limit L as x approaches a " by a different idea: *preservation of closeness near a real number*. Technically, this idea is crystalized in " $f(x)$ is arbitrarily close to L when x is sufficiently close to a ". The epsilon-delta condition expresses this precisely in formal logic. What the Cauchy-Weierstrass approach accomplishes is to provide a new metaphor:

- Approaching A Limit IS Preservation Of Closeness Near A Point.

But because Cauchy-Weierstrass continuity lacks essential components of the inferential structure that is present in natural continuity (e.g., motion, holistic properties, and so on), the definition cannot mean –cognitively– the natural continuity assumed by Newton for ordinary lines (natural continua). Again, Cauchy-Weierstrass must use conceptual mappings (metaphors) that allow them to reconceptualize geometry (holistic lines) using arithmetic (discrete numbers). Just as they needed a new conceptual metaphor for approaching a limit, they needed a new metaphor for continuity of a function.

In order to build up this new metaphor they proceeded in two steps: first they characterized continuity *at* a single arbitrary real number and then throughout a (gapless) interval. Their new metaphor for continuity uses the same basic idea as their metaphor for a limit: *preservation of closeness*. Continuity at a real number is conceptualized as preservation of closeness not just near a real number but also *at* it. Continuity of a function throughout an interval is thus preservation of closeness near and at every real number in the interval.

Conclusion: Conflicts and the origin of major confusions

Cauchy-Weierstrass continuity, like most mathematical concepts is metaphorical in nature. In everyday thought, (natural) continuity is understood in terms of a trajectory of motion, as it was in mathematics until the late 19th Century. From a cognitive perspective, what mathematicians such as Cauchy, Weierstrass and Dedekind really did was to introduce new conceptual metaphors for natural continuity. That is, they conceptualized continuity for lines and for functions in terms of two new and radically different concepts: *gaplessness* for lines and *preservation of*

closeness for functions. Unfortunately, the mathematical community has not seen the nature of these implicit underlying conceptual mappings, and what is worse, it has incorrectly seen Weierstrass as having done something different: defining the essence of the concept of continuity. This mistake generated profound theoretical and epistemological conflicts: It has confused generations of mathematics students and has led to a misleading, counterintuitive, and cognitively untenable view of what continuity is.

For decades textbooks and curricula have lead students (and nearly everybody in the mathematical community) to believe that it is the epsilon-delta portion of Cauchy-Weierstrass definitions that constitutes the rigor of the arithmetization of analysis. Moreover, they have led generation after generation of students to believe that it is this aspect that helps to capture the essence of what "continuity" *is*. As we saw, not only is this not true, but also, the epsilon-delta aspect of the definition actually plays a far more limited role. The epsilon-delta aspect accomplishes only a precise characterization of the notion "correspondingly." But this notion can be included in a dynamic definition of a limit as well, where the values of $f(x)$ get "correspondingly" closer to L as x gets closer to a .

An interesting element in the Cauchy-Weierstrass definition is the role played by the idea of "gaplessness". Cauchy-Weierstrass formulate the "definition of continuity" with the explicit condition that the function is defined over an open interval. It assumes this open interval to be gapless. Since gaplessness was the form of metaphorically conceptualizing continuity of the real line, this modern definition assumes an aggregate with no gaps. In other words, it assumes a gapless, therefore "continuous", input to the function. In fact; what this definition really shows is that (1) when the conceptual metaphors hold, especially when lines are metaphorically conceptualized as sets of real numbers, and (2) when the input of the function is gapless, and (3) when the function preserves closeness, then (4) the output is also gapless.

But in order to fully understand the conflict that the two characterizations of continuity generate, we need more. Why has it been widely accepted that Cauchy-Weierstrass' definition of preservation of closeness was instead a "definition of continuity"? The answer is that it has been assumed, falsely, that Cauchy-Weierstrass' metaphors capture the essence of continuity because it effectively deals, for the purposes of the arithmetization program, with both, prototypical *and* pathological cases. Given the metaphor that a line is a set of real numbers, then natural continuity can only be conceptualized metaphorically as gaplessness. Since Cauchy-Weierstrass' open interval condition guaranteed that the inputs to the function are always gapless, it is no surprise that preservation of closeness for a function with a gapless input guarantees a gapless

output. If the input is metaphorically continuous (that is, gapless), then the output is going to be metaphorically continuous (gapless). Since the metaphors are not noticed as being metaphorical or controversial in any way (they are mostly realized through unconscious processes), and since the open interval condition hid the continuity (gaplessness) required in the input, Cauchy-Weierstrass' definition appeared even to the originators to be a definition of continuity, when in fact, all it did was guarantee that a gapless input for a function gives a gapless output.

In sum, cognitively speaking, the two definitions of continuity analyzed here are simply radically different. Per se, neither of them is better than or superior to the other. Although it is true that the so-called "rigorous" definition deals better with complex and "pathological" cases for certain purposes (such as $f(x) = x \sin 1/x$), it is not because it captures better the "essence of continuity". It does it simply because it is built on a different collection of bodily grounded conceptual mappings that happen to deal well with both, the prototypical cases of functions mathematicians prior to the 19th century dealt with (e.g., $f(x) = \sin x$; or $f(x) = 1/x$), as well as with the so-called pathological cases (hence its utility and efficacy!) But this, does not have anything to do with cognitive, pedagogical, or philosophical superiority. Much of the conflict generated by this confusion would be avoided if mathematics was referred to and taught in terms of *ideas* (making clear what is the underlying inferential structure of the different human conceptual systems) rather than focussing only on dogmatic axioms, proofs, and mechanic drill. The conflicts that the concept of continuity has generated in the last century give us a deep insight into how the human mind works.

REFERENCES

- Edelman, G. (1992). *Bright Air, Brilliant Fire*. New York: Basic Books.
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Keisler, H.J. (1976). *Elementary Calculus*. Boston, MA: Prindle, Weber, & Schmidt.
- Kitcher, P. (1997, April). Personal Communication. University of California at San Diego.
- Lakoff, G. (1987) *Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1993) The contemporary theory of metaphor. In A. Ortony (Ed) *Metaphor and Thought* (pp. 202-251), Cambridge, England: Cambridge University Press.

- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980) *Metaphors We Live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1998). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Books.
- Lakoff, G. & Núñez, R. (1997). The metaphorical structure of mathematics: sketching out cognitive foundations for a mind-based mathematics. In L. English (Ed.) *Mathematical Reasoning: Analogies, Metaphors, and Images* (pp. 21-89). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lakoff, G. & Núñez, R. (forthcoming). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Creates Mathematics*.
- Maturana, H. & Varela, F. (1987). *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*. Boston: New Science Library.
- Núñez, R. (1993). *En deçà du transfini: Aspects psychocognitifs sous-jacents au concept d'infini en mathématiques*. Fribourg: Editions Universitaires Fribourg Suisse.
- Núñez, R. (1995). What brain for god's-eye? Biological naturalism, ontological objectivism, and Searle. *Journal of Consciousness Studies*, 2(2), 149-166.
- Núñez, R. (1997). Eating soup with chopsticks: Dogmas, difficulties, and alternatives in the study of conscious experience. *Journal of Consciousness Studies*, 4(2), 143-166.
- Núñez, R. & Lakoff, G. (in press). What Did Weierstrass Really Define? The Cognitive Structure of Natural and ϵ - δ Continuity. *Mathematical Cognition*.
- Robert, A. (1982). L'acquisition de la notion de convergence de suites numériques dans l'enseignement supérieur. *Recherches en didactique des mathématiques*, 3, 307-341.
- Simmons, G.F. (1985). *Calculus with Analytic Geometry*. New York: McGraw-Hill.
- Tall, D.O. & Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12, 151-169.
- Talmy, L. (1996). Fictive motion in language and "ception". In P. Bloom, M. Peterson, L. Nadel, & M. Garrett (Eds.) *Language and Space*, (pp. 211-275). Cambridge: MA: MIT Press.
- Thelen, E. & Smith, L. (1994). *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Varela, F., Thompson, E. & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press.

L'évolution cognitive par la résolution de conflits ou le conflit, moteur de la cognition

Christophe Parisse

INSERM, Paris.

E-mail : parisse@ext.jussieu.fr

Introduction

De nombreux travaux ont été réalisés sur les notions d'accommodation, d'adaptation et d'évolution. Les plus grands noms se sont intéressés à ces thèmes comme Peirce (1978) ou Piaget (1979). Le raisonnement abductif de Peirce est un processus créateur et donc évolutif: il consiste en effet à faire émerger une nouvelle hypothèse, plausible (Bourguin, 1989) qui tente d'expliquer un phénomène donné se présentant comme une anomalie dans le cadre théorique avec lequel on l'interprète. Le raisonnement abductif consiste alors à remodeler ce cadre théorique jusqu'à ce que ce phénomène s'y trouve 'normalisé'. Il faut souligner que si un phénomène particulier se présente comme une anomalie, c'est simplement que le cadre conceptuel avec lequel on l'interprète n'est pas adéquat. Il n'y a pas plus d'informations que d'anomalies dans notre environnement, comme le dit von Foerster (1974), ce sont nos interprétations de cet environnement que nous baptisons informations ou anomalies. Les processus d'assimilation, d'accommodation et d'équilibration, dont Piaget (1979) a défendu le rôle majeur dans le développement de l'enfant, permettent selon l'épistémologie génétique d'expliquer certains aspects du développement. Ces processus combinent nouveauté et créativité tout au long du développement biologique et cognitif de l'enfant. Le schème assimilateur piagetien est un type de réaction circulaire qui amène à une évolution. Toutefois, la simple circularité ne suffit pas à expliquer les mécanismes évolutifs. Il faut pour cela introduire de la nouveauté, soit par les mutations, soit par l'interaction avec l'environnement (d'où la notion d'accommodation). Le problème est que l'environnement est beaucoup trop varié pour autoriser des accommodations permanentes. Il y a de multiples équations à résoudre. Il faut catégoriser l'environnement de manière suffisante pour ne rien manquer qui soit nécessaire à la survie de l'organisme, de manière non-surabondante pour ne pas traiter trop de choses au détriment du nécessaire, sans connaissances préalables et sans qu'il existe des éléments prédéfinis « faciles » à reconnaître. Pour proposer des éléments techniques de solution, il est proposé ci-dessous un système composé de plusieurs

boucles interactives qui se synchronisent les unes par rapport aux autres. La clé de la réussite du système est la qualité et la vitesse de ces synchronisations qui doivent être adaptées à l'environnement. Ces paramétrages seraient typiquement issus de l'évolution phylogénétique des espèces vivantes.

Premier niveau

Le travail présenté ci-dessous se place dans le cadre théorique développé par Maturana et Varela (1987) où un système vivant est un système clos et autonome qui conserve ses propriétés d'autonomie et de clôture opérationnelle même au cours de ses interactions avec l'environnement – voir figure 1. La mort de l'organisme correspond à la perte de la cohérence interne du système. L'intérêt qu'a ce cadre théorique pour la présente démonstration est double. Premièrement, il décrit la structure de l'organisme comme une boucle interne à celui-ci, résultat de son histoire et de celles de ses modifications structurelles. Ceci a permis à l'organisme de construire ses connaissances et sa capacité à traiter les situations à venir, et donc de survivre. Deuxièmement, ce cadre présente un organisme situé dans un environnement, et donc amené à interagir avec cet environnement. L'organisme traite en permanence des données qui sont en modification perpétuelle. Il n'y a pas deux situations à deux instants différents qui soient physiquement exactement les mêmes¹. Classiquement, l'environnement est perçu, comme si l'on en recevait des éléments prédéfinis : l'idée est qu'il n'y a alors qu'à percevoir la structure intrinsèque du monde. Or le perpétuel changement de l'environnement physique – du point de vue sensoriel – interdit une définition stable d'éléments prédéfinis. C'est l'interprétation de l'environnement par l'organisme qui seule peut générer des réponses adéquates. La complexité des signaux physiques a également une autre conséquence importante : il faut savoir ce que l'on cherche à percevoir, sinon le problème serait trop complexe et même insoluble². C'est ce que permet la connaissance acquise et qui n'est pas pris en compte dans la version classique de la perception.

¹ Au minimum, il est impossible de retrouver le même point de vue. Ceci ne veut pas dire que toutes les modalités sensorielles sont aussi variables les unes que les autres. La perception sonore a par exemple des propriétés dynamiques différentes de la perception visuelle. Elle évolue sans contrôle volontaire, à la différence de la vue, mais il n'y a pas de changement de point de vue permanent comme celui qui est induit par les mouvements oculaires et du corps. Par ailleurs, la variabilité des contextes perceptifs peut passer d'un extrême à l'autre : une scène de rue dans une grande ville est toute autrement mobile que la vue d'une pièce d'habitation dont le décor n'a pas changé depuis 20 ans.

² Voir pour cela toutes les difficultés rencontrées en reconnaissance automatique des formes. Ce n'est pas un hasard ou un effet technologique si, plus on contraint les conditions d'un problème, plus simple il devient.

Dans le cadre présenté par Maturana et Varela, la perception se déroule comme une boucle interactive avec l'environnement qui complète la clôture opérationnelle du système – voir figure 1. On peut affiner ce schéma en considérant que l'interprétation se fait dans le cadre de deux boucles : l'une interne à l'organisme, l'autre externe et interne – voir figure 2. L'interprétation consiste alors dans le maintien d'une coïncidence entre ces deux boucles. La boucle interne-externe peut aussi être appelée boucle sensori-motrice dans la mesure où tous les sens peuvent être dirigés (plus ou moins selon la modalité).

Il reste à comprendre comment le système peut évoluer. Tout d'abord, il ne se présente pas, aussi simple soit l'organisme, comme une page vierge lors de sa naissance. Il a déjà une structure, et donc des connaissances et des besoins. Il est donc déjà en mesure d'opérer un fonctionnement en boucle comme décrit ci-dessus. Ces connaissances et ces caractéristiques structurelles peuvent (et doivent) également évoluer au cours de la vie de l'organisme. Comment ? Par la résolution des conflits.

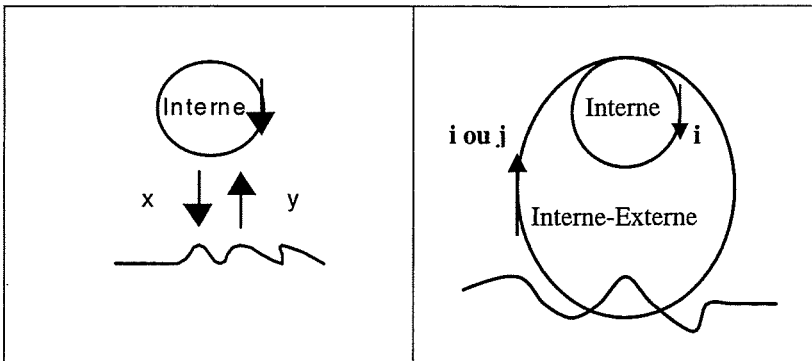


Figure 1

Figure 2

Lorsque l'environnement se trouve dans un état très différent de tous ceux que l'organisme sait interpréter, il y a conflit entre la connaissance du vivant (le 'i' de la boucle interne de la figure 2) et l'interprétation de la situation au moment présent (le 'i' ou le 'j' de la boucle interne-externe de la figure 2). En d'autres termes, il y a une différence entre l'attendu (le 'i' de la boucle interne) correspondant au besoin de l'organisme et le reçu³ (le 'j' de la boucle interne-externe en lieu et place du 'i' attendu). Les données reçues, bien qu'inattendues, ne sont pas nécessairement nouvelles. Dans d'autres circonstances, les données qui forment 'j' peuvent très bien avoir

³ On utilisera dans tout le reste de l'article le mot « reçu » en lieu et place de « perçu » pour bien différencier les données reçues par l'organisme et le processus d'interprétation qui mène à la perception.

été reçues mais ne pas avoir mené à une interprétation spécifique. Dans un cadre classique, comme l'interaction avec l'environnement n'est pas dirigée, les données inattendues sont toujours nouvelles.

Pour éviter qu'une réponse inadaptée entraîne sa mort, l'organisme doit disposer d'un mécanisme évolutif ontogénétique qui permette à sa cognition d'évoluer⁴. Si un organisme interprète 'y' et répond 'x', ou inversement qu'il propose 'x' et interprète 'y', alors tant qu'il répète cette performance, il n'évolue pas. Il pourrait en effet continuer à l'infini, si la réponse 'x' est adaptée au maintien de sa cohérence interne, et, bien sûr, s'il existait des 'x' et des 'y' qui puissent garder dans le temps exactement les mêmes caractéristiques.

L'insertion dans un environnement fait que le vivant doit pouvoir faire évoluer ses interprétations et ses réponses, se modifier lui-même et pour cela modifier sa cognition, c'est à dire sa structure et sa logique interne. Cette restructuration a pour simple but de permettre de faire disparaître le décalage – le conflit – constaté entre 'i' et 'j'. Il va donc s'opérer une différenciation du 'i' de la boucle interne en 'i-prime'⁵ et 'j' internes, de manière à obtenir à nouveau de bonnes réponses de l'environnement et à ne plus avoir de conflit entre l'attendu et l'obtenu. La nouvelle structure du système (étant différente) a toute raison de présenter des besoins différents de ceux de l'ancienne structure, d'où une évolution simultanée des attentes de l'organisme. Cette capacité d'évolution est du second ordre : le vivant doit 1) pouvoir traiter son environnement, 2) pouvoir traiter le traitement de son environnement. Cette capacité de modifier sa « programmation », capacité absente de tous les systèmes d'IA actuels et qui ne peut exister que dans des systèmes clos et donc autonomes (ce que proposent les travaux sur des robots autonomes en situation réelle - in vivo, en quelque sorte), met au même niveau « perception de l'environnement » et « perception de la perception de l'environnement ». En fait, la perception de la perception est même première car les réactions à celle-ci étant plus fortes de conséquences pour l'organisme, elle ont plus de chances d'être fortement ressenties. Ceci peut

⁴ L'évolution phylogénétique permet également à la cognition d'évoluer. La limite entre ontogénèse et phylogénèse est très floue, d'autant plus qu'il est difficile de décider si un nouveau comportement se révèle parmi une multitude de possibles (et donc qu'il était « inscrit » phylogénétiquement) ou s'il est généré « sur l'instant ». Ce débat sort du cadre de cet article et l'on considérera qu'il existe un moment où, dans l'évolution du vivant, sont apparues des créatures assez complexes pour évoluer ontogénétiquement. Que cette capacité soit l'apanage de tout le vivant est possible, mais n'est pas nécessaire pour la discussion présente.

⁵ 'i-prime' correspond à 'i' modifié suite à la réorganisation dans la mesure où l'évolution du système se réalise de manière globale. En particulier, comme en quelque sorte le 'i' précédent se divise en deux, il ne peut pas conserver exactement les mêmes propriétés.

aussi être considéré comme une des bases de la proprioception. Un organisme très simple ne possédant pas de système nerveux centralisé (ou pas de système nerveux du tout) a une perception de sa cognition qui couvre toute la structure de l'organisme, c'est à dire lui-même.

L'évolution présentée ici ne peut toutefois pas être totalement débridée. Serait-ce le cas que le nombre d'attentes potentielles évoluerait rapidement vers une situation impossible à gérer et inefficace. Il faut réguler le calcul des différences entre 'i' et 'j'. En dessous d'une certaine valeur, il n'y a pas d'évolution, au contraire, on est dans la situation de non-conflit. Au delà d'une certaine valeur, l'incohérence constatée doit être ignorée car il s'agit, soit d'une situation mal perçue, soit de conditions trop étrangères pour pouvoir être traitées, soit d'une situation à renvoyer à un autre sous-système de l'organisme. La fixation de la fourchette dans laquelle une réaction d'adaptation est déclenchée est primordiale. Elle détermine le comportement de l'organisme, sa vitesse de réaction et sa survie. Toutefois, cette valeur ne peut pas s'apprendre de manière autonome. Elle dépend de l'environnement et, si elle n'est pas adaptée, l'organisme mourra probablement avoir d'avoir pu commencer à s'adapter. C'est pourquoi ce paramétrage doit se réaliser par l'intermédiaire de l'évolution des espèces. De même, cette limitation dans le sens des différences implique qu'il est impossible ou très difficile⁶ pour un organisme d'apprendre quelque chose de fondamentalement différent de ce pourquoi il est prévu à sa naissance. Ainsi, il est très important que, lorsqu'il y a pour la première fois interaction avec l'environnement, les connaissances incluses dans les boucles intégratrices soient, ou très bien adaptées, ou très générales, pour pouvoir correctement traiter l'environnement.

Le conflit et sa résolution sont donc les clés de l'évolution cognitive. On peut imaginer qu'au fur et à mesure que le vivant se complexifie, il conserve cette faculté, et de manière de plus en plus perfectionnée et élaborée. Ce n'est pas évident car on pourrait penser qu'une créature plus complexe connaît tout ou presque et n'a plus besoin de faire évoluer ses capacités cognitives. Ceci est évidemment faux et peut se montrer chez l'être humain (qui est peut-être la créature terrestre la plus complexe, cognitivement parlant et à ce jour), par exemple en analysant les phénomènes mis en œuvre lors de l'interprétation des mots.

⁶ Il n'est pas impossible pour le système présenté ci-dessus de diverger complètement de son objectif initial. Mais cela doit se faire par petites étapes. Lors de la première étape, il faut que le perçu ne diffère pas trop de ce qui est attendu, même si la chose perçue est très différente en réalité. Ceci est toujours possible car la perception peut être partielle et ressembler en apparence à quelque chose de connu. Puis, petit à petit, la déviance peut devenir de plus en plus grande.

Deuxième niveau

Le mot est en linguistique descriptive une notion extrêmement floue qu'il vaut souvent mieux éviter. Il résulte en général d'un héritage culturel lié aux traditions de la langue écrite. Ainsi, on écrit en français *je pense* et en swahili *nilifikiri*. Le *je* français isolé est un héritage de l'écriture du latin et des processus de grammaticalisation qui ont mené au français moderne. Le *ni-* du swahili n'est pas considéré comme un mot alors qu'il a exactement la même fonction que le *je*. L'écriture du swahili a évidemment une autre histoire que celle du français. On pourrait imaginer que *-ais* et *-li-*, marques de l'imparfait en français et en swahili, soient, dans certains systèmes orthographiques, séparés par un blanc et donc considérés comme des mots dans les cultures utilisant ces systèmes. L'aspect ambigu de la notion de mot n'est pas un problème pour la discussion qui suit – bien au contraire – car celle-ci porte sur l'interprétation du sens du mot et non pas sur la description des régularités structurelles de la langue⁷.

Lorsqu'un nouveau-né interprète un énoncé, il ne peut le faire que sur la base d'un des comportements qu'il maîtrise. Pour lui, un énoncé est déjà autre chose que du bruit car il a déjà appris à reconnaître la couleur sonore de la voix humaine (et en particulier de son entourage) au cours des derniers mois passés dans l'utérus (Mehler, Bertoncini, Barriere & Jassik-Gerschenfeld, 1978 ; Mehler, Jusczyk, Lambertz, Halsted, Bertoncini. & Amiel-Tison, 1988). Mais pour lui, ces énoncés ne sont pas forcément différenciés. On peut supposer qu'il y a un moment où, d'une certaine manière caricaturale, il n'existe pour l'enfant que LE MOT. Le seul et unique mot – ou énoncé pour être plus exact. Quelque soit la réaction au MOT, le comportement est approprié car les parents savent interpréter – autant que faire se peut – les réactions de l'enfant. A un moment donné, l'enfant ne peut plus continuer à répondre au MOT sans distinction car on ne satisfait plus à ses besoins. Dans le schéma de la figure 2, il lui faut répondre au conflit qu'il y a entre une structure qui ne comprend que 'i', ici le MOT, et une interaction avec le monde qui comprend 'i' et 'j'. Le MOT va devoir se dissocier, la structure cognitive se réorganiser autour de deux puis plusieurs pôles interprétatifs ('i' et 'j' puis 'k', 'l' et autres). Ce principe est le même que celui du cas précédent, avec l'accent porté sur le départ de la boucle interne-externe alors qu'il était porté sur l'arrivée dans

⁷ Notons que cette régularité structurelle est absolument nécessaire pour arriver à une intercompréhension linguistique, en compensation de la diversité de l'interprétation. Cette régularité reproduit celle de l'environnement qui nous contraint lui aussi par sa régularité intrinsèque. Même si la vision que j'ai et l'interprétation que je produis à propos d'un objet – par exemple une chaise – diffèrera toujours de celles auxquelles mon voisin parviendra avec la même chaise, ne serait ce que parce que nous n'avons pas la même histoire, la stabilité physique de la chaise nous permettra d'arriver à un consensus, quelques soient le temps et l'effort qu'il nous faudra pour y parvenir.

le cas précédent. Mais comme une boucle est fermée par définition, les deux cas aboutissent au même résultat : c'est parce que l'on peut demander un 'j' que l'on doit pouvoir recevoir un 'j', et inversement.

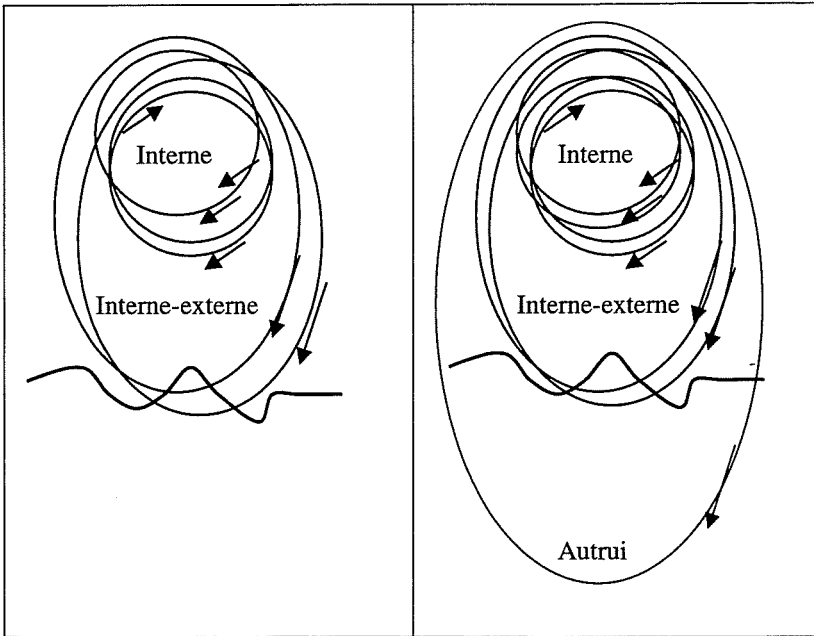


Figure 2bis

Figure 3

Au fur et à mesure que l'expérience du monde croît, l'enfant diversifie ses interprétations, ses réponses et évidemment la structure cognitive qui les rend possible. On arrive progressivement au schéma de la figure 2bis qui se prolonge plus tard par celui de la figure 3. La figure 2bis n'est autre que la figure 2 devenue complexe et variée. La figure 3 fait intervenir le sujet (soi) et autrui comme un des éléments de l'environnement. La figure 3bis présente un système où l'autre est considéré comme fonctionnant comme soi (faisant partie de la même classe). Les boucles 'autrui=soi' n'existent pas, elle ne représentent ici qu'une image de l'attente du système. Celui-ci propose 'i' et attend 'i_r', à l'image de ce qu'il ferait pour lui-même (boucles 'soi'). Lorsque le système reçoit 'j_r' au lieu du 'i_r' attendu, alors il modifie ses propres connaissances, à la fois d'autrui et de soi. Seul le contexte (les autres éléments attendus et reçus) permet de différencier autrui de soi puisque les deux mécanismes sont identiques. Ce procédé est à double sens : autrui est connu parce que image de soi, mais également soi est connu parce que image d'autrui. Rien n'impose une priorité à l'un ou l'autre des

connaissances. Ce mécanisme permet (voir figure 4) de synchroniser deux organismes différents. Tant qu'il y a une différence entre ' k_A ' et ' k_B ', les deux sujets évoluent et modifient leur image de l'autre et d'eux-mêmes.

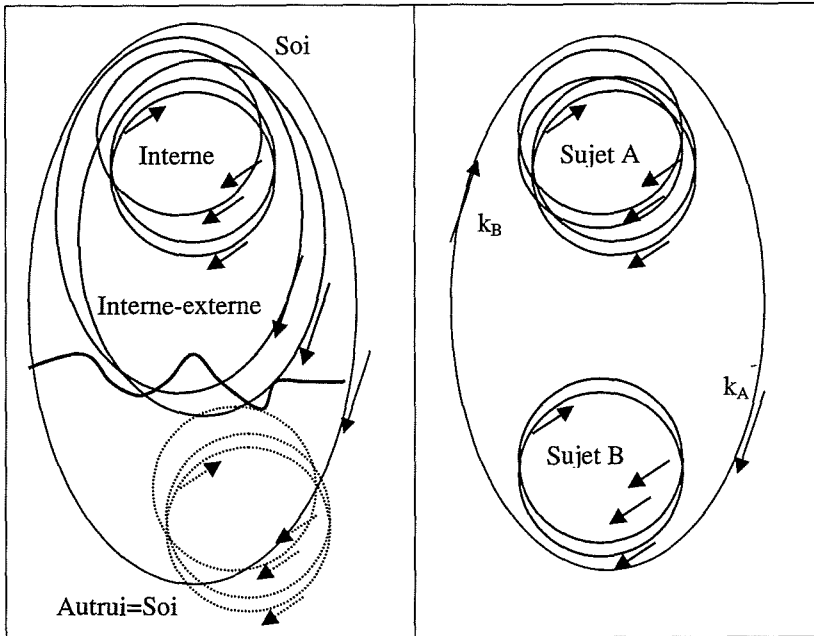


Figure 3bis

Figure 4

Sans conflit, entre soi et son environnement ou entre soi et les autres, sans incohérence entre l'attendu et le reçu, il ne peut y avoir d'acquisition de connaissance. La nouveauté seule ne suffit pas. La réponse à une nouveauté peut être appropriée, soit parce que cette nouveauté reste dans le cadre d'une variabilité perceptive et d'une souplesse cognitive, soit parce que son influence sur l'organisme est faible ou nulle. Il faut que les réponses deviennent inappropriées pour imposer des réorganisations cognitives. L'enfant ne sait pas ce que c'est qu'un mot, et pourtant il va apprendre à interpréter des parties de discours, à les associer, à les reproduire, etc. Enfin, il ne suffit pas qu'il y ait conflit. Il faut résoudre ceux-ci – au moins dans le cadre limité des besoins immédiats de l'organisme. S'il n'y a pas de résolution de conflit, il y a alors seulement une atteinte physique (une agression) envers l'organisme que ses caractéristiques structurelles peuvent ou non supporter. L'organisme peut survivre, peut même ignorer cette atteinte, mais il n'acquiert pas de connaissance. Des conflits non-résolus peuvent servir de leçons futures ou être résolus plus tard grâce à un effet de mémorisation. On peut dire

toutefois que la mémorisation est une gestion de conflit, sans expression d'une réponse externe. On ne peut mémoriser quelque chose que l'on connaît déjà. On l'a déjà mémorisé, donc il n'y a pas de modification structurelle. Pour le mémoriser, il faut que les circonstances changent ou que l'objet soit au moins légèrement différent. La mémorisation impose une reconnaissance du différent et de l'importance de la différence. Sinon, il y a oubli de l'instant. Ces reconnaissances sont déjà une partie de la résolution du conflit : identifier les problèmes, c'est déjà les traiter. La simple mémorisation est donc une réorganisation cognitive ET une résolution de conflit.

Les principes qui s'appliquent à l'enfant peuvent se projeter sur l'adulte qui, même s'il connaît beaucoup de mots et de sens possibles, ne peut cesser d'enrichir ceux-ci dans ses conflits quotidiens. Conflit avec une phrase qu'on ne saisit pas dans un journal ou un livre, conflit avec une personne que l'on ne comprend pas ou que l'on réproouve. Répondre à ces conflits, c'est enrichir ses connaissances linguistiques et, plus généralement, cognitives. Inversement, les principes exposés chez l'être humain s'appliquent à tout type de communication, langagière ou non, et peuvent être projetés sur des organismes plus simples jusqu'à arriver à ceux « qui ne communiquent pas », s'il en existe ! Mais que fait l'organisme le plus simple lorsqu'il interprète ? Est-ce qu'il ne possède pas déjà toutes les bases pour la communication. Dans le schéma de la figure 3, on a supposé ci-dessus que l'enfant peut reconnaître l'autre comme étant similaire à lui-même (un autre soi). Mais les interactions représentées dans la figure 3 ne sont pas dans leur principe différentes de celles de la figure 2bis. Le passage de l'un à l'autre n'a pas de justificatif logique, sauf quand l'être humain énonce qu'il agit envers autrui en fonction de ce qu'il sait qu'il ferait lui-même, ou lorsqu'un animal apprend en imitant sa mère, son père ou un autre animal⁸. La seule différence d'importance est que le conflit est beaucoup plus fréquent, plus violent et plus systématique avec d'autres êtres vivants qu'avec des objets car les êtres vivants sont évidemment plus mobiles et plus imprévisibles que les objets.

⁸ Soulignons ici que reconnaître l'autre comme soi est une erreur logique, ou plus exactement une vue de l'esprit. Il n'y a pas deux êtres humains qui aient les mêmes avis, les mêmes pensées, les mêmes interprétations ou les mêmes perceptions de conflits. Ceci se comprend mieux si l'on songe au cas des interactions parent-nouveau-né ou homme-animal-familier où l'attribution d'état mentaux, de sentiments, d'intentions congruentes avec les siens est évidemment fautive, même si la chose est naturelle et souhaitable. Il n'y a pas de raison de considérer que brusquement, à un certain âge, toute différence disparaisse. Considérer l'autre comme soi, c'est une manière naturelle d'appréhender sa diversité, de minimiser les conflits potentiels (voir Humphrey, 1978, qui suggère que la conscience de soi est un stratagème pour développer et tester des hypothèses au sujet de ce qui se passe dans l'esprit des autres). C'est surtout ce qui fait d'un être un être social.

Communiquer, ce peut être aussi interagir avec tout l'environnement, animé ou inanimé, et pouvoir répondre aux conflits en faisant évoluer ses capacités d'interprétation, en développant sa cognition.

Au delà

On pourrait en guise de conclusion s'amuser à aller plus loin et faire du conflit la base de la conscience. Il est vrai que nous sommes beaucoup plus conscients des conflits que de toute autre chose. Ce qui nous préoccupe, nous gêne, nous perturbe ne peut être ignoré de la conscience immédiate. Par contre, le conflit absorbé, assimilé ou ignoré est oublié extrêmement rapidement. Il est difficile d'être conscient en l'absence de différence entre l'attendu et le reçu. Les cas de comportements quotidiens ou routiniers inconscients rentrent dans ce cadre. Vous souvenez-vous de votre petit-déjeuner de la semaine dernière, jour pour jour ? Si on suppose que la conscience est le fait que l'organisme se perçoit lui-même⁹ au cours de ses propres réorganisations cognitives, alors le conflit est fondamentalement la base de la conscience. On associe ainsi conscience et interaction avec le monde, conscience et faculté d'interprétation – jusqu'à ce sommet d'interprétation qu'est l'outil linguistique. Par ce biais, on lie tout le vivant, de l'organisme le plus simple au plus complexe, sans autre changement qu'un accroissement d'ordre quantitatif, sans avoir besoin de chercher un support à la conscience, le tout grâce à la perception et à la résolution de conflits en reconnaissant l'aspect fondamental de la notion de différences, opposée à celle de ressemblances.

Il reste plus qu'à passer des principes aux mécanismes qui les mettent en œuvre...

Références

- Bourgine P. (1989). "Connaissances abductives et Compilation de connaissances". *Actes du 1er Congrès Européen de Systemique*, Vol. 2, 995-1002.
- Carruthers, P. (1998). Animal subjectivity. *Psyche*, 4(3).
- Güzeldere, G. (1997). Is consciousness the perception of what passes in one's own mind ? in N. Block, O. Flanagan & G. Güzeldere, *The nature of consciousness*. Cambridge, MA : MIT Press.

⁹ Considérer la conscience comme une perception de ses propres pensées (ou de sa cognition) est une idée très classique en philosophie qui remonte à Locke (1959) et qui a été reprise par de nombreux auteurs (voir l'article de Güzeldere, 1997, pour plus de références) et parfois explicitement appelée conscience du second ordre. Toutefois, ce principe est en général refusé à l'animal comme par exemple par Carruthers (1998) sur la base que ce second ordre n'est possible que par l'intermédiaire du langage. Il est intéressant de souligner que Maturana et Varela (1987) arrivent, par des chemins différents, aux mêmes conclusions, c'est à dire que l'esprit et la conscience apparaissent avec le langage.

- Humphrey, N. (1978). Nature's psychologists. *New Scientist*, **29**, 900-904.
- Locke, J. (1959). *An essay concerning human understanding*, vol 1. New York : Dover Publications.
- Maturana, H. R., & Varela, J. R. (1987). *The tree of knowledge*, Boston, MA : Shambhala.
- Mehler, J., Bertoncini, J., Barriere, M. & Jassik-Gerschenfeld, D. (1978). Infants recognition of mother's voice. *Perception*, **7**, 491-497.
- Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoncini, J. & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, **29**, 143-178.
- Peirce, C.S. (1978). *Ecrits sur le signe*. Seuil, Paris.
- Piaget, J. (1979). *Epistémologie génétique*. PUF, Paris.
- von Foerster H. (1974). "Notes pour une épistémologie des objets vivants". in Morin E. & Piattelli-Palmerini M. (eds.), *l'Unité de l'homme*, N°2 : *Le cerveau humain*, Seuil, Paris.

Proposition d'un cadre unifié pour l'étude de la morphogenèse de la structure prosodique et gestuelle des langues

SABINE PLOUX
ISC CNRS 9075
67 Bd Pinel
69 675 Bron Cedex
ploux@isc.cnrs.fr

« Nos modèles attribuent toute morphogenèse à un conflit, à une lutte entre deux ou plusieurs attracteurs ... »
R.Thom

1. Conflit et organisation comportementale

Le concept de conflit comme promoteur d'organisation nouvelle est ; au cœur même des modèles mathématiques de la morphogenèse. Notre programme de recherche est de tester si ces modèles mathématiques sont adaptés à rendre compte de la constitution cognitive.

Pour introduire la problématique, nous donnerons quelques exemples de conflits organisateurs.

Le conflit entre saisie et imitation chez l'enfant : il y a un conflit pour l'enfant entre la saisie du bras d'un adulte qui traverse son champ visuel et l'assimilation de ce bras à ses propres mouvements. De la résolution de cette alternative (de l'équilibration du conflit) pourra émerger des schèmes plus complexes (décrits par Piaget dans la construction du réel chez l'enfant). Par exemple, l'enfant sera capable de retrouver un objet caché en suivant les mouvements de l'adulte qui, sous son regard, soulève la couverture, y place l'objet et repose la couverture.

Chez l'enfant, qui apprend à parler, il y a un conflit entre la prononciation des syllabes et la modulation de la voix. De l'accrochage entre ces deux comportements émergera une structure plus complexe support de communication plus riche et différenciée.

Luria a montré que chez l'enfant (avant 30 mois) les associations mouvement-parole sont conflictuelles ; la commande motrice inhibe la production verbale ou vice-versa. Si on demande à l'enfant d'appuyer sur une poire de caoutchouc en prononçant « vas-y », il échoue. Puis, entre 3 et 6 ans la liaison s'établit et la production de parole affine l'action et la règle. À ce stade, l'association est plus fondée sur une régulation rythmique que sur une relation sémantique. Si on lui demande, d'appuyer deux fois en prononçant « vas-y » il échoue, en revanche il y parvient mieux en répétant deux fois l'énoncé. Et même quand il aura enfin su réaliser cette tâche, il ne sera pas encore capable d'associer à la double pression la production « je pousse 2 fois ». Plus tard, vers 5-6 ans, l'aspect significatif du langage régulera l'action motrice.

Nous proposons maintenant un cadre transmodal de la communication orale et gestuelle et de son développement qui permet d'étudier l'ensemble des comportements ancrés dans l'exercice de modalités perceptives couramment distinguées (vision, perception tactile, audition, etc.). Ce cadre se fonde sur la notion de boucles sensori-motrices et sur un modèle de leur accrochage et de leur différenciation. Pour asseoir ce point de vue, nous citerons quelques travaux que nous rattachons à la problématique. Nous développerons ensuite les concepts qui fondent le projet de recherche. Enfin, les éléments dégagés seront associés au modèle qui permet de suivre et de comprendre, dans un même système, les phénomènes de synchronisation, de différenciation et de réorganisation.

2. Quelques données théoriques et expérimentales sur la nécessité d'un cadre transmodal.

Nous citons des études qui mettent en évidence d'une part le rôle crucial de l'action dans la constitution et les performances perceptives et d'autre part la relation de dépendance entre des modalités différentes.

2.1. Autour de l'acquisition

Bruner décrit des scénarios interactifs entre l'enfant et l'adulte qui permettent et accompagnent l'apparition du langage oral en l'intégrant à l'ensemble des comportements. Le regard, les gestes, les vocalisations sont les supports de ces échanges.

Condon dont nous citerons encore le travail a montré que le nouveau né déjà, bouge en parfaite synchronie avec la structure articulaire du locuteur.

Bronckart (à la suite de Luria) a montré que la régulation du langage sur l'action dépendait initialement d'une congruence rythmique. Si on demande à un enfant d'appuyer deux fois sur une poire en caoutchouc en accompagnant chaque pression de l'énoncé « je pousse », « je pousse », on obtient 70% de réussite à trois ans et 100% à 5 ans. Pour la même action l'accompagnement par la phrase « je pousse deux fois » conduit à une détérioration drastique des performances (l'enfant ne pousse plus qu'une fois (50% des enfants de 4 à 5 ans et 20 à 30% des enfants de 5 à 6 ans) et s'il pousse deux fois c'est en séparant les éléments « je pousse », « deux fois »).

Ces études suggèrent une intégration des productions orales à l'ensemble des conduites et plus encore un mode commun d'organisation qui serait fondé initialement sur une congruence rythmique.

2.2 Autour de l'organisation sensori-motrice

Bach y Rita et l'équipe COSTECH-UTC [Lenay, 1997] ont développé des expériences qui disent le rôle nécessaire de l'action dans la constitution perceptive ; la constitution d'une extériorité, d'une capacité à reconnaître des formes dépend, pour le sujet, de la possibilité de mouvoir l'appareil (caméra ou gant visuel) sur lequel sont positionnés les capteurs.

Les travaux développés notamment à l'ICP [Schwartz, Benoît] mettent en évidence des relations étroites entre la perception et la production de la parole (« percevoir, c'est agir ») ainsi que la collaboration de différents systèmes sensori-moteurs (la vision et l'audition) dans une production ou une perception langagière. L'effet Mc-Gurk (le son associé [ba] à la vision de la prononciation du son [ga] est perçu comme un [da]) ou les expériences d'audition en ambiance bruitée (l'intelligibilité d'un matériau linguistique détérioré augmente nettement si l'auditeur peut voir le locuteur) attestent le rôle de la vision sur la perception auditive.

Les langues des signes utilisent un autre support sensori-moteur que le canal audition-phonation. La comparaison entre ces deux types de systèmes devraient aider à mieux cerner le rapport de dépendance et d'autonomie qui existe entre la structure du support perceptif et la structure langagière. Comme l'écrit Cuxac : « *Si le canal relève bien d'un phénomène de substance, alors les possibilités offertes par le canal visuel-gestuel : iconicité, quadridimensionnalité, représentations analogiques, remettent fondamentalement en question le postulat de l'indépendance de la forme par rapport à la substance* ».

Condon a analysé l'organisation comportementale de la communication humaine (figure 1). Il a mis en évidence des phénomènes hiérarchiques et rythmiques entre les différents mouvements qui accompagnent la production de phrases (mouvements coordonnés de la

phonation et des gestes visibles). De plus, l'étude révèle une synchronisation entre le comportement du locuteur et celui de l'auditeur qui produit des rythmes dont l'organisation est analogue à celle qui est perçue. Comme nous l'avons dit plus haut cet accrochage comportemental serait à l'œuvre dès les premières heures de la vie chez l'enfant.

Nous cherchons donc à définir un cadre unifié pour analyser l'ensemble des comportements sensori-moteurs, leur interaction, leur évolution, leur capacité à être un support de communication. Ce point est important ; il permet d'une part de comprendre l'apparition du langage oral en l'intégrant à l'ensemble des comportements qui accompagnent son émergence et d'autre part de chercher à caractériser au delà et par delà l'utilisation d'un support sensori-moteur particulier les étapes de cette acquisition et à cerner le rapport de dépendance et d'autonomie qui existe entre la structure du support perceptif et la structure langagière.

3. Le cadre sensori-moteur

Nous posons comme concept de base la notion de boucle sensori-motrice. L'action motrice induit sur les capteurs sensoriels des variations, une dynamique. Cette dynamique est notre support de travail. Une autre notion fonde le modèle, celle de point singulier. Un point singulier est un lieu où la variation sensorielle et le mouvement s'annulent. Nous proposons l'idée que ces points sont des centres organisateurs de la structure globale ; c'est en ces points que se produisent les phénomènes d'accrochage entre boucles sensori-motrices, ce sont aussi les lieux de différenciation du comportement.

Nous exposerons d'abord la méthode d'analyse des données. Nous développerons ensuite sur quelques exemples la notion de singularité.

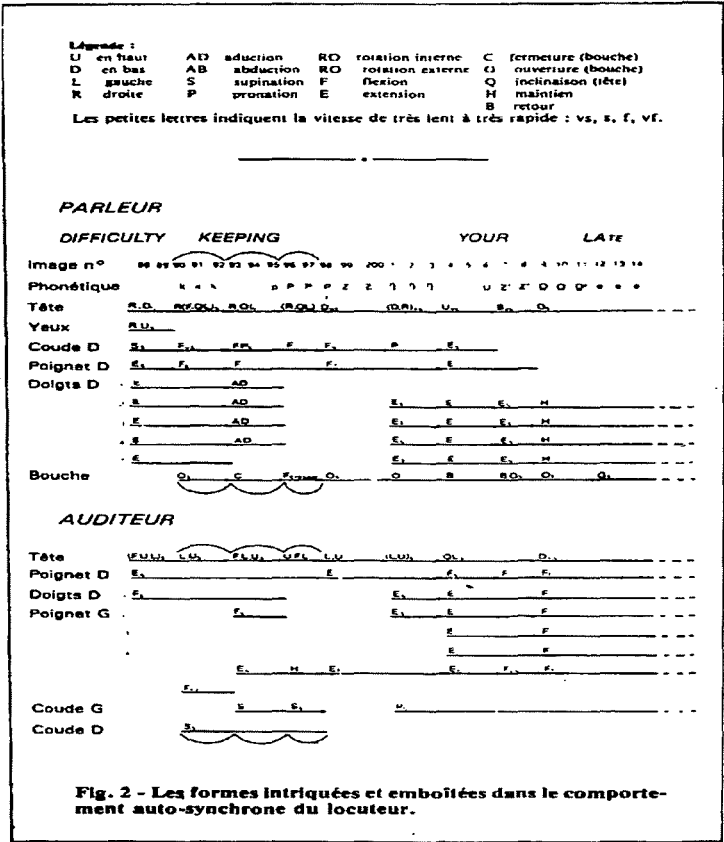


Fig. 2 - Les formes intriquées et emboîtées dans le comportement auto-synchrone du locuteur.

Figure 1 d'après W.S. Condon

3.1 Méthode d'analyse

La méthode consiste dans un premier temps à se donner une liste de paramètres sensori-moteurs jugés indépendants dans l'étude. Cette indépendance tend à être ramenée à une indépendance anatomique.

3.1.1. Variation visuelle et gestes du bras

Citons maintenant un travail réalisé sur la reconnaissance de l'écriture manuscrite. Le modèle mathématique et la réalisation informatique proposés ont été développés autour de l'idée que la reconnaissance de l'écriture manuscrite est une reconnaissance de la dynamique engendrée par le

couplage entre vision et geste d'écriture. Dans ce travail (et pour simplifier la réalisation informatique) le geste du bras est ramené à trois mouvements indépendants qui correspondent aux coordonnées cartésiennes. Le point de vue sensori-moteur, associé à la notion de point singulier, permet de rendre compte de la morphogenèse des formes graphiques et de l'invariance de la désignation de l'objet à travers ses différentes réalisations. P. Viviani et N. Stucchi ont proposé, en se fondant sur des données comportementales, une loi de correspondance entre des données visuelles (le rayon de courbure) et gestuelles (la vitesse du geste qui a produit le tracé). Les expériences qu'ils ont réalisé sur des sujets humains vont dans le sens de la reconnaissance de la dynamique sensori-motrice.

Il conviendrait alors d'étendre le champ applicatif de ces études et de vérifier si l'ensemble des paramètres sensori-moteurs impliqués dans la communication (comme ceux que transcrivent Condon, ou Bouvet et Cuxac) peuvent être modéliser à travers ce même cadre dynamique.

3.1.2. Variation acoustique et gestes de parole.

Les différentes fréquences sonores sont enregistrées dans différentes régions de la cochlée et cette organisation tonotopique est transmise le long des fibres afférentes. L'appareil de production de la voix est composé du système respiratoire, des cordes vocales, et des différentes articulations qui induisent des déformations sur le conduit vocal. On propose ici un modèle qui sépare les gestes respiratoires et les effets qui en résultent sur l'intensité acoustique, les gestes relatifs aux cordes vocales et leurs effets sur la variation de la fréquence du fondamental, les gestes articulatoires et l'effet de sélection des harmoniques du fondamental qu'ils induisent. On est ainsi ramené comme dans l'étude de l'écriture manuscrite et en suivant le parallèle (système visuel/système acoustique, gestes du bras/gestes du système de phonation) à l'étude d'une dynamique sensori-motrice.

Nous l'avons dit : l'indépendance des paramètres veut être fondée sur des considérations anatomiques ; on sépare les mouvements des yeux de la bouche, des mains et on suit les mouvements induits par la contraction de ces muscles sur un espace acoustique, visuel, etc.

Ce retour à la description anatomique a pour but de théoriser le rapport de dépendance entre les caractéristiques du système et la structure organisationnelle générée.

Pendant certains mouvements très complexes du point de vue du nombre des muscles en coordination (comme par exemple les mouvements de la langue) peuvent être dans un premier temps assimilés à un système de coordonnées indépendantes équivalentes aux coordonnées naturelles et qui simplifie l'étude.

Le geste de déplacement de tracé peut dans un premier temps (et pour valider l'hypothèse) être ramené à trois déplacements indépendants.

Carré, dans son modèle de production orale, ramène chaque variation des formants (zones fréquentielles qui caractérisent les voyelles) à des actions déformantes (qui seraient l'équivalent d'une contraction musculaire en une portion du conduit vocal). Il considère ainsi huit actions et les variations correspondantes sur trois premiers formants : F1, F2, F3.

Après avoir fait le choix de ces paramètres nous construisons pour l'ensemble un tableau de variation. Cette étape nous différencie des études sur l'organisation gestuelle qui n'envisagent qu'une représentation de type segment (début/mouvement/fin) comme celles proposées dans l'analyse de Condom ou encore celle donnée par Bouvet pour un corpus de langue des signes française (figure 2).

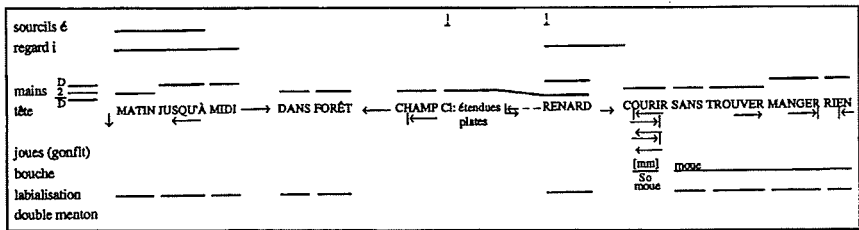


Figure 2. d'après D. Bouvet.

Enfin, nous étudions la forme des courbes correspondantes en repérant les points singuliers et les phénomènes de coordination entre paramètres. La synchronisation de points singuliers correspondant à des paramètres différents est un point singulier dans l'espace produit des paramètres.

Les résultats en topologie différentielle et plus précisément la notion de déploiement d'une singularité¹ nous ont permis de proposer une structure pour chaque lettre manuscrite (prise comme une unité du couplage vision-motricité), de repérer et d'expliquer la création des formes nouvelles, les phénomènes d'analogie, de déformation ou d'équivalence. Nous voulons maintenant étendre cette approche à l'ensemble des gestes de communication.

¹ On pourra trouver dans [Golubitski 73] la définition du déploiement universel. Les résultats relatifs au déploiement caractérisent (pour de petites dimensions) le type de formes qui vont se produire par perturbation d'une singularité. En ce sens, ces résultats sont un modèle pour la morphogenèse ; ils expliquent l'émergence de formes ou de dynamiques différant par leurs propriétés qualitatives. Ces résultats peuvent être utilisés dans le cadre d'un traitement automatique puisqu'ils nécessitent le seul calcul de l'annulation des dérivées successives (on peut pour réaliser ces calculs utiliser des valeurs approchées et le théorème de la valeur intermédiaire ; nous avons exposé ce type de procédé dans [Ploux 92]).

4. Centres organisateurs ou points singuliers

La thèse que nous défendons ici, postule que les points singuliers sont des centres organisateurs de la structure des énoncés. Cette organisation se réalise dans un double mouvement : un phénomène de synchronisation, d'accrochage entre boucles sensori-motrices et un deuxième phénomène de stabilisation, de déploiement des singularités précédemment construites.

Les exemples qui vont suivre se rattachent au premier mouvement, celui de l'accrochage. Nous envisageons dans des études à venir de montrer comment les phénomènes de déploiement que nous avons cités car ils nous ont servi à décrire les variations de formes gestuelles (dans le cas de l'écriture manuscrite) opèrent pour prolonger la complexification des formes prosodiques et gestuelles.

4.1. Exemples tirés de l'étude de la langue des signes française

D'après Cuxac, les instants d'accrochage du regard entre l'émetteur et le récepteur (quand le regard de l'émetteur s'arrête sur celui du récepteur) « *scande tout le cours de l'interaction* ». « *Par la saisie du regard du locuteur, on sait si une référence est sur le point d'être construite, si l'on est bien toujours dans une activité de récit, ou s'il s'agit d'une parenthèse – explication à l'intérieur du récit ne participant pas à la narration proprement dite –, une reprise de l'interaction etc.* »

Cuxac décrit encore un autre type d'accrochage : « *..le signe de [OUVRIR UNE FENÊTRE] déplacé au niveau du crâne, signifiera « ouvrir la fenêtre de son esprit », déplacé au niveau du cœur, « ouvrir la fenêtre de son cœur »* ». Dans le cadre que nous proposons ici, ce phénomène s'interprète comme une coordination de deux unités comportementales : lever les mains au niveau du crâne (ou du cœur), et en ce point d'arrêt du mouvement, signer la seconde unité. Cette combinaison n'est pas une simple séquence d'unités, l'accrochage des deux points singuliers en un point unique est le lieu de création d'une nouvelle unité sémantique.

La transcription des énoncés proposée par Bouvet (figure 2) et sur laquelle se fonde l'analyse de la structure énonciative consiste à repérer les points de début et d'arrêt des gestes, en somme les points singuliers.

4.2 Exemples sur les énoncés oraux

Nous avons cité en introduction le conflit, chez l'enfant qui apprend à parler, entre la production de syllabes différenciées d'une part et la mélodie et le rythme d'autre part. Nous allons illustrer ce conflit et un exemple de sa

résolution. Les données ont été obtenues par l'étude d'un corpus d'enregistrement de conversations entre une enfant et sa mère. Les enregistrements se sont déroulés dans un contexte familial au cours de la seconde année de l'enfant.

Ce corpus révèle deux types de production :

- Des productions chantées. Elles présentent une courbe mélodique et un rythme variés, une amplitude acoustique importante. Ces productions ne sont pas reprises par la mère et ne sont pas dirigées vers une communication. Dans l'exemple que nous donnons (figure 3) F0 varie entre 360 et 500 Hz, l'amplitude atteint des pics de 30 dB (ces données ont été calculées par le logiciel WinCECIL).

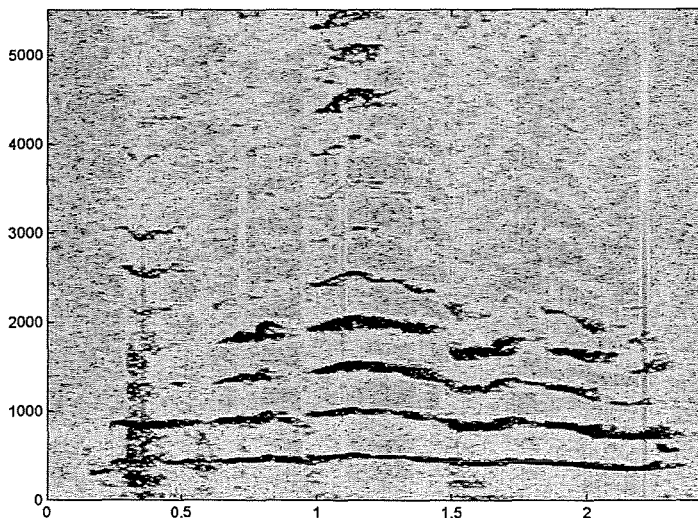


Figure 3

- Des énoncés. Ils sont repris par la mère dans un double effort d'imitation et de correction. Ces énoncés se caractérisent, comme d'autres auteurs l'ont montré, par la répétition d'une syllabe. Les valeurs de F0 et de l'amplitude sont « écrasées ». Voici un exemple qui illustre le phénomène d'accrochage mélodique et de différenciation syllabique : l'enfant interagit avec sa mère autour d'un livre illustré. Elle produit trois séries de bi-syllabes séparées les unes des autres par une pause (figure 4). A la première tentative on observe une duplication de la

syllabe, la courbe F0 est peu marquée : 367-395 Hz. A la deuxième tentative, au point de répétition (le point d'arrêt de la première syllabe et le début de la seconde) on observe un léger ré-haussement de F0 (413 Hz) et une plus grande différenciation syllabique. A la troisième tentative, ce point singulier est fortement marqué (444 Hz). La mère propose alors son interprétation-correction : « oui y'a un chien » montrant ainsi qu'elle a interprété l'énoncé de l'enfant par « y'a (un) chien ».

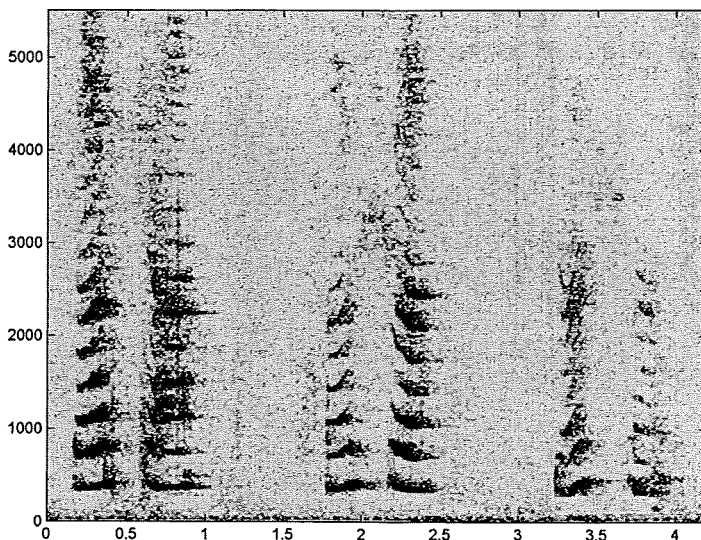


Figure 4

Enfin, dans l'interaction entre la parole et les gestes, comme l'ont montré à la suite des travaux de Condom plusieurs études [Santi et al. 98], on observe ces mêmes phénomènes de synchronisation.

5. Références

Benoît, C., Mohamadi, T. & Kandel S.D.(1994) Effects of phonetic context on audio-visual intelligibility of French, *J. speech and Hearing Research*, 37, 1195-1203.

- Bouvet, D. (1996) *Approche Polyphonique d'un récit produit en langue des signes française*. Presses Universitaires de Lyon.
- Bronckart, J-P., Sinclair, H. & Papandropoulou, I. (éds) (1976) *La genèse de la parole*. Paris P.U.F.
- Bruner, J.S. (1978) Early social interaction and language acquisition. In H.R. Schaffer (éd.), *Studies in mother-infant interaction*. Londres : Academic Press, 271-281.
- Carré, R. & Mrayati, M. (1992) Distinctive regions in acoustic tubes. Speech production modelling. *J. Acoustique*, 5, 141-159.
- Condon, W.S. (1976) An analysis of behavioral organisation. *Sign Languages Studies*, 13, 285-318.
- Cuxac, C. (1996) *Fonctions et structures de l'iconicité dans les langues des signes analyse descriptive d'un idiolecte parisien de la Langue des Signes Française*. Thèse de Doctorat d'état, Université Paris V.
- Cuxac, C. (1997) Iconicité et mouvement des signes en langue des signes française. *Actes de la sixième école d'été de l'ARC*.
- Golubistky, M. & Guillemin, V. (1973) *Stables mappings and their singularities. Graduate texts in mathematics*. Springer Verlag.
- Lenay, C. (1997) Mouvement et perception : médiation technique et constitution de la spatialisaton. *Actes de la sixième école d'été de l'ARC*.
- Luria, A.R. (1975), Basic problems of language in the light of psychology and neurolinguistics. In E.H. Lenneberg et E. Lenneberg (éds), *Foundations of language development : a multidisciplinary approach*. New York : Academic Press, vol. 2, 49-73,
- Piaget, J. (1977), *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé.
- Ploux, S. (1994), Handwriting recognition. An exemple of perception and action couplng. In C. Faure, P. Kauss, G. Lorette, A. Vinter (éds) *Advances in handwriting and drawing : a multidisciplinary approach*.
- Ploux, S. (1992), Les modèles analogiques et le contrôle dans les systèmes à base de règles. Thèse Université Claude Bernard Lyon I.
- Schwartz, J-P. (1996), Perception de la parole : des représentations sensori-motrices à l'émergence des systèmes. In *Fondements et perspectives en traitement automatique de la parole*. Aupelf-Uref.
- Santi, S., Guaïtella, I. & Cavé C. Konopczynski G. (eds) (1998) *Oralité et Gestualité. Communication multimodale, interaction*. L'Harmattan.
- Thom, R. (1977) *Stabilité structurelle et morphogénèse*. InterEditions, Paris.

Viviani, P. & Stucchi, N. (1992) Biological movements look uniform : evidence of motor-perceptual interactions. *Journal of experimental psychology : Human perception and performance*. 18, 603-623.

Du caractère toujours-déjà stratégique de la figure du conflit

Francis ROUSSEAU
francis.rousseau@univ-reims.fr
Claude SECROUN
claude.secroun@univ-reims.fr

*Laboratoire d'Etudes et de Recherches Informatiques (LERI)
Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA)
IUT Léonard de Vinci
Rue des crayères, BP 1035, 51687 REIMS Cedex 2*

1. Comment la recherche en informatique est-elle concernée par la notion de conflit ?

Les laboratoires de recherche en informatique sont quelquefois sollicités pour participer à la conception de systèmes informatisés d'aide à la décision stratégique en situation de conflit ou de crise, que l'environnement commanditaire soit civil ou militaire.

L'approche technologique classique consiste alors à modéliser le théâtre d'opération concerné et à y intégrer les objets tactiques et stratégiques litigieux ou conflictuels (frontières, déploiement de forces, enjeux stratégiques, ...). Le but est de gérer le plus dynamiquement possible les évolutions de la situation, tout en pratiquant diverses simulations (rapport des forces en présence, évolution de la menace, ...).

On obtient, en mobilisant des systèmes techniques divers (systèmes d'information géographique, systèmes à objets, bases de données, interfaces évoluées, ...), des hypercartes dynamiques qui rendent compte des événements au plus près de la réalité, et permettant d'en simuler les évolutions probables.

Si les domaines de recherche appliquée sont nombreux à être croisés par cette problématique, les choses sont plus difficile à démêler du côté des usages opérationnels.

En fait, on constate que de tels outils incitent à l'arbitrage de conflits et à la gestion de litiges extérieurs plutôt qu'au règlement de différends intérieurs. Autrement dit, il semble que les applications d'assistance informatisée à la décision fonctionnent d'autant mieux que l'utilisateur est extérieur au conflit traité : à l'extrême, la tentation est grande, pour le groupe de pouvoir qui les maîtrise, d'instituer des conflits pour avoir à les arbitrer. Comme si la notion de conflit était d'emblée porteuse d'une dimension stratégique cachée.

Ces questions nous intéressent beaucoup, car nous pressentons qu'elles pourraient à terme éclairer d'un jour nouveau l'acquisition des connaissances et la modélisation des systèmes hommes-machines complexes.

C'est pourquoi, concernant les notions de décision, litiges et conflits, nous avons pris l'habitude de doubler nos travaux scientifiques de chercheurs en informatique de certaines réflexions davantage adressées aux chercheurs en sciences humaines.

En pointant sur des extraits de textes récemment rédigés à cette fin d'interrogation, nous aimerions rendre compte de l'état actuel de nos réflexions, au travers de trois éclairages, géopolitique, exégétique et philosophique.

2. L'éclairage géopolitique

La fréquentation de l'Institut des Hautes Etudes de Défense Nationale nous a donné l'an dernier l'opportunité d'échanger avec des décideurs politiques et des responsables d'organisations internationales. Nous reproduisons ici un extrait d'une communication présentant quelques réflexions sur le rôle des multiples organismes chargés du maintien de la paix en Europe, tel que nous l'avons perçu.

Les décisions collégiales sont difficiles à prendre lorsqu'elle concernent le devenir même de la collégialité. Introspectifs et visant à faire évoluer les pratiques du groupe, l'expérience montre que les débats destinés à aboutir à des décisions de ce type dérivent souvent vers des pourparlers stériles quand elles ne conduisent pas à des conflits internes.

Cela tient précisément au fait que la négociation peut porter indistinctement sur la finalité de la décision, sur ses modalités, sur les ressources consenties ou encore sur les risques acceptés. A vrai dire, les processus de décision de ce type, par nature ouverts jusque dans le temps imparti et les moyens alloués, sont rarement mis en œuvre dans un but précis, mais bien plutôt pour

relancer des négociations enlisées ou maintenir un dialogue en attendant mieux.

C'est ainsi que, lorsque des dissensions graves (rivalité Grèce - Turquie) menacent leur unité interne, les Etats européens tentent de diluer les tensions en les étalant et les empêchant de cristalliser : pour éviter de vivre une crise, il est préférable de dialoguer que de stigmatiser, et catégoriser comme crise ressortit déjà d'une stigmatisation.

A l'inverse des décisions introspectives, les situations de crises instituées constituent un cadre confortable pour fédérer l'action, alors réduite à de la planification. Décréter l'état de crise dans une région du monde (ce qui, faut-il le dire, diffère radicalement de vivre un état de crise chez soi), permet de ramener la décision d'intervention à une forme opérante triviale, qui constitue alors le cadre arbitraire d'un consensus factice. L'état d'urgence, surtout lorsqu'il est soigneusement préparé, réduit la complexité d'une situation comme par enchantement, fournit un faire valoir inespéré à la coordination rationnelle, et valorise la supériorité technique : le discernement se fait alors procédure.

Cela tient au fait que les paramètres de complexité de la décision sont tous aplanis : l'urgence évince la question du temps (il faut agir maintenant, et toute réflexion équivaudrait à laisser la situation s'aggraver), la gravité évince la question des moyens (tout ce qu'on fera vaudra mieux que rien et, compte tenu de l'urgence, le plus raisonnable est de faire ce qu'on peut sans se questionner outre mesure), le stress évince la question du risque (inutile de prendre des risques supplémentaires dans une situation déjà bien assez compliquée comme ça).

C'est ainsi que, dès lors qu'on désigne une crise dans une région du monde, l'essentiel du processus de décision est arrêté d'emblée. Il faut encore remarquer que les meilleures crises sont alors celles qui offrent la façade la plus consensuelle : ironie du sort, ce sont alors les zones les moins stratégiques et les plus distales qui fournissent les crises les plus productives, qu'on va gérer un peu comme on gère un portefeuille patrimonial, en vue de le faire fructifier.

C'est en partie ce qui explique la déception des représentants de l'Union des pays d'Europe de l'Ouest de s'être fait souffler la récente crise albanaise : une crise à la mesure de cet organisme (un peu comme on parle de "sur mesure" chez les couturiers)

aurait pourtant contribué à légitimer son existence même, ainsi que la notion crûment fonctionnelle de "crise de Petersberg".

Ainsi donc, il n'y a guère que deux types de posture décisionnaire pour un collège d'Etats qui refusent de déléguer une part de leur souveraineté à cette fin, et qui sont les deux facettes d'une même attitude ambiguë : se diluer ici en pourparlers ou décréter une crise là-bas.

Toute la stratégie politique consiste à naviguer dans le spectre ouvert par ces deux (im-)postures. Remarquons cependant un caractère fort de ce type de navigation : les inversions posturales sont extrêmement délicates à réaliser.

Considérons par exemple la situation actuelle en Algérie : pour des raisons bien compréhensibles, l'Europe, dont l'histoire avec l'Algérie n'a aucun caractère d'homogénéité, a vite choisi, sans doute encouragée par la France, de s'engager dans une décision politico-stratégique de premier type, par définition et par vocation toujours en retard, toujours en atermolement : il n'y a donc officiellement pas de crise algérienne, mais une situation extrêmement complexe qui oblige à raffiner sans cesse les analyses. Installé dans cette posture, il est impossible de la quitter, un peu comme lorsqu'on joue à mentir et que l'un des joueurs propose de dire à nouveau la vérité, provoquant aussitôt la suspicion et la défiance.

Idem pour la Bosnie, et si le représentant américain de l'ONU est gêné pour justifier le caractère stratégique de la Bosnie pour les Etats-Unis, c'est parce que la raison en est par trop inavouable : c'est justement parce que la Bosnie ne revêt aucun caractère stratégique pour les Etats-Unis que ce dernier pays peut faire basculer une position européenne engluée dans un processus de décision de premier type, et justifier ainsi son rôle stratégique de puissance européenne. Il s'agit alors, pour inaugurer un processus stratégique de deuxième type, d'instituer la crise et de décréter l'urgence, pour dévaler dans la planification opérationnelle, ce que seule l'autorité indiscutable de la puissance, ici reconnue aux Etats-Unis, permet d'arbitrer, dans une logique de rapport de forces.

Qu'on s'entende bien, instituer ne signifie pas fomenter, même si les dérives sont toujours possibles et s'il peut être tentant de provoquer certaines situations afin de mieux légitimer des dispositions et des intentions. D'ailleurs, le regroupement d'Etats en collège contient un antidote à une telle tentation, dans la

mesure où leur nombre et leur susceptibilité, la divergence de leurs intérêts, le tout renforcé par la nécessité du consensus, interdisent tout calcul globalement machiavélique, sauf si la puissance dominante sait garder la paternité par maîtrise de l'information (et l'exemple irakien est probant dans chacune de ces étapes).

Il est édifiant de remarquer qu'il n'est pas un seul des discours des représentants des Nations à l'OTAN qui n'ouvre sur le constat amer que le drame bosniaque a paradoxalement permis aux Armées nationales de réfléchir à la défense européenne. Très souvent, le discours se livre ensuite au jeu complaisant des congratulations mutuelles, un peu gênées parfois, comme si la crise instituée avait permis de bâtir un cadre d'expérience pour pratiquer l'interopérabilité et bâtir par là de la solidarité et du lien fonctionnel ... dans les rangs des intervenants.

Nous venons de voir combien il était difficile pour un collège d'Etats de commuter d'un processus de dialogue vers un processus de gestion-institution de crises, mais il faut comprendre qu'il est également très difficile de réaliser la commutation réciproque, et les exemples de manquant pas d'enlèvement dans des gestions de crises interminables : allez donc installer le dialogue au sein de peuples qu'on a préalablement globalisées sous l'étiquette publiée de "en crise" ! La globalisation dans la crise jouera non seulement comme frein à la reprise de négociations discernées, mais favorisera aussi le retour à un morcellement territorial balisé par de pseudofrontières, sans le bénéfice d'une construction historique assumée et donc positive.

- vous êtes atteint d'une crise de Petersberg ... il faut opérer ...
- mais nous, on voudrait seulement ...
- ne perdons pas de temps, on va vous planifier l'opération avec l'aide de la cellule d'intervention stratégique, on va vous gérer, laissez-nous faire, la mission ...

Cette réflexion voudrait montrer que la banalisation de la crise extérieure présente un danger fondamental, alors même que les crises instituées doivent présenter, par construction et par vocation, des caractéristiques strictement inverses de celles des crises vécues. Un peu comme un psychanalyste qui croirait être hors d'atteinte de la mélancolie parce qu'il soigne régulièrement des malades atteints de ce mal, croire

qu'on est maître de ses propres crises parce qu'on intervient dans celles des autres relève d'une fâcheuse confusion.

Décréter un conflit peut s'avérer stratégique pour celui qui le décrète, soit parce qu'il veut l'arbitrer, soit parce qu'il pense y gagner quelque chose. La figure du conflit est par essence stratégique. Elle implique la figure du juge de façon plus complexe qu'il n'y paraît ordinairement.

3° L'éclairage exégétique

La question de l'interprétation s'est historiquement instituée comme thème de recherche au travers de l'exégèse biblique. C'est ainsi que l'exégèse du "Jugement de Daniel", extrait du livre de Daniel, passe par l'interprétation des conflits qui traversent le récit biblique.

Nous reproduisons ici un extrait d'une réflexion élaborée autour de problèmes d'acquisition des connaissances à partir du Livre de Daniel.

La salle des actes de la Cour des Comptes, rue Cambon à Paris, est ornée d'une représentation peinte de Suzanne dans la scène biblique du jugement de Daniel (Dn 13). Le tableau fait face aux juges, à l'insu du public. Les juges de la Cour des Comptes ont Suzanne sous les yeux, comme naguère les vieillards, qui exigèrent d'elle qu'elle se dévoile pour comparaître.

Doit-on voir là le rappel du danger de subversion que comporte nécessairement l'acte de juger ? Peut-on persifler au contraire que les juges jouissent toujours impunément du spectacle de Suzanne dévoilée, sans jamais risquer rien devant l'assemblée du peuple ? Présentons rapidement l'épisode biblique.

Daniel¹ est un enfant hébreux exilé à la cour de Nabuchodonosor, peu après la prise de Jérusalem par les babyloniens en l'an 587 avant notre ère.

Suzanne était la femme d'un notable estimé de Babylone, dont la maison abritait quelquefois les procès jugés par les deux vieillards qu'on avait cette année-là désignés comme guides du peuple.

¹ Le Livre de Daniel a sans doute été écrit en l'an 166 avant notre ère. Il nous est parvenu en grec dans la traduction dite des Septante, destinée aux Juifs de la Dispersion. Dn 13 est un fragment dit deutérocanonique, que ne comportent pas les éditions protestantes de la Bible. Les autorités protestantes en effet, ayant suivi le canon proposé par les Juifs de Palestine, ne reconnaissent pas le caractère sacré de certains fragments du Livre de Daniel.

Suzanne, femme d'une grande beauté, aimait à se promener dans le jardin aux heures chaudes durant lesquelles tout le monde s'était retiré.

Les deux vieillards se prirent à désirer Suzanne et, esclaves tourmentés de leur passion, se mirent à épier chaque jour ses promenades. Honteux mais forcés de s'avouer mutuellement leur semblable dessein, ils convinrent de guetter ensemble l'occasion de surprendre Suzanne.

Un jour où Suzanne avait congédié les servantes et se trouvait seule dans l'intention de se baigner, les deux juges purent la soumettre au chantage en la menaçant d'un faux témoignage : si Suzanne s'obstinait à refuser leurs avances, elle serait convaincue d'adultère, réputée prise en flagrant délit par des juges du peuple. Suzanne préféra la perspective de mourir innocente à celle de pécher à la face du Seigneur, et les vieillards composèrent le faux témoignage destiné à la perdre, non sans avoir une dernière fois joui de sa beauté convoitée en la contraignant à se dévoiler devant toute l'assemblée réunie à l'occasion de sa comparution en procès.

L'assemblée, en pleurs, dû s'en remettre au jugement des anciens du peuple et ratifia la condamnation à mort de l'accusée sur la seule base de la déclaration commune des faux témoins.

Suzanne proclama son innocence à la face de Dieu qui l'entendit et suscita l'esprit saint de l'enfant Daniel, présent ce jour là, qui se mit à crier à la surprise générale "Je suis pur du sang de cette femme !".

Appelé à s'expliquer sur le sens de ces paroles, en vérité étranges dans la bouche d'un jeune enfant, Daniel continua d'étonner en prétendant convaincre les accusateurs de faux témoignage et en provoquant la fierté du peuple "Vous êtes donc assez fous, fils d'Israël, pour condamner sans enquête et sans évidence une fille d'Israël ?".

Stupéfaits que Dieu ait conféré la dignité de l'âge à un enfant, les anciens invitèrent Daniel à siéger au milieu d'eux et à conduire la révision du procès.

Daniel procéda aussitôt à l'interrogatoire séparé des deux vieillards, à qui il demanda tour à tour de préciser sous quel arbre ils avaient vu Suzanne commettre l'adultère. Ceux-ci se contredirent manifestement en prétendant avoir surpris le commerce qui sous un acacia, qui sous un tremble.

L'assemblée entière bénit Dieu qui sauve ceux qui espèrent en lui, et se retourna contre les menteurs pour les mettre à mort, conformément à la Loi de Moïse. Rassurés sur la dignité de Suzanne, ses proches rendirent grâce à Dieu et grand fut désormais Daniel aux yeux du peuple.

Intéressons-nous à la figure du prophète au travers du personnage de Daniel.

Daniel est un tout jeune enfant. Comme tel, il n'est pas sensé posséder la "dignité de l'âge", manifestée par la capacité à formuler des convictions et à tenir des raisonnements logiques pour en constituer la légitimité. Comme tel, il n'est pas non plus sujet à des désirs coupables, réservés aux adultes qui peuvent seuls perdre le sens sous leur emprise et négliger de regarder vers le Ciel jusqu'à en oublier ses justes jugements.

Daniel, simplement parce qu'il est enfant, est réputé n'avoir ni les moyens d'une expression raisonnable, ni les motifs de mobiliser ces moyens dans une visée subversive. Il réside en deçà de toute possibilité de compromission dans une affaire de justice humaine.

Il est d'emblée "pur du sang de cette femme", car pur de toute décision légale. En particulier, il est a priori incapable de tout jugement sur un jugement.

Mais lorsqu'il se déclare avec force "pur du sang de Suzanne", Daniel révèle par là qu'il sait quelque chose qu'il ne peut théoriquement pas savoir. Et lorsqu'il stigmatise la lâcheté des anciens ("Vous êtes donc assez fous, fils d'Israël, pour condamner sans enquête et sans évidence une fille d'Israël ?") tout en assortissant son intervention d'une promesse de résolution ("Retournez au lieu du jugement, car ces gens ont porté contre elle un faux témoignage"), c'est finalement à Dieu qu'ils attribuent la volonté de réviser le procès.

Ainsi fallait-il que Daniel soit enfant, afin d'innocenter par avance tout procès d'intention. Il en va certes de l'effet produit par sa sidérante intrusion dans le cours du jugement. Mais un jeune homme aurait tout aussi bien pu, en droit, proférer ses paroles et conduire la révision. Il n'eut probablement pas été entendu, comme si le soupçon de la compromission allait de pair avec celui du savoir construit. Jeune homme, on eut pu croire

qu'il était amoureux de Suzanne, et que son inspiration provenait d'une passion pleine d'espérance².

Cherche-t-il à séduire Suzanne ? Serait-il même le complice que les vieillards ont pris sur le fait de commerce d'adultère, mais dont ils n'ont pu s'emparer par manque de force physique ? Recherche-t-il la reconnaissance du riche Ioakim, époux de Suzanne ? Désire-t-il s'imposer comme juge du peuple ? Veut-il démontrer que le mode de recrutement des juges du peuple laisse à désirer ? Souhaite-t-il réformer le système judiciaire dans son ensemble ?

Un procès ne saurait être instruit que par des personnes compétentes qui sont, du fait même de cette compétence, en position de le pervertir. Le soupçon est corrélatif au jugement.

L'exégèse critique nous éclaire sur le caractère stratégique du conflit et la figure problématique du juge.

Le jugement de Daniel a pour principale fonction narrative d'introduire Daniel au lecteur de la Bible. Et le prix à payer pour démarquer Daniel de la figure classique du juge (et ainsi du mauvais exemple des vieillards) est considérable : il faudra faire de Daniel le prototype même de l'innocence par défaut, et le transfigurer en prophète omniscient et omnipotent. Cela suffit à montrer la suspicion de l'auteur à l'égard de la figure du juge et du conflit comme catégorie déjà stratégique de la justice humaine.

4° L'éclairage philosophique

Beaucoup d'auteurs en philosophie (Bergson, Merleau-Ponty, Deleuze, pour n'en repérer que quelques-uns) ont insisté sur l'intimité de la perception et de l'action, et partant sur la déficience radicale des théories qui les séparent artificiellement pour tenter vainement de les réconcilier.

Ainsi pour ces auteurs, la figure de l'événement serait une figure de passage autant motivée par l'action que par la perception : les événements ne "surviennent" pas, qui provoqueraient l'action réflexe ou réfléchie, mais constituent déjà des catégories interprétatives qui disent quelque chose de l'action attendue.

Dire qu'un incendie se déclare, c'est d'abord déclarer qu'il s'agit de l'éteindre. Il n'y a pas de perception non finalisée (et la perception de

² A comparer avec l'intervention dans le cours d'un procès d'un autre personnage, jeune homme celui-là, dans l'épisode de la lapidation de la femme adultère (Jn 8).

l'œuvre d'art se replie et se finalise dans l'acte même du regard intentionnel percevant).

Selon nous, la caractérisation de situations intersubjectives ressortissant traditionnellement du conflit n'échappe pas à ces considérations. Le conflit est une figure stratégique du litige, caractérisée par un acte de publication du litige pour en provoquer le procès et l'arbitrage.

Mais, pour évoquer le différend, le conflit et le litige, reprenons les pistes proposées par Jean-François Lyotard. Selon Lyotard, là où le différend ressortirait de l'intuition, le litige en serait la manifestation, ou plutôt l'interprétation mondaine : le litige comme événement, en tant qu'il désigne l'objet litigieux, est déjà tourné vers sa dissolution dans la séparation inhérente à l'arbitrage.

Le conflit serait toujours stratégique, en ce sens qu'il est un litige assorti d'une demande de médiation ou de médiatisation. Le conflit est un mode de présentation du litige, destiné à être tranché : et le juge impartial est paradoxalement celui qui sépare les protagonistes en tranchant le conflit.

En conséquence, l'interprétation de conflit ne peut résulter que d'une mise en système herméneutique du différend, du litige, du conflit, des protagonistes et du juge. Il est donc vain de vouloir réduire l'interprétation du conflit à un arbitrage autour de l'objet litigieux et des rapports antagonistes qu'il semble susciter. Une telle posture serait suspectée à son tour d'être une posture fondamentalement stratégique.

Or, que se passe-t-il lorsqu'on prétend concevoir des outils informatisés d'aide à la prévention des crises ou à la gestion des conflits ? On tend à travailler sur des situations objectivées (des modèles symboliques du litige), obtenues par compilation des événements survenus. On n'a souvent pas les moyens d'organiser le procès herméneutique, et l'on en est souvent réduit à spéculer sur des catégories abstraites, en particulier lorsqu'on prétend assister des décisions dans l'urgence, sans qu'aucun dialogue humain ne double la procédure.

On ne saurait remonter du litige au différend sans se compromettre et s'impliquer personnellement. Pour le faire mieux sentir, revenons un instant sur le Livre de Daniel.

La lecture interprétative du texte nous renseigne pêle-mêle sur le vécu des personnages, les sentiments qu'ils éprouvent et les idées qu'ils expérimentent, les actes de communication qu'ils assument et les buts qu'ils poursuivent, mais aussi les schémas de raisonnement qu'ils adoptent implicitement et les appartenances sociales qu'ils attestent ou transgressent.

Le texte relate également les événements et les situations provoquées ou subies, consistants des opportunités pour les uns et des circonstances défavorables pour les autres.

Il est possible de simuler la scène biblique en se donnant une représentation topologique des situations physiques et en traçant l'évolution des connaissances, des croyances, des pouvoir et des vouloir des différents acteurs. Nous l'avons fait au format canonique de l'acquisition des connaissances telles qu'elle est pratiquée en intelligence artificielle.

Classiquement, et dans l'optique d'une gestion préventive des conflits, on cherchera à généraliser progressivement une telle simulation afin qu'elle acquiert un statut de modélisation et une capacité prédictive dépassant le stricte cadre du scénario d'origine. On disposera alors d'un système d'aide à la décision stratégique, typique de celui que pourrait virtuellement mettre en œuvre un protagoniste du récit mieux outillé technologiquement.

Mais le texte est destiné à édifier le lecteur. Il raconte une histoire que l'on vit par identification aux personnages, pris au jeu et concerné plus personnellement que lors d'une simple investigation ou enquête rationnelle. La situation du lecteur ressemble un peu à celle qu'il vivrait lors de la reconstitution criminelle de la scène. Et bienheureux se sent-il d'être encore bien vivant après l'exécution des vieillards par l'assemblée du peuple d'Israël si toutefois il a développé à son insu une coupable complicité virtuelle avec ces juges iniques !

Ici, l'édification repose sur une interprétation intime de l'ensemble de la scène, par delà les conflits qu'elle relate : par exemple, d'aucuns ressentiront que ce qui a manqué aux vieillards, c'est seulement la grâce divine, qui seule aurait empêché le dévalement de leur désir en convoitise opérante, et ils seront tentés de demander à Dieu cette grâce pour eux-mêmes, par anticipation à une situation qu'ils sentent possible pour eux-mêmes.

Le cube d'Aristote : Un cadre pour construire et réviser une interprétation

Jean Sallantin

Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier
161, rue Ada, 34392 Montpellier Cedex 5, France
emailsallantin@lirimm.fr

1 Introduction

Nous sommes confrontés à un monde dont la complexité est croissante. Pour l'appréhender, nous devons fabriquer des systèmes qui nous permettent de créer de nouvelles représentations mentales, de rationaliser la production d'une connaissance. Nous devons aussi nous donner les principes qui permettent à une intelligence humaine d'introduire de la vraie intelligence dans une intelligence artificielle.

Un agent Rationnel est une machine qui applique des règles de rationalité lui permettant de produire et de réviser des connaissances lors d'une interaction avec un agent humain. Une telle machine devra respecter les principes d'une rationalité parfaite et avoir des compétences et des performances linguistiques suffisantes pour permettre à son interlocuteur de la comprendre.

L'objectif principal de cet article est de proposer un cadre permettant la construction rationnelle d'une interprétation lors d'une interaction. Ce cadre s'appuie sur quatre notions à la base de la production d'un savoir, son calcul, sa catégorisation, sa formalisation et son expression.

Fixons l'intervention de ces notions au travers de deux exemples.

- L'agent rationnel va assister un agent humain qui cherche à interpréter des informations qu'il récupère par le Web.
- L'agent rationnel va aider son tuteur à réaliser une transaction comme la réservation d'une chambre d'hôtel.

Dans les deux situations présentées, les questions et les réponses sont d'abord le résultat de calculs qui ont pour conséquence leurs émissions sous la forme de messages.

Les interlocuteurs échangent sans toujours bien se comprendre quand leurs contextes d'interprétation sont différents. Le cadre de la construction d'un accord entre les interlocuteurs est ainsi celui de la construction d'une interprétation partagée.

Appelons "adéquation" un jeu formel de contraintes sur des types d'expressions qu'il convient ou qu'il ne convient pas d'utiliser pour construire une interprétation. Tout le problème de la rationalité se trouve défini par le jeu de quatre adéquations :

- Adéquation du vocabulaire : trouver un dictionnaire des termes servant pour formuler des questions et répondre aux questions.
- Adéquation logique : structurer algèbriquement des énoncés de manière à pouvoir leurs attribuer une signification.
- Adéquation ontologique : construire un univers du discours constitué des énoncés qu'il est convenable ou pas convenable, de postuler, de supposer de conjecturer ou de démontrer.
- Adéquation épistémique : dégager un accord sur une interprétation partagée à partir de l'examen de preuves appliquées sur des objets et la réfutation de concepts par des exemples.

L'expression d'une rationalité parfaite correspond à la réalisation idéale de ces quatre adéquations. Cependant la rationalité de l'agent rationnel est par nature limitée car elle est sous la dépendance d'une information incomplète, de l'imperfection de ses méthodes de calcul, des limites des capacités d'interaction avec son tuteur et des limites des ressources qui lui sont attribuées dans la résolution de problèmes.

Pour affronter la construction rationnelle d'une interprétation, nous allons nous appuyer sur des jeux d'opposition entre des types d'expressions qui interviennent lors de la construction d'une interprétation. Nous donnerons ensuite une formalisation de la théorie normative que nous proposons. Nous utiliserons ainsi une approche dialectique de la construction d'un savoir partagé que nous positionnerons en conclusion face aux autres formes de savoir.

2 Les jeux d'opposition dans la construction d'un savoir partagé

Nous allons dans cette section discuter de la nature du formalisme qui permet de saisir la construction d'une interprétation dans le domaine de la connaissance scientifique.

Dans les sciences de l'esprit et du langage, la définition d'une telle construction donnerait une base formelle à des problèmes que l'on pourrait qualifier de philosophiques.

2.1 Le calcul philosophique

Nous allons donner quelques prises de positions sur l'existence de problèmes formels spécifiquement philosophiques.

A la question de Christian Delacampagne[Del98] sur l'existence de problèmes formels spécifiquement philosophiques, Noam Chomsky répond positivement et en donne des exemples : la liberté, la justice, l'égalité et l'équité.

Pour Jules Vuillemin [Vui84], la philosophie de la tradition est un système de critique de la production de théories scientifiques.

La formalisation d'un tel système de critique relève pour John Mac Carthy [Car89] d'une méta épistémologie, car elle est le cadre dans lequel on peut examiner l'adéquation épistémologique d'un formalisme. Ce cadre doit ainsi permettre de formuler des problèmes philosophiques.

Pour Heidegger [Hei62], un calcul philosophique doit respecter des contraintes d'identité, de causalité et de contradiction.

Pour Peirce [Pei95], les révisions inductives de la connaissance viennent de l'amélioration de la précision expérimentale. La révision se fait sans controverse car elle n'oblige pas pour raffiner des lois à modifier les principes fondant la démarche scientifique. Quand il s'agit de modifier ces principes, des controverses surgissent et des affrontements d'école s'organisent. En effet cette révision que Peirce appelle abductive s'appuie sur la modification des opinions qui fondent les principes.

Pour Lakatos [Lak84], la progression des sciences se fait par preuve et réfutation au moyen d'objets monstrueux et de contre exemples qui s'opposent aux preuves d'une théorie. Lakatos introduit donc de nouveaux types d'expressions dans la découverte scientifique : la preuve, le concept, l'exemple et l'objet. Les oppositions entre ces types d'expression permettent d'estimer la force de conviction d'une théorie scientifique. Les oppositions sont marquées par des controverses et laissent des marques historiques, elles construisent ainsi des références.

Dans les théories semi empiriques [Sal97], nous avons proposé que les problèmes qui sont spécifiques à la construction d'une théorie sont : la validité, pertinence, simplicité et intérêt d'une théorie.

Dans nos travaux actuels sur les agents rationnels, la notion d'opposition est centrale et la question spécifiquement philosophique est la liberté et la sécurité avec laquelle on adhère, produit et révisé une théorie scientifique ou non. L'évolution et la révision des théories va venir de situations dans lesquelles elle ne s'applique pas et ne se théorise pas de manière convenable.

2.2 La philosophie calculée

Cette question intervient aussi dans la jeune histoire de l'Intelligence Artificielle, elle est celle de savoir si la progression des connaissances est elle-même une connaissance intégrée dans les formalismes de représentation des connaissances. Nous ne développons ici que le point de vue philosophique. Un développement du point de vue des informaticiens se trouve dans Russell [Rus97].

La position appelée IA dure "intègre", de manière mécaniste, une pragmatique de la révision dans le formalisme de représentation des connaissances. Une connaissance s'exprime par un fragment d'une logique des prédicats. Cette position "intégriste", est historiquement dans la droite ligne de la théurgie introduite du temps de Plotin[H.D90] sous la pression du pouvoir religieux. Ces derniers voulaient que la formulation de la connaissance intègre le fait que cette dernière était révélée et donc demandait la prise en compte des actes de foi. Cette position s'inscrivait à l'époque en rupture avec celle d'Aristote. Aristote n'introduit pas les croyances dans la formalisation des connaissances. Par symétrie, on devrait

appeler “dialectique” la position “aristotélicienne” défendue à l’époque par Porphyre. En intelligence artificielle, le camp des “IA molle” est du côté d’Aristote.

Développons davantage la position d’Aristote [Eva96] que nous adoptons. Il faut tout d’abord se donner des signes, des termes ou des sons qui prennent sens quand nous leur associons des choses du monde. Ces termes vont nous servir à catégoriser. Du temps d’Aristote, catégoriser c’était préparer l’acte d’accusation. Aristote l’a utilisé dans un nouveau sens que nous pratiquons : organiser les termes en les ordonnant de manière hiérarchique et en explicitant les relations qui les associent. C’est ce que nous appelons construire une ontologie. L’adéquation ontologique s’appuie sur un treillis de croyance sur la production des actes de langage le convenable, le pas convenable, le paradoxal et l’indifférent.

Le sens juridique du mot catégorie est intéressant car il donne aux termes constitutifs de la catégorie, le rôle de formuler des questions sur le monde et à formuler des réponses aux questions que l’on se pose sur le monde. Pour Frege une assertion est une réponse à une question.

Pour Aristote, les assertions sont de quatre types : nécessaires, possibles, impossibles ou contingentes. Le jeu d’opposition entre ces types d’assertion est connu depuis Porphyre sous le nom de carré d’Aristote. Le diagramme de Venn est une traduction “intégriste” du carré d’Aristote au sens que le jeu des oppositions est reformulé par la donnée d’une négation.

Dans le cas des logiques quantiques, [Bit96] le jeu d’opposition donne des familles de négations, chaque négation correspond à distinguer de manière ensemble les états du système que l’on peut observer comme conséquences du montage expérimental. Dans le cas des logiques à défauts semi-ordonnés, la négation est donnée mais le jeu des oppositions se traduit par la fabrication d’une liste ordonnée de défauts.

3 Le cube d’Aristote

Nous avons tenté de déterminer par quels actes de communication se construit une connaissance entre un agent rationnel et son superviseur humain.

Il est ainsi tenté de déterminer une pragmatique de la communication. Ce sujet prend ainsi place dans les théories du langage et, selon la tradition Chomskienne il se situe dans une théorie des performances, car nous voulons déterminer des conditions que vérifie toute construction d’une interprétation dans un contexte.

Selon Moeschler et Reboul [eAR94], en linguistique, l’acquisition d’un contexte est étudiée en psycholinguistique et la contextualisation est étudiée en sociolinguistique. La construction d’une interprétation dépend ainsi du caractère psychologique de l’acquisition d’un contexte ; en particulier, l’agent rationnel et son tuteur apprennent. Il dépend également du caractère social : en particulier, l’agent rationnel et son tuteur jugent. Nous appelons philosophique les conditions générales acceptables pour tout contexte de la construction d’un savoir. Ce contexte philosophique formule les lois du discours.

Nous avons développé une théorie normative, pour protocolariser les conditions de production et de révision d'un savoir partagé.

Nous avons appelé "cube d'Aristote" ce protocole car il spécifie les actes de langage d'un discours rationnel. Il se trouve ainsi se situer dans la suite du carré d'Aristote [GG90] qui spécifiait 256 figures du raisonnement qui font intervenir des assertions.

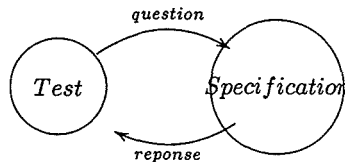
Cette théorie normative a pour ambition de permettre à un agent qui l'utilise pour construire une interprétation sur un problème avec sécurité et liberté. La sécurité et la liberté viennent que le système signale les conséquences d'un changement d'avis ou de la révision des faits expérimentaux et qu'il précise dans ce contexte les formes de raisonnement qui ne sont pas paradoxales.

De manière sommaire, ce système gère quatre types de contraintes.

3.1 Adéquation catégorielle du vocabulaire

Les contraintes locutoires de l'adéquation du vocabulaire portent sur la construction de catégories de termes pour formuler des questions et des réponses.

- Les tests sont la formulation d'un ensemble de questions qui sont telles que les réponses aux questions du test ne produisent pas de questions qui n'appartiennent pas au test.
- Les spécifications sont la formulation d'un ensemble de réponses aux questions telles que les questions provoquées par des réponses appartenant aux spécifications ne provoquent pas de questions qui ne trouvent pas leurs réponses dans l'ensemble des spécifications.



Ces deux catégories sont adjointes quand les spécifications fournissent toutes les réponses à toutes les questions que l'on peut se poser sur les spécifications. Nous voyons ainsi intervenir une opposition catégorielle entre test et spécification. Par ce jeu d'opposition, à tout terme est associé un ensemble de termes.

Par ailleurs, deux actes de langage servent à organiser le vocabulaire.

- Le premier, noté ! est appelé "abstraire". Il agit sur un terme en produisant un terme qui désigne un regroupement de termes.
- Le second noté ? est appelé "concrétiser", il agit sur un terme "x" en désignant un terme qui appartient au regroupement de termes "x".

Avec ces actes de langage, des types d'expressions sont construits :

- Une "loi" abstrait des spécifications.
- Un "avis" concrétise des spécifications.

- Un "fait" concrétise des tests.
- Un "principe" abstrait des tests.

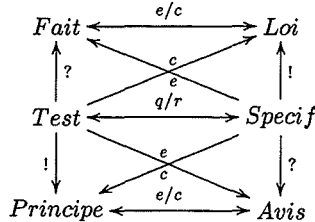
Pour construire une catégorie, nous devons compléter le diagramme. Pour cela nous nous donnons deux nouveaux actes de langage.

- "constater" c'est concrétiser une réponse une question.
- "constater" associe une loi à un fait.
- "constater" associe un principe à un avis.
- "édicter" c'est abstraire une réponse ou une question.
- "édicter" associe un fait à une loi.
- "édicter" associe un avis à un principe.

En composant ces actes de langages, on construit des adéquations catégorielles.

- La loi édicte ce qui est constaté à partir de la loi.
- Le fait constate ce qui est édicté à partir du fait.
- Le principe édicte ce qui est constaté à partir du principe.
- L'avis constate ce qui est édicté à partir de l'avis.
- Concrétiser c'est constater ce qui est constaté.
- Abstraire c'est édicter ce qui est édicté.

Le diagramme catégoriel suivant exprime cet ensemble de contraintes, les objets sont des types d'expression et les flèches sont des actes de langages. Dans ce diagramme, les contraintes d'adéquations catégorielles sont exprimées par des diagrammes commutatifs et par les dualités entre les actes de langage



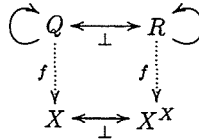
3.2 Adéquation logique avec les assertions

Pour Frege, les assertions sont des réponses aux questions. L'adéquation logique exprime cette mise en correspondance entre les réponses aux questions et les assertions. Nous aurons ainsi un calcul logique sur les assertions qui devra avoir une bonne correspondance avec la formulation catégorielle. En particulier, les modalités des assertions vont correspondre aux types catégoriel des questions.

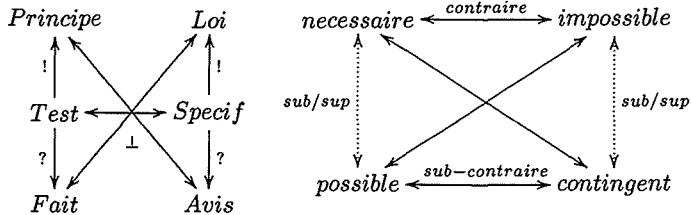
- Les réponses aux questions "de principes" sont des assertions sur une nécessité, "des nécessités".
- Les réponses aux questions "factuelles" sont des assertions sur une possibilité, elles expriment "des possibilités".

- Les lois provoquent des questions qui ont pour réponse des assertions sur une impossibilité.
- Les avis provoquent des questions qui ont pour réponses des assertions sur une contingence.

Quand il y a adéquation logique, les deux actes de langages produisent des questions et des réponses qui correspondent à des assertions.



- “édicter” produit une assertion déterminée car nécessaire ou impossible.
- “constater” produit une assertion non paradoxale car possible ou contingente.



Les contraintes de l’adéquation logique et de l’adéquation catégorielle se forment de manière catégorielle. Pour permettre leur mise en correspondance, le diagramme catégoriel est déployé de telle manière que les oppositions sont sur les différentes diagonales. La mise en correspondance de ces diagrammes impose de supprimer les relations supérieures et inférieures du carré d’Aristote. Par ailleurs, il apparaît que les tests et les spécifications n’ont pas leur correspondant. Cette lacune disparaît si on formalise l’adéquation logique en logique linéaire [Gir95].

Les relations “contraire” et “subcontraire” ne peuvent pas être explicitement présentes dans le cadre catégoriel car elles y introduiraient une notion de négation injustifiée dans une démarche de catégorisation. Leurs prises en compte ainsi que la production d’une négation sera la conséquence d’une interaction avec un tuteur humain. Le tuteur va déclarer une expression convenable ou pas convenable, ou il signalera son indifférence. Par déduction, le statut de cette expression va demeurer convenable, pas convenable ou indifférente, ou paradoxale.

L’interaction est dès lors conséquence et mode de dépassement de l’aporie suivante :

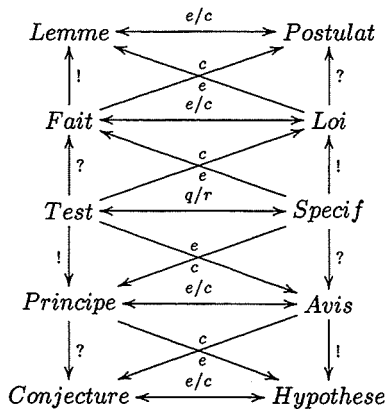
- Toute expression qui ne s’appuie ni sur des faits déclarés convenables ni sur des avis déclarés convenables est paradoxale.
- L’adéquation logique impose des faits et des avis convenables.
- L’adéquation logique ne rend pas convenable l’absence de défaut.
- En absence de défaut l’adéquation logique est paradoxale.

3.3 Adéquation ontologique avec l'univers du discours

Nous avons vu que pour obtenir une adéquation logique, il fallait engager une interaction avec le tuteur humain. L'adéquation ontologique va porter sur le choix des termes qui vont être engagés dans la formulation du problème et qui serviront à formuler les expressions échangées lors de l'interaction.

La composition des actes de langage précédents va engendrer de nouveaux types d'expressions qui vérifieront de nouvelles oppositions.

- un "lemme" est édictée à partir d'une "loi" .
- une "conjecture" est constatée à partir de "avis".
- une "hypothèse" est édictée à partir de "principe" .
- un "postulat" est constaté à partir de "fait".



De nouvelles contraintes apparaissent dans ce diagramme ;

- Lemme = !?Test : Un lemme abstrait la concrétisation d'un test.
- Postulat = ?!Specif : Un postulat concrétise l'abstraction d'une spécification.
- Hypothèse = !?Specif : Une hypothèse abstrait la concrétisation d'une spécification.
- Conjecture = ?!Test : Une conjecture concrétise l'abstraction d'un test.

Les postulats et les hypothèses constituent les termes et les relations entre termes sélectionnés pour réaliser une ontologie. L'expression "adéquation ontologique" vient donc de là. Elle exprime des contraintes sur l'existence d'un univers du discours. Elle exprime donc un prérequis à la formulation d'un modèle.

3.4 Adéquation épistémique avec la qualification d'un accord

La dernière contrainte posée est de nature épistémique, elle exprime les conditions que pose la ratification d'un accord sur une modélisation réalisée avec les énoncés de l'univers du discours.

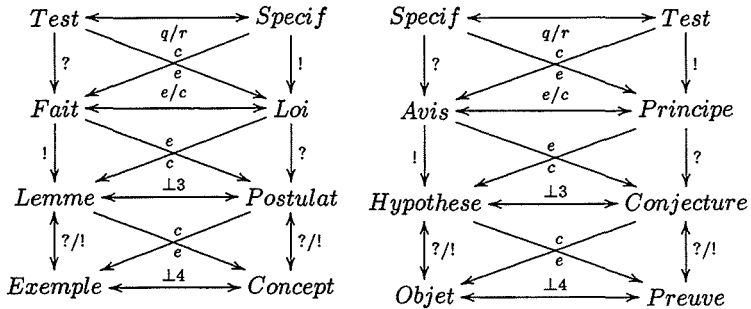
Cette ratification fait intervenir à nouveau les actes de langages :

- un "concept" est édicté à partir d'un "lemme" .
- un "objet" est constaté à partir d'une "conjecture".
- une "preuve" est édictée à partir d'une "hypothèse" .
- un "exemple" est constaté à partir d'un "postulat".

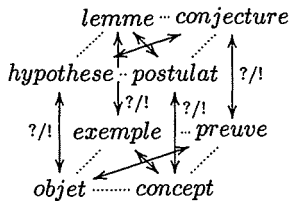
Un nouveau jeu d'opposition est introduit qui met en dualité les actes de langages "concrétiser" et "abstraire".

- un "concept" abstrait un "postulat" .
- un "concept" est concrétisé par un "postulat".
- une "preuve" abstrait une "conjecture" .
- une "preuve" est concrétisée par une "conjecture".
- un "lemme" abstrait un "exemple" .
- un "lemme" est concrétisé par un "exemple".
- une "hypothèse" abstrait un "objet" .
- une "hypothèse" est concrétisée par un "objet".

L'ensembles des contraintes catégorielles qui interviennent donnent un diagramme catégoriel que nous présentons coupé en deux diagrammes.



Si l'on prend les types d'expressions qui interagissent directement dans l'adéquation épistémique, on obtient le diagramme du cube d'aristote :



Lors d'une interaction de révision, l'utilisateur attribuera aux expressions typées deux statuts. Elles seront "convenables", "non convenables", Si un type d'expression n'est pas convenable, il rend "pas convenable" soit un acte de langage qui l'a construit, soit un type d'expression qui a servi à le construire. On peut ainsi propager les conséquences d'un statut de type inconvenant pour attribuer

à chaque expression du diagramme catégoriel un statut particulier d'expression "convenable", "pas convenable", "paradoxe" ou "indifférente".

Enumérons quelques situations :

Une expression est "paradoxe" quand elle est conséquence ni un fait convenable ni un avis convenable.

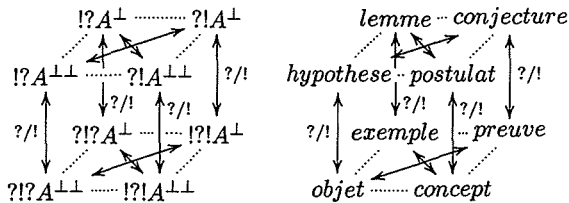
Un concept, un lemme, une hypothèse et une preuve quand ils ne sont pas convenables rendent paradoxaux tous les actes de langages. Ce qui vient de la perte de l'adéquation du modèle catégoriel.

Un exemple, une conjecture, un postulat ou un objet quand ils ne sont pas convenable ne rendent pas paradoxaux tous les actes de langages. Le système peut fonctionner en mode dégradé. Cette situation produite par l'interaction a des propriétés de non monotonie.

Si le tuteur déclare un exemple "pas convenable", l'agent rationnel signale que le concept n'est plus convenable, que les postulats et les lemmes sont paradoxaux et qu'il ne lui reste comme seul acte de langage convenable que celui de "concrétiser" certains types d'expressions.

Pour sortir de cette situation paradoxale, il faudra réviser simultanément les spécifications du problème, et reconstruire une interprétation convenable liant les faits, les lois, les postulats et les lemmes avec une démarche inductive.

Dernière remarque, la logique linéaire permet une adéquation logique particulièrement intéressante du cube d'Aristote. Elle vient de ce que l'on ramène toutes les oppositions à une seule \perp . Le cube d'Aristote se formalise alors par le diagramme suivant :



4 Systèmes de critique philosophique du discours scientifique

Nous allons situer les théories produites en respectant les modes de constructions induits par le cube d'Aristote en les examinant conjointement à d'autres théories. Plaçons donc le cube face aux systèmes de critique des formulations des théories scientifiques.

Tout d'abord, il faut convenir que modéliser une démarche de modélisation c'est se donner un système de critique sur la construction d'un modèle.

Nous allons voir que la critique va porter sur trois types d'adéquations :

- l'adéquation épistémique des termes du calcul relativement à la situation à modéliser : nature éclectique de la théorie

- adéquation ontologique de l'univers du discours : nature dialectique de la théorie.
- adéquation logique des raisonnements : nature aporétique de la théorie

Une première démarche examine le caractère éclectique de la théorie, c'est à dire sur la nature et l'usage des termes qui servent pour la formuler. Une seconde démarche examine le caractère dialectique de la théorie, c'est à dire la nature et l'usage des méthodes pratiquées pour discerner le vrai du faux. Et une troisième démarche examine son caractère aporétique, c'est à dire son aptitude à être ramenée à un système formel avec une sémantique axiomatique.

Commençons par introduire ces critères.

4.1 aporétique

Une théorie aporétique est une théorie que l'on ne peut pas formuler de manière consistante au moyen d'un langage formel disposant d'une sémantique axiomatique. C'est par exemple, pour Jules Vuillemin, le cas de la formalisation de la notion du temps. Une théorie n'est donc pas aporétique dans le cas contraire. Les théories de l'évolution sont aporétiques. Les théories juridiques de la négociation d'un accord et les théories économiques le sont. Par définition une logique des prédicats n'est pas aporétique. Cependant des logiques qui ne cherchent pas à modéliser le monde mais à modéliser l'expérimentation du monde sont aporétiques tout en demeurant logiques. Quand on parle comme Lakatos de logique de la découverte scientifique, on cherche à poser une démarche logique de résolution de problème et non pas à logifier la production de la démarche. Les logiques non monotones qui intègrent la pragmatique en mécanisant une manipulation des croyances ne sont pas aporétiques.

4.2 dialectique

Une démarche dialectique appuie la construction d'un savoir sur un jeu d'opposition. On dira que "rien n'existe sans son contraire" . Ce jeu d'opposition est présent en théorie des jeux quand le gain fixe le sens donné au modèle. En mécanique quantique, la dualité onde corpuscule comme le principe d'incertitude sont aussi des exemples de démarche dialectique. Des théories non aporétiques et dialectiques sont données par des théories dans lesquelles la négation est le résultat d'un calcul sur des distributions de données comme dans certaines théories des possibilités.

4.3 éclectique

Une formulation est éclectique quand il existe différentes façons de dire la même chose.

Une première source d'éclectisme vient de l'impossibilité de classer les termes équivalents : on peut formuler la même chose sans le savoir.

Cet éclectisme est évitable si on calcule avec un ordinateur à partir du moment où nos calculs se ramènent à des automates synchrones. Dans ce cas, le circuit qui exécute le calcul est identifié par le signal qu'il émet en sortie dès que ce dernier est stabilisé. Dans le contexte de calcul asynchrone, il faut tenir compte de l'influence des délais de réponses sur le résultat, aussi des formulations apparemment différentes doivent être admises pour le calcul.

Les modèles de calcul qui fixent de manière interne les principes de sélection et de regroupement des énoncés ne sont pas éclectiques. C'est le cas des logiques qui font intervenir un principe inductif de point fixe ou de convergence de suite dans leur formalisation. Il existe des situations a priori éclectiques, c'est le cas de la logique linéaire qui met en jeu deux groupes d'opérations internes.

Les modèles mathématiques de la physique qui fixent de manière interne les principes d'une optimisation ne sont pas éclectiques. C'est le cas par exemple pour les physiques classiques et quantiques. Pour Bitboul, si on en croit le formalisme proposé en appendice qui s'appuie sur deux systèmes formels, la logique quantique serait éclectique.

Si on considère deux agents qui négocient, chacun à sa langue, ses contextes, ses savoirs et les interprétations. Le cadre de la négociation est par nature éclectique.

Ces trois critères discernent ainsi différents formalismes ;

| | Eclectique | Dialectique | Aporétique |
|---------------------------------|------------|-------------|------------|
| Logique intuitionniste | non | non | non |
| Logique linéaire | oui | oui | non |
| Logique possibiliste | oui | non | non |
| Logique existentielle d'ordre 2 | non | oui | non |
| Physique classique | non | non | oui |
| Physique quantique | non | oui | oui |
| Théorie économique | non | oui | oui |
| Cadre de la négociation | oui | oui | oui |
| Réseau de neurones | oui | non | oui |

References

- [Bit96] Michel Bitbol. *Mécanique quantique*,. Nouvelle Bibliothèque Scientifique Flammarion, 1996.
- [Car89] John Mac Carthy. *Artificial Intelligence, logic and formalizing common sense*. Philosophical logic and artificial intelligence. Richard Thomason, Kluwer Academic, 1989.
- [Del98] Christian Delacampagne. Noam chomsky, philosophe et linguiste américain. *Le Monde mardi 1 septembre 1998*, 1998.
- [eAR94] Jacques Moeschler et Anne Reboul. *Dictionnaire Encyclopédique de Pragmatique*. Seuil, 1994.
- [Eva96] Christos Evangelioi. *Aristotle's categories and Porphyry*. E.J.BRILL, 1996.
- [GG90] Paul Gauchet and Pascal Gribomont. *Logique : Méthodes pour l'Informatique Fondamentale*. Hermes, 1990.

- [Gir95] Jean Yves Girard. *Advances in Linear Logic*, chapter Linear Logic: Its Syntax and Semantics, pages 1–42. London Mathematical Society Lecture Note Series 222. Cambridge University Press, 1995.
- [H.D90] H.D.Saffrey. *Recherches sur le néoplatonisme après Plotin*. Vrin, 1990.
- [Hei62] Martin Heidegger. *Le Principe de la Raison*. Gallimard, 1962.
- [Lak84] Imre Lakatos. *Preuves et réfutations*. Hermann, 1984.
- [Pei95] Charles Sander Peirce. *Le Raisonnement et la Logique Des Choses (Les Conférences de Cambridge 1898)*. Édition du Cerf, 1995.
- [Rus97] Stuart Russel. Rationality and intelligence. *Artificial Intelligence*, (94)1:57–77, 1997.
- [Sal97] Jean Sallantin. *Les Agents Intelligents : Essai sur la Rationalité Des Calculs*. Hermès, 1997.
- [Vui84] Jules Vuillemin. *Nécessité Ou Contingence, L'aporie de Diodore et Les Systèmes Philosophiques*. Les Editions de Minuit, Paris, 1984.

Le schème comme instance du sens

Luc-Laurent SALVADOR

Equipe CASCAD

IIUN (Institut d'Informatique de l'Université de Neuchâtel)

Emile Argand 11

CH-2007 Neuchâtel

e-mail : salvador@ext.jussieu.fr

1. Introduction

Dans son ouvrage de 1945 consacré à la *Formation du Symbole chez l'Enfant*, Piaget mettait tranquillement en correspondance ses notions architectoniques de cycle assimilateur ou de schème avec la notion classique de *signifié*. Selon lui, le schème instancie la signification ou le signifié de l'objet auquel il se rapporte et qu'il *assimile*. L'objet du schème, quant à lui, correspondrait au signifiant.

Ayant découvert le doublet signifiant/signifié au travers de cette lecture de Piaget et ne fréquentant guère les champs linguistiques, j'ai longtemps cru qu'une telle proposition avait pour elle la force de l'évidence. Je m'en étais servi pour pointer un parallèle entre les processus évolutionnaires et herméneutiques (Salvador 1992) sans vraiment soupçonner qu'il pouvait y avoir là une proposition susceptible d'apparaître comme sensiblement hétérodoxe du point de vue des sciences du langage (Havelange 1998)¹.

L'objectif de la présente communication n'est pas d'entrer dans le détail de ces délicates questions linguistiques. J'en serais difficilement capable. Je souhaiterais simplement suggérer la nature heuristique de la position piagétienne en pointant les quelques hypothèses que j'ai pu en tirer dans mon domaine d'intérêt —tant biologique, psychologique que robotique— où les notions de signification² et d'interprétation font sens sans nécessairement se rapporter à une problématique linguistique. Nous aborderons néanmoins ce champ, au sujet du symbole et de la communication. Mais ce sera très cursif, seulement sur le mode de

¹ Dans une communication personnelle Véronique Havelange m'indiquait, en substance, qu'une telle *assimilation* opérât un rabattement indu du linguistique sur l'extralinguistique.

² Ainsi, dans ce qui suit, je n'entretiendrai pas la distinction classique entre signification et sens. Il en sera dit quelques mots dans une note ultérieure.

l'esquisse, afin de susciter débats et réactions susceptibles de m'aider à améliorer ce modèle.

Après un rapide développement autour de la notion de schème, nous retrouverons l'*umwelt* de von Uexküll et ce sera l'occasion de pointer le caractère insatisfaisant de la notion d'*affordance*. Puis, l'esquisse d'une dynamique collective de construction des symboles sera proposée sur la base de la notion de réaction circulaire (Baldwin 1895), archétype du schème piagétien. Cela nous permettra de rendre plus explicite la dynamique d'interaction entre cycles organisationnels qui, en définitive, régit l'évolution de ces derniers.

Ceci m'amènera, pour finir, à reposer le parallèle que, me semble-t-il, on peut et doit opérer, entre les processus du vivant et les processus herméneutiques. Nous verrons que, dans l'un et l'autre cas, une organisation évoluée, se déploie par constante relecture d'une chaîne de « signifiants » sur lesquels elle s'articule.

2. Le schème comme instance de la signification

Sans doute convient-il de rappeler tout d'abord que le cycle assimilateur, le schème, est la notion cardinale sur laquelle Piaget a élaboré l'ensemble de son œuvre. L'ubiquité de cette notion n'est, cependant, pas surprenante, étant donné que ce qu'il désignait par-là n'est autre que l'essence de la notion d'organisation — que celle-ci soit physico-chimique, biologique, psychologique ou sociologique.

Dans sa perspective, toute organisation est nécessairement de nature cyclique car, par sa propre activité, elle doit assurer son maintien et donc, sa reproduction, ce qui lui permettra d'accéder à cette stabilité sans laquelle il est vain de parler d'organisation. Piaget illustre et formalisait le cycle assimilateur sur un mode physico-chimique assez proche des modèles autopoïétiques qui se développent actuellement en biologie théorique (cf. p. ex. Fontana & Schuster, 1998). Mais cette formalisation avait surtout une valeur heuristique et visait à bien caractériser ce qui se passe lorsqu'un schème opère dans un environnement donné.

Pour aller très vite, on pourrait dire que le schème, en opérant sur tel ou tel *aspect* de l'environnement, *s'assimile* cet élément, au sens de la physiologie de la digestion, c'est-à-dire, le fait sien, l'intègre en somme dans son organisation de manière à assurer sa *fermeture*, sa *clôture*. De manière, en somme, à reproduire à nouveau cette organisation, en en « bouclant la boucle ».

Pour illustrer cela, prenons le schème de la succion qui a un grand poids dans l'organisation sensori-motrice du bébé et qui joue donc un grand rôle dans son rapport au monde. La nature répétitive du schème est, dans ce cas, évidente. Le fait que la notion de schème ne soit, au fond, qu'une lecture cognitive de la vieille notion d'*habitude* s'affirme ici de manière éclatante. Le bébé va sucer presque tout ce qui passe à sa portée et qui lui permet d'exercer son schème de succion. Observons maintenant que, dans cette *assimilation*³ *généralisatrice*, nous pouvons reconnaître la constitution d'une signification générique, commune à tous ces éléments qui ont été le support d'activité du schème : il s'agit de la nature « suçable » desdits éléments⁴.

Ce qu'il faut ici retenir, c'est que, sous le rapport du schème, des éléments très hétéroclites vont se retrouver rangés dans la même catégorie. Ces éléments vont se voir accorder la *même signification* —être suçable— alors qu'ils pourront, par ailleurs, être aussi dissemblable que possible. Cette large *assimilation* opérée par le schème nous suggère que la signification « suçable » n'est pas portée par l'objet de la succion, elle n'existe que parce que le schème de la succion du bébé —et des observateurs que nous sommes— est là pour l'actualiser, l'incarner.

Il ne me semble pas qu'il y ait là quoi que ce soit de révolutionnaire. Tout au plus doit-on y voir le rappel d'un mode de rapport au monde que von Uexküll, par exemple, a largement contribué à diffuser, et que le sens commun véhicule avec des dictons comme : « Pour celui qui n'a qu'un marteau, le monde entier est un clou ».

Malgré ce, il semble que l'on ne soit pas encore allé au bout des conséquences d'une telle perspective. En effet, généralisons le propos, suivons Piaget jusqu'au bout de sa proposition et donnons sa chance à l'idée que le schème « incarne »⁵ la signification de ce sur quoi il porte. Sur quoi tombe-t-on ? Sur un complet *relativisme*⁶ selon lequel ce que le sujet connaît du monde n'est que ce sur quoi ses schèmes peuvent opérer, ce qu'il sera en mesure d'assimiler et de retrouver au moment où telle ou telle habitude voudra réaffirmer sa nature répétitive. Et, a priori, rien,

³ Ici à entendre au sens cognitif de catégorisation et/ou de pattern matching

⁴ Corrélativement, on doit envisager que se construit la catégorie des éléments non-suçables, qui ne se prêtent pas (mal) à l'exercice du schème de la succion.

⁵ Il serait trompeur de dire que le schème « est porteur de la signification » car cela suggérerait une distance, une différence entre l'un et l'autre, alors que la superposition est complète.

⁶ Qui, au moins à ses débuts, était tout à fait caractéristique de la pensée de Piaget (cf. Salvador 1993)

absolument rien ne garantit qu'un objet donné sera assimilé par ce sujet de la même manière qu'il l'a été par d'autres. Même de manière intra-sujet, un objet va pouvoir changer de signification du tout au tout simplement parce qu'un schème différent va alors porter sur lui. Von Uexküll donne l'exemple du pavé qui, intégré à la route, sert d'assise au pied du promeneur et qui, lorsqu'il se retrouve dans sa main, sert de projectile pour se défendre ou agresser :

« Ni la forme ni le poids ni les autres caractères physiques et chimiques de la pierre n'ont changé. Sa couleur, sa dureté, sa configuration cristalline sont restées les mêmes —et cependant un changement fondamental s'est produit : sa *signification* a changé. »
(1935/1965:86)

De sujet à sujet, les divergences seront du même ordre dès lors que les schèmes assimilateurs seront dissemblables. Le précieux téléphone portable du père est, pour son bébé, avant tout un objet préhensible, jetable et/ou percutable —et donc, producteur de sons intéressants ; mais pas exactement ceux qui intéressent son propriétaire. Ça n'est que plus tard, lorsqu'il aura su organiser ses schèmes élémentaires de manière à imiter le comportement de son père vis-à-vis du téléphone que ce dernier se verra attribuer une signification socialement valide. Ceci étant, comme chacun sait, le « schème de la communication téléphonique » pourra aussi s'exercer avec une banane ou un bout de bois. Dans ce cas, la banane n'aura pas la même signification que lorsqu'elle est saisie par le schème de la « prise alimentaire ». Les schèmes diffèrent, les significations diffèrent alors que ce qu'on voudrait voir comme les « supports de significations », les signifiants, restent les mêmes. Autrement dit, *un signifiant est intrinsèquement neutre vis-à-vis de la signification. Il n'en est « porteur » que par abus de langage, ou plus exactement, en raison d'une dynamique attributionnelle qui fait que, dans un contexte donné, défini par le schème assimilateur dudit signifiant, nous tendons à désigner le tout — l'organisation du schème— par sa partie, le signifiant. Ce mouvement attributionnel est assez bien suggéré par von Uexküll:*

« Ainsi, chaque action, avec sa composante perceptive et active, imprime sa signification à tout objet neutre et en fait dans chaque milieu un porteur de signification rattaché au sujet. »
(1935/1965:91)

3. La notion d'affordance fait-elle sens ?

Dans cette perspective, la notion d'affordance (Gibson 1979) apparaît critiquable. Certes, il faut savoir distinguer l'*usage* qui est fait d'une notion, de l'*intention* qu'avait son auteur. Et il est vrai qu'il ne faut pas chercher bien loin pour trouver chez Gibson toutes les précautions relatives à l'emploi de la notion d'affordance. Sa conception était, somme toute, très proche de celles que von Uexküll et Piaget avaient développé auparavant. Malheureusement, c'est peu de dire que la façon dont Gibson a eu de d'exprimer cette conception ouvrait sur de fâcheux contresens et en annihilait *de facto* la valeur heuristique. Car laisser à penser qu'un objet donné puisse afforder ceci ou cela, c'est anéantir l'effort relativiste de déconstruction de ces réalités simplettes dont nous aimons à nous entourer. C'est passer sous silence ce mouvement attributionnel qui nous porte à faire de l'objet, sur lequel nos schèmes ont prise, le responsable, la raison d'être ou d'agir de ces schèmes, et donc le porteur de cette signification que, pourtant, lesdits schèmes incarnent. Croire que la poignée de la porte, de la scie ou de la tasse afforde la main comme la chaise afforde les fesses, c'est oublier un peu vite qu'il en va ainsi dans les contextes culturels où nous avons *toujours-déjà* construit les schèmes —et donc les significations— relatifs à ces objets. Sans même parler du système attributionnel que nous reproduisons et qui nous convainc qu'il est en bien ainsi, que tous ces objets auxquels nos schèmes se rapportent sont *réellement* « porteurs » de la signification que pourtant nous leur assignons. Il suffit de changer de contexte social ou culturel pour découvrir que ce que nous avons crû intrinsèquement « porteur de signification » est en fait compris bien différemment. Dans les sociétés nomades, par exemple, notre belle chaise a plus de chance de faire sens comme matériau de combustion que comme outil de pose d'un séant pour lequel les « affordances » naturelles ne manquent pas. Par ailleurs, il suffit de regarder des enfants s'adonner à ces jeux qu'on appelle classiquement « symboliques » pour comprendre que *tout afforde tout et réciproquement.*

7

⁷Dans un de ses cours, le psychologue social Zajonc (1993) cherchait à illustrer la notion d'affordance avec le signe suivant : I3 qui, placé dans la série A I3 C D etc. sera généralement compris comme un B, alors que placé dans la série 11 12 I3 14 etc., il

4. La construction du symbole comme accrochage de cycles.

Nous nous retrouvons maintenant au cœur du problème qui consiste à savoir comment il se peut que des objets puissent nous apparaître comme « porteurs » d'une signification finalement assez homogène au sein d'un groupe culturel donné. Ce qui revient à se demander comment il se fait que les agents d'une population donnée en viennent à avoir des schèmes relativement semblables à l'égard des mêmes objets ? Comment en vient-on à construire des invariants sociaux, partagés dans le contexte du relativisme dépeint ci-dessus ?

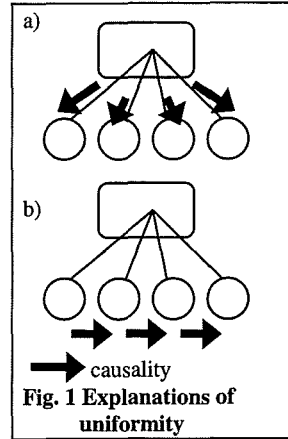
J'espère qu'il est assez évident pour tout le monde que nous disposons bel et bien de tels invariants. Le sens commun pourra être déconstruit et relativisé autant qu'on voudra, il en restera toujours un noyau dur dont il faudra bien savoir rendre compte. Ainsi, dans ce beau pays de France où l'on s'enorgueillit de pratiquer un individualisme sans concession, le conformisme quant à l'usage des chaises, tables, maisons, voitures etc., reste ce qu'il est dans les autres pays à l'entour. Les significations de ces objets *communs* apparaissent, en définitive, passablement stable. Suffisamment, en tout cas pour que tout un chacun puisse régulièrement s'assurer que l'usage que les autres ont desdits objets est semblable à celui qu'il en a. Dès lors, chacun peut avoir le sentiment de *partager* quelque peu son *umwelt*, de vivre dans un espace commun au sens où les objets qui le meublent ont, en apparence au moins, une signification relativement stable d'un sujet à un autre. Ce qui permettra de les évoquer en ayant une assez bonne anticipation de la signification qui naîtra chez l'interlocuteur. Mais n'allons pas trop vite. Revenons à notre questionnement : comment concevoir la construction de significations communes, partagées, dès lors qu'on a opté pour le relativisme radical inhérent à une conception de l'organisation psychologique en terme de cycle assimilateur, de schème ou de « cercle fonctionnel »⁸ ?

sera compris comme le chiffre 13. Zajonc concluait tranquillement que 13 afforde B et 13. Je n'ai pas eu l'audace d'intervenir à ce moment —étant donné l'ambiance extrême prude qui régnait alors, même en Californie— mais il m'apparaissait assez évident que placé dans un ensemble de traits que je vous laisse imaginer, le signe en question pourrait bien afforder le soutien-gorge d'une opulente poitrine observée en surplomb. Et je suis sûr que le lecteur ne manquera de lui trouver d'autres affordances plus ou moins exotiques qui confirmeront que, décidément, tout afforde tout, et réciproquement.

⁸Cette dernière notion, équivalente aux précédentes, vient de von Uexküll.

En raison de cette option relativiste, on ne peut, bien sûr, en revenir au naïf réalisme qui consisterait à faire de l'objet le responsable, la cause de l'uniformité des comportements à son égard (cf. figure 1a). Cette possibilité étant exclue, il s'en présente une autre qui devrait mériter toute notre attention : si l'objet n'est pas la cause de la relative uniformité des schèmes qui opèrent sur lui, d'où peut venir cette dernière si ce n'est d'un processus de convergence entre les schèmes concernés ? (Cf. figure 1b).

Pour imaginer cette hypothèse, je voudrais rapidement resituer une critique que j'ai faite (Salvador 1995) de la théorie de la stigmergie avec laquelle (Grassé 1959) cherchait à rendre compte du comportement constructeur des termites. Selon Grassé, le nid, et plus précisément, son état d'avancement, serait la cause du comportement des termites. L'œuvre (*ergon*) serait un aiguillon (*stigma*) qui, en vertu du principe selon lequel les mêmes causes produisent les mêmes effets, expliquerait suffisamment que les termites aient tous le même comportement à son égard — nous retrouvons là le schéma de la fig. 1a. Cette explication environmentaliste ou externaliste ressortit au classique réalisme béhavioriste selon lequel les stimuli environnementaux sont la cause des comportements. Elle s'oppose, bien sûr, à la conception schématique défendue par Piaget selon laquelle ce sont les schèmes qui, de par leur organisation, font sens des —et réagissent aux— stimuli qu'ils assimilent. Dans cette étude, j'ai essayé de montrer que l'interprétation béhavioriste de Grassé qui aboutit à l'idée que dans l'activité de construction « les termites sont indifférents aux comportements de leurs congénères » (p. 79), est tout à fait contraire aux données d'observation recueillies par Grassé lui-même et qu'en définitive, à chacune des étapes du processus de construction, le termite opère un constant « monitoring » du comportement de ses congénères sur lequel il vient calquer son propre comportement. En effet, le termite ira déposer sa boulette faite d'un mélange de terre et de salive à l'endroit même où il détecte que ses congénères ont, le plus récemment, déposé leurs propres boulettes. Et cette forme élémentaire d'imitation suffit à expliquer la formation des piliers, de nappes et voûtes qui composent le nid. A chacune des étapes de la construction, le termite ne fait que déposer sa boulette là où le gradient de l'odeur « terre + salive » est le plus fort. A tout moment



donc, il « aligne » son comportement sur celui de ses semblables. En particulier quand il s'agit de prendre des pauses où tout le monde s'arrête de travailler pendant quelques minutes et parfois des heures, alors que le nid « aiguillon » est toujours bien présent, mais visiblement inopérant.

Elaborer une alternative à la théorie de la stigmergie a simplement consisté à revenir à la notion baldwinienne de réaction circulaire, ancêtre du cycle assimilateur ou du schème piagétien. Avec cette notion qui pointe l'essence de l'organisation en tant qu'elle tend nécessairement à se reproduire, à boucler sur elle-même et ce faisant, à produire la stimulation qui va la faire se reproduire (cf. figure 2).

Baldwin a su dégager un aspect fondamental⁹ de la dynamique d'interaction entre ces organisations que sont les schèmes. Cette dynamique, c'est celle qui nécessairement découle de l'assimilation des produits de l'activité d'une réaction circulaire par une autre et c'est, bien sûr, la reproduction. Car, en raison de sa nature circulaire, parce qu'elle produit la stimulation qui, précisément, l'entretient dans son activité, une réaction circulaire qui pourra assimiler le produit de l'activité d'une autre réaction circulaire se verra par-là même déclenchée (ou renforcée) dans son activité. Ce qui l'amènera à répéter ou reproduire l'activité de la réaction circulaire « modèle ». Ainsi, on comprend aisément que l'activité de ses congénères ait un

effet stimulant sur le termite et l'incite à les « imiter », c'est-à-dire, à se mettre lui aussi en activité. En reconnaissant, en *assimilant*, les odeurs de terre et salive produites par ses congénères, le termite voit sa réaction

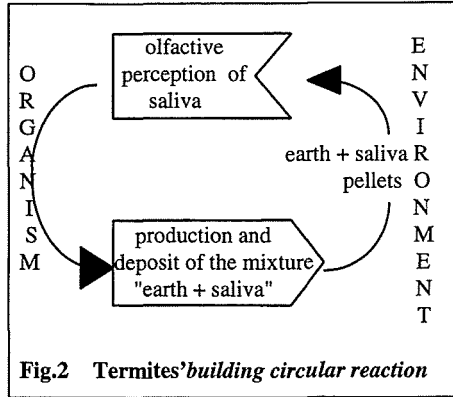


Fig.2 Termites'building circular reaction

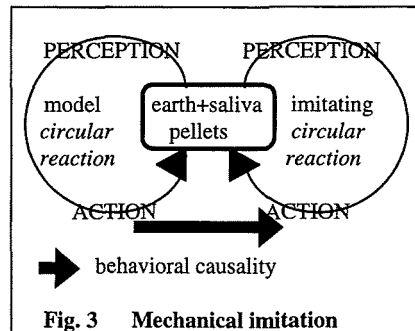


Fig. 3 Mechanical imitation

⁹Aspect que Piaget avait gentiment estompé sous des euphémismes, tout en en reconnaissant, très furtivement, le bien-fondé (Salvador 1996).

circulaire de construction enclenchée, ce qu'il l'amènera automatiquement, mécaniquement, à produire lui aussi de telles boulettes de terre et salive. Boulettes qui viendront, à leur tour, stimuler un semblable comportement chez ses collègues¹⁰ (cf. figure 3).

En somme, il est apparu que ce nid que Grassé pensait pouvoir tenir comme *la* cause suffisante du comportement des termites était en fait construit par une convergence « mécanique » tout autant que « mimétique¹¹ » des réactions circulaires ou des schèmes constructeurs des termites. Autrement dit, loin d'être le porteur d'une signification qui s'imposerait pareillement à tous les termites —selon le mode causal de l'uniformité dépeint par la figure 1a—, le nid apparaît plutôt comme le point focal d'un processus de convergence entre des schèmes comportementaux et/ou des significations qui apparaîtront d'autant plus semblables qu'ils n'auront cessé de converger, de s'assimiler réciproquement.

Mon hypothèse serait que nous avons ici une instance particulière d'un processus qu'on peut anticiper comme parfaitement général si tant est que la conception cyclique des schèmes, vaille bien, comme Piaget le défendait, pour tous les schèmes, du plus élémentaire au plus complexe. Ce qui voudrait dire que, de manière générale, les objets sur lesquels les schèmes de différents sujets viennent s'accorder ne sont pas la cause de l'accord et, qu'au contraire, ils n'accèdent à une certaine stabilité, à une apparente « autonomie » associée à un pouvoir causal non moins apparent d'où ils tirent leur *objectivité*, leur statut d'objet qu'en raison de la convergence préalable de ces schèmes les uns avec les autres —cf. fig. 1b.

Ce qui nous apparaît stable, objectif, indépendant, pourrait donc, en fait, procéder de la convergence entre schèmes incarnant une signification qui sera secondairement attribuée à ce point particulier où les cycles s'interceptent.

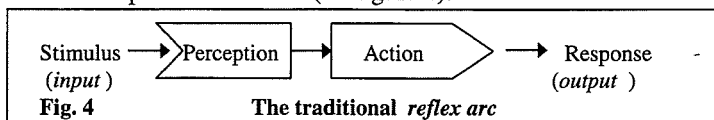
Pour être plus précis encore, on peut faire l'hypothèse (cf. Salvador 1995, 1996, 1997) que les cycles comportementaux s'accrochent exactement comme s'accrochent les cycles de la physique, de la chimie ou de la biochimie. Il est bien connu que les cycles ayant des fréquences

¹⁰Ce que Piaget appellerait « assimilation réciproque », passant sous silence que cette dernière, en raison de la nature circulaire des schèmes, s'accompagne nécessairement d'une imitation réciproque.

¹¹Étant entendu que cette forme d'imitation est elle-même mécanique —étant la manifestation du mécanisme de la réaction circulaire— et ne présente pas cette « conscience volontaire de reproduire » qu'on associe généralement, et fallacieusement, à l'imitation.

Dans l'écosystème des schèmes d'un sujet donné, ils ont de bien meilleures chances de perdurer.

A l'évidence, nous ne faisons ici que retrouver ce qui est su depuis la nuit des temps : l'objet, le symbole, l'outil, le stimulus, sur lequel s'articule le schème, sert la mémoire. Mais il n'y a, maintenant, plus rien de mystérieux dans cette fonctionnalité car nous pouvons comprendre qu'il en va de ce statut de « support de mémoire » comme de celui de « support de signification » (cf. Israël & Salvador 1999). En effet, on retrouve là le même processus attributionnel qui, coupant le cycle de l'organisation pour le linéariser, confère fallacieusement à une étape du schème le pouvoir d'évoquer l'ensemble du cycle comportemental. Tout comme en leur temps, les béhavioristes attribuaient aux stimuli un statut de cause première des réponses associées (cf. figure 4).



La dynamique attributionnelle est la même, seul diffère le point de vue. Ici, l'accent porte sur la mémoire, c'est-à-dire, sur une problématique de stabilité, de reproduction plutôt que sur le fait que ce qui est reproduit *est* un « contenu », c'est-à-dire, *est* une signification. Il y a là, simplement, deux visions d'un même processus. Autrement dit, tout comme on peut voir le schème et/ou l'organisation comme *instances* de signification, on peut les considérer comme *instances* de mémoire. On pourrait ainsi dire que ce qu'on entend par mémoire, c'est avant tout la stabilité des significations, qui procède de la reproduction des schèmes qui sous-tendent lesdites significations.

Ainsi, si l'on va au-delà de cette fallacieuse linéarisation du cycle qui accorde à l'objet, au symbole, à l'outil, au stimulus, un statut de cause première, si l'on comprend qu'ils n'ont de pouvoir d'évocation que parce qu'ils se laissent assimiler par une organisation *toujours-déjà* là, par une signification *toujours-déjà* là —dont ils sont simplement une partie intégrante qui n'a pas plus de pouvoir causal que tout autre partie du cycle¹³— on dispose d'une vision plus fonctionnelle, plus dynamique, et

¹³Je ne me lasse pas de rappeler cette évidence qui veut que dans une chaîne circulaire de processus causaux, chacune des étapes du cycle pourra manifester une incidence de 100% sur la variance de la fonctionnalité du cycle, exactement comme les différentes lattes de bois qui constituent un seau manifesteront chacune une corrélation parfaite entre leur longueur et la hauteur du niveau de l'eau qui pourra être contenue par le

peut-être aussi plus efficace puisqu'elle permettra d'aborder la problématique ô combien délicate de l'évolution des significations dans la perspective de l'évolution des organisations dont l'outillage conceptuel est plus cohérent.

Je ne ferais ici qu'effleurer cette problématique évolutionnaire à l'aide de quelques analogies déjà évoquées dans un précédent travail (Salvador 1992). Elles seront autant de conjectures que je voudrais heuristiques et qui, sans doute, mériteraient des développements plus étayés.

La première analogie cherche à bien imaginer ce en quoi l'*assimilation est une compréhension*. Elle est basée sur l'idée que la population des schèmes d'un individu donné est organisée¹⁴ tout comme peut l'être un écosystème naturel composé d'une population d'espèces différentes en interaction les unes avec les autres. Dans ce contexte, on peut imaginer le processus de la compréhension, et même de la communication, comme le transfert d'une espèce d'un écosystème à un autre. Considérons d'abord une forme vivante comme le lieu où s'accrochent et se costabilisent, d'une manière particulière et propre à l'espèce, les différents cycles écologiques (matière, énergie etc.) auxquels l'espèce appartient et qu'elle contribue à entretenir au travers de ses interactions avec l'environnement biotique et abiotique. Nous pouvons dire que l'espèce dans son ensemble, et chacun de ses membres en particulier, sont en quelque sorte compris par/dans l'écosystème. Compris parce que partie intégrante d'une organisation de cycles constituée par les différents cycles écologiques qui se coordonnent sur l'espèce en question et qui constituent sa signification autant que sa « niche » écologique. On peut alors anticiper qu'une forme vivante qui intègre un nouvel écosystème suscitera :

- soit d'importantes perturbations nécessitant des rééquilibrations ultérieures si elle diffère sérieusement des formes vivantes préexistantes (pensons à l'introduction du lapin en Australie),

- soit de minimales perturbations si tant est qu'elle vienne simplement s'insérer dans une niche préexistante, c'est-à-dire, dans un ensemble de cycles écologiques déjà « calés » sur les fonctionnalités qu'ils « attendent » de l'espèce en question.

Dans tous les cas, on pourra dire que l'espèce nouvellement intégrée aura été « comprise », assimilée, dès que l'organisation de l'écosystème aura retrouvé le niveau de cohérence, c'est-à-dire, de coordination entre les

seau, toutes choses égales par ailleurs.

¹⁴ C'est donc une organisation qui tend à se reproduire.

cycles, qui préexistait à son introduction. La « signification » de l'espèce sera alors instanciée, par l'ensemble des cycles qui seront venus se coordonner sur elle. En termes piagétiens, on dira qu'en assimilant cette forme vivante, l'écosystème a dû s'accommoder pour revenir à l'équilibre.

Imaginons maintenant une succession d'introduction d'espèces nouvelles suscitant à chaque fois de nouvelles accommodations des cycles fonctionnels de l'écosystème. Il est clair que celui-ci se trouvera en constante évolution, il s'enrichira, se complexifiera en même temps qu'il se *spécifiera*. Cela, pour autant qu'il soit en mesure de maintenir l'équilibre dynamique qui signifie le maintien de son organisation.

Bien que tout cela puisse donner lieu à des processus phylogénétiques (cf. les pinsons des Galapagos analysés par Darwin), on peut surtout y reconnaître une ontogenèse, celle de l'écosystème lui-même. Ces ontogenèses d'écosystèmes — que l'on peut observer après des destructions plus ou moins totales consécutives à des incendies ou des éruptions — présentent d'étonnantes régularités, avec un séquençement qui montre que l'image suggérée d'une introduction successive d'espèces nouvelles n'est pas une simple expérience de pensée. L'écosystème tout frais d'une île volcanique nouvellement apparue serait incapable avant longtemps d'assimiler ou de *comprendre* un carnivore comme, par exemple, le loup. Aucun équilibre avec cette forme ne sera possible tant que l'organisation écosystémique n'aura pas stabilisé les cycles et les formes à partir desquelles la forme loup pourra faire sens, c'est-à-dire, être comprise dans lesdits cycles.

Ceci nous amène à la deuxième analogie qui porte sur les processus ontogénétiques de l'embryogenèse. Ces derniers présentent, eux aussi, cette régularité, ce séquençement, et surtout cette spécification progressive des cellules et des tissus. Il devient alors extrêmement tentant d'y repérer une dynamique identique à celle évoquées dans nos précédentes analyses écosystémiques. On pourrait en effet considérer le matériel génétique comme étant *compris* dans les cycles de la machinerie enzymatique du cytoplasme cellulaire comme le sont les espèces au sein d'un écosystème donné. Ou comme le sont les stimulus, symboles, objets, outils etc. au sein de l'écosystème des schèmes d'un individu donné. De fait, comme ces derniers, le substrat génétique est bien vu comme porteur de signification autant que support de mémoire. Cette trompeuse apparence dissipée, il devient possible mettre en parallèle l'ontogenèse biologique et l'ontogenèse du sens qui s'opère dans le processus de lecture d'un texte. Et ce, sous le rapport des processus d'évolution consécutifs à l'assimilation progressive de ces « grains de cristallisation » ou d'accrochage que sont

les gènes aussi bien que les symboles. Dans un cas comme dans l'autre, il en ira comme de l'écosystème naissant qui s'assimilera progressivement, et dans un ordre relativement contraint, différentes espèces qui, tour à tour, susciteront des réorganisations qui changeront et *spécifieront* les significations de chacune —c'est-à-dire, la manière dont elles seront *comprises* dans l'organisation.

Ainsi, c'est grâce à la complexification de son organisation cellulaire et tissulaire qu'un embryon va pouvoir approfondir sa lecture du matériel génétique de manière à la rendre toujours plus spécifique, plus riche, de sorte que pourront « s'exprimer » des gènes qui restaient jusque-là « silencieux » faute d'organisation susceptible de les assimiler et donc d'en faire sens. Et de même, quand nous lisons un texte, nous nous présentons avec une anticipation de sens —une organisation préalable donc— qui se verra spécifiée, enrichie et complexifiée au fur et à mesure où la chaîne de symbole sera assimilée dans l'organisation du sens. Dans les deux-cas, il importe de bien voir qu'une organisation totipotente est toujours déjà présente à l'origine. Elle ne fait en somme que se *spécifier* par assimilation progressive des « signifiants ». Ce qui ne peut être assimilé ne fera tout simplement pas sens. Car si l'organisation —et donc la signification— préalable fait défaut, il est assez clair qu'elle ne naîtra pas du seul fait du signifiant. Elle devra d'abord être construite par différenciation et complexification progressives de significations et/ou d'organisations parentes. Bref, si un concept m'est étranger, le signifiant qui lui correspond ne m'évoquera rien, tout comme le gène qui « « règle » » la couleur des yeux ne s'exprimera pas (en tant que tel ¹⁵) avant qu'ait été constituée l'organisation anatomique, physiologique et biochimique dans laquelle il pourra prendre part, et seulement prendre part.

C'est tout cela, me semble-t-il, que Gadamer avait exprimé à sa façon :

"Quiconque veut comprendre un texte a toujours un projet. Dès qu'il se dessine un premier sens dans le texte, l'interprète anticipe un sens pour le tout. A son tour, ce premier sens ne se dessine que parce qu'on lit déjà le texte, guidé par l'attente d'un sens déterminé. C'est dans l'élaboration d'un tel projet anticipant constamment révisé il est vrai sur la base de ce qui ressort de la pénétration ultérieure du texte que consiste la compréhension de ce qui s'offre à lire" (1975:104)

Sans doute convient-il d'ajouter que les cycles biochimiques de la machinerie cellulaire comme les cycles assimilateurs des lecteurs ne sont, ni les uns, ni les autres, en prise avec les seuls « signifiants » nucléiques ou

¹⁵ Car une pléiotropie reste, bien sûr, toujours possible

imprimés. Tout au contraire, ils sont en situation permanente d'interaction / assimilation des éléments de leur environnement. Et par conséquent, leur organisation se déploiera d'une manière qui ne sera pas influencée par la seule chaîne de « signifiants ». Dès lors, bien sûr, ces derniers pourront « revêtir » des significations variables du point de vue interindividuel comme intra-individuel (diachronie). C'est comme cela que, pour ma part, je fais sens de la *différance*.

6. Conclusion

L'essence de la conception que je viens que de brosser à grands traits tient à l'idée qu'**une signification, c'est une organisation**. C'est celle que constitue le schème qui assimile ou opère sur un stimulus, un objet, un outil, un symbole etc. Le schème instancie ou incarne la signification, le signifié, le sens dont le stimulus, l'objet, l'outil ou le symbole constituent le signifiant.

Une conséquence immédiate d'une telle perspective, c'est que le signifiant cesse d'apparaître comme porteur d'une signification. Car il ne pourra signifier quoi que ce soit qu'en vertu de l'organisation — donc de la signification — préexistante qui l'assimilera.

Ce signifiant qu'on tient pour porteur de signification¹⁶ est fondamentalement neutre, et c'est précisément pour cela qu'il pourra être porteur de n'importe quelle signification qui en sera venu à se l'assimiler. Et ce, exactement comme un objet donné pourra afforder tout et n'importe quoi en fonction des schèmes qui viendront opérer dessus.

J'ai ensuite esquissé quelques analogies susceptibles d'éclairer quelque peu la difficile question de l'ontogenèse du sens. Cela s'est fait par une mise en rapport avec les processus évolutionnaires dont on peut a priori soupçonner la pertinence dès lors qu'est admise l'idée que le sens est une organisation, donc un cycle foncièrement concerné par la problématique de reproduction. L'idée essentielle ici, c'est que le sens se construit comme se construisent les écosystèmes ou les organismes, en suivant cette problématique de co-sélection ou co-stabilisation qui détermine les processus d'accrochage entre cycles. Car en s'accrochant les cycles donnent à leur organisation la *cohérence*, qui est source de stabilité, et que

¹⁶ Pour revenir à la distinction signification et sens, il me semble qu'elle traduit simplement un différentiel de stabilité ou de normativité du sens. Le plus stable des différents sens d'un mot — celui sur lequel pourrait s'opérer le consensus le plus large — correspondrait, semble-t-il, assez bien, à ce que l'on peut entendre par signification.

Gadamer avait aussi pointée au cœur du processus d'interprétation :

« la justesse de la compréhension a toujours pour critère la concordance de tous les détails avec le tout. Si cette concordance fait défaut, c'est que la compréhension fait défaut »
(1975:131)

Tout ceci, je le rappelle, est une esquisse. J'espère, toutefois, que transparait une certaine cohérence d'ensemble, malgré les nombreux points qui n'ont pas été abordés. Et par exemple, l'absence de distinction entretenue entre objet et symbole. Il me semble, cependant, que ce choix ne devrait pas créer de difficultés spéciales car, sous le rapport de la dynamique présentée, objets et symboles sont assurément invariants, assimilables. Ce qui, bien sûr, ne préjuge pas de la nécessité d'entretenir une distinction par ailleurs.

Nonobstant cette réserve, je peux bien avouer que si je devais m'atteler à penser la genèse de l'ordre symbolique, mon effort porterait encore vers le dégagement de ces invariants qui sont, me semble-t-il, l'objectif premier de toute activité scientifique. Et pour ce faire, je n'aurais, en fait, qu'à revenir à l'anthropologie girardienne (Girard 1972, 1978) qui en a proposé un modèle basé sur la *mimesis*, conçue comme tendance à l'imitation. Ce serait un retour car la dynamique d'interaction entre cycles organisationnels que je viens d'exposer a été élaborée dans la perspective de fournir un mécanisme psychologique à la *mimesis*. Il s'est avéré qu'elle était aussi entièrement conforme à la dynamique « sacrificielle » —et/ou attributionnelle— au travers de laquelle s'est constituée, selon Girard, la culture de nature symbolique qui caractérise l'humain. Ainsi, tout ce qui vient d'être exposé constitue, en définitive, une tentative de généralisation de la conception *princeps* soutenue par Girard concernant la genèse de l'ordre symbolique.

Pour finir, j'aimerais juste indiquer que le présent travail s'accorde complètement, au moins dans l'intention, avec la visée qu'avait Dilthey d'assurer à l'herméneutique le même statut que celui dont jouissent les sciences de la nature. De fait, c'est bien une naturalisation du sens qui est ici proposée.

Bibliographie

- Baldwin JM (1895/1906) *Mental development*. McMillan. New York.
Dawkins R. (1978) *The selfish gene*. Oxford University Press.
Fontana W & Schuster P (1998) Continuity in evolution: On the Nature of Transitions, *Science*, 280, 1451-1455. Voir aussi

- <http://www.tbi.univie.ac.at/~walter/>
- Gadamer HG (1975) *Vérité et méthode*. Seuil. Paris
- Gibson JJ (1979) *The Ecological Approach to Visual Perception*. LEA
- Girard R (1972) *La violence et le sacré*. Grasset. Paris.
- Girard R, Oughourlian JM & Lefort G (1978) *Des choses cachées depuis la fondation du monde*. Grasset. Paris.
- Grassé PP (1959) La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes Natalensis* et *Cubitermes sp.* La théorie de la stigmergie: essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes Sociaux*. **6**, 41-80
- Havelange V (1998) Communication personnelle. 13 Juin. Oeiras. Portugal
- Israël R, Salvador LL (en préparation) Towards cooperative organisational memory.
- Piaget J (1945) *La formation du symbole chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé. Neuchâtel.
- Salvador LL (1992) Evolution et herméneutique: vers une approche écosystémique de la cognition. *Revue Internationale de Systémique* **6** (3), 185-203
- Salvador LL (1993) Pour un relativisme interactionniste conséquent: de Piaget à Darwin et retour. *Intellectica* **16**, 101-131
- Salvador LL (1995) Swarm intelligence, collective action and imitation. Actes de l'ECCS'95 (*European Conference on Cognitive Science*), St Malo, 4-7 avril. , pp. 267-275.
- Salvador LL (1996) *Imitation et Attribution de Causalité: la genèse mimétique du soi, la genèse mimétique du réel. Application à la « psychose naissante » et à l'autisme* Thèse de Doctorat de Psychologie de l'Université Paris V.
- Salvador LL (1997) La construction de la réalité par accrochage de phase entre cycles sensorimoteurs. In *Actes du Colloque Interdisciplinaire « Les modèles de représentations : quelles alternatives ? »*. Neuchâtel, Suisse, 3-5 septembre 1997. Association Ferdinand Gonseth et Institut de la Méthode (à paraître chez Hermès)
- Uexküll J von (1935/1965) *Mondes animaux et Monde Humain*. Denoël. Paris

QUELQUES MODALITES D'APPROCHE (CONFLICTUELLES?) DU CONCEPT D'INTERPRETATION EN PSYCHANALYSE.

Marielle SOEUR

Parmi les concepts qui guident le psychanalyste dans le maniement d'une cure, l'interprétation est certainement le plus dynamique. Mise en parole d'un processus instauré par le cadre analytique, elle est non seulement le point d'aboutissement de la théorie analytique, mais traduit aussi la théorie de l'analyste, son cadre technique, et ses choix stratégiques pour contenir patient et processus. L'interprétation est donc au coeur de la théorie et de la pratique analytique. Elle se définit selon deux acceptions¹:

- Elle est d'abord le dégagement du sens latent des dires et conduites du patient originés par des fantasmes, pensées, affects non-présents dans le champ actuel de sa conscience car, désagréables ou coupables, ils sont refoulés. L'interprétation permet au patient de percevoir, ressentir, reconnaître les modalités du conflit défensif qui l'anime du fait de l'opposition entre ses exigences internes contraires. Elle vise le désir qui se formule dans toute production de l'Inconscient (rêves, actes manqués, symptômes, etc., seuls compromis capables de satisfaire ces exigences contraires).

- Ce conflit psychique non résolu, source d'une crise qui amène le patient chez l'analyste, est également réactivé dans et par le cadre de la situation analytique qui permet le déploiement du transfert, processus par lequel les désirs inconscients du patient s'actualisent sur l'analyste, et qui favorise la répétition, vécue alors avec un sentiment d'actualité marquée, de prototypes relationnels infantiles. L'installation du transfert, ses modalités, son interprétation et sa résolution caractérisent alors le travail de la cure. L'interprétation est aussi la communication que l'analyste fait au patient et qui vise à le faire accéder au sens latent de ses dires et conduites, ceci selon des règles commandées par la direction et de la cure et l'évolution du transfert.

¹ LAPLANCHE J. & PONTALIS J.-P., *Vocabulaire de la Psychanalyse*, Paris, P.U.F., 1967.

La traduction exacte de la *Deutung* ou *Bedeutung* freudienne est cependant plus proche d'*explication*, d'*éclaircissement*, de *signification* que d'*interprétation* avec la nuance subjective, arbitraire, péjorative que ce terme a souvent pour la conscience linguistique commune. Freud reconnaissait d'ailleurs la parenté existant entre l'interprétation analytique et d'autres processus mentaux où se manifeste une activité interprétative (la perception par exemple). L'interprétation peut d'ailleurs paraître subjective vu la disparité des interprétations données parfois par des analystes différents concernant un même matériel analytique. La diversité des options théoriques l'explique qui induit une approche tactique ou stratégique différente. D'autres facteurs interviennent: la personnalité de l'analyste, la position de son contre-transfert à tel moment de la cure, le niveau de son écoute, etc. Si ces raisons sont évidentes, elles restent insuffisantes, ne s'appliquent qu'à un niveau de l'activité mentale et ne prennent pas en compte un facteur essentiellement différent, opérant en amont des processus décrits pour, déjà, déterminer des choix et résoudre des alternatives: la mémoire.

En effet, l'interprétation ne peut être considérée isolément: elle est toujours l'aboutissement d'une activité spécifique qui s'étend sur une longue période. Quand l'analyste interprète, il traduit ce que dit le patient mais exploite aussi le passé de la cure et forge son avenir. L'interprétation est conservatrice: elle procède d'interprétations formulées précédemment, dans un contexte parfois éloigné, mais dont l'investissement s'est maintenu. Elle est également intolérante: quand elle advient, elle exclut toute autre interprétation éventuellement pertinente. Sous des formes différentes mais homogènes, elle évolue, gagne à chaque étape un degré de spécification élevée. Mais ce processus n'est pas régulier et, dans une cure, alternent des périodes difficilement prévisibles où l'activité interprétative s'accélère ou stagne. Parfois, une interprétation forte surgit soudain, inattendue, qui met en place une situation de crise et, en même temps, permet au patient de la surmonter. S'il s'ensuit une mutation psychique, cela ne tient pas seulement à une prise de conscience mais au fait que ce qui a été antérieurement acquis a été préservé, affermi. Pour garantir le nouveau, favorable, dynamique, l'interprétation doit donc maintenir sa fonction sélective.

En 1993, Michel De M'Uzan² résume ainsi les propriétés de l'interprétation: le hasard participe à son émergence, elle a une structure évolutive, est affectée d'une certaine contingence, est intolérante, est féconde, peut se comporter en parasite, peut progresser et assure le bon déroulement de la cure. Ces qualités montrent que son fonctionnement est soumis « à l'activité décisive qui gère le destin de la matière vivante, c'est-à-dire la sélection darwinienne (...) mise au service des instruments de pensée de l'analyste sans pour autant porter atteinte aux lois de la vie psychique établies par (la psychanalyse) ». Voir un mécanisme de sélection de type darwinien dans la construction et l'évolution de l'interprétation peut surprendre car cela situe la réflexion aux confins de disciplines dont les interprétations de l'humain sont parfois conflictuelles: la psychanalyse, les neurosciences, la biologie. Pourtant Freud se référait à ces différentes approches et le rôle que joua Darwin dans sa pensée est bien connu³.

Selon De M'Uzan, le modèle darwinien de l'interprétation est justifié par les liens unissant interprétation et construction du passé dans lesquelles la mémoire occupe une place importante: interpréter, c'est d'abord se souvenir. Quand l'analyste interprète, il se place dans une perspective historique bien particulière: il propose de nouvelles versions qui n'annulent pas les précédentes, mais s'en nourrissent, les prolongent, les remanient. Lorsqu'il associe, le patient fait de même: il mêle événements, pensées, fantasmes sans se soucier de leur chronologie, ce qui a l'avantage paradoxal d'être unificateur, de gommer certaines discontinuités, d'apporter changements, mutations, nouveautés. La chaîne interprétative se développe donc exactement comme s'élabore le passé, sur le modèle du fonctionnement de la mémoire. On perçoit alors la parenté fonctionnelle existant entre interprétation, construction du passé et mémoire, et les vues de Gérald Edelman, biologiste spécialiste des neurosciences, ne sont pas différentes des positions de Freud pour qui l'inexactitude dans l'évocation des souvenirs est un fait incontestable. Or, l'originalité des travaux d'Edelman (1978) est qu'ils appliquent une théorie darwinienne du système nerveux central au

² DE M'UZAN M., *Interprétation et mémoire*, *Revue Française de Psychanalyse*, Paris, P.U.F., 1993, n°1, pp.7-20.

³ RITVO B. L., *L'ascendant de Darwin sur Freud*, Paris, Gallimard, 1992. Ainsi, non seulement il l'évoque plus de vingt fois dans son oeuvre, mais il emporte avec lui neuf livres du célèbre naturaliste quand il émigre à Londres à la fin de sa vie.

fonctionnement de la mémoire. Selon ce darwinisme neuronal, un principe de sélection naturelle permet de comprendre, au moins en partie, comment la perception s'organise en fonction de catégories formant la base de la mémoire et de la reconnaissance. Lorsque Israël Rosenfield⁴ développe la théorie d'Edelman, il évoque l'aptitude de chaque individu à organiser son environnement présent en catégories générales ou spécifiques, cependant que ses besoins et désirs déterminent sa façon très personnelle de classer les lieux, les événements, les individus. Comme chaque individu est unique, ses perceptions sont en quelque sorte des créations et ses souvenirs font partie d'une imagination toujours en mouvement: le passé, dans sa forme première, se voit ainsi constamment annihilé et transformé.

Cette conception rejoint tout à fait la théorie analytique et André Green⁵: « Le souvenir (de) par sa nature associative n'est pas retrouvailles, il est création (... grâce) au pouvoir incessamment transformateur de l'esprit » ou Michel De M'Uzan⁶ qui voit « dans le passé la réécriture, plusieurs fois reprise, de réalités anciennes, remaniées en fonction de la situation du moment, qu'elle soit d'ordre pulsionnel, fantasmatique ou liée à l'environnement. Le présent est l'objet d'une instruction permanente, au sens juridique du terme, qui le transforme tendancieusement en passé, lequel sera à son tour commémoré et trahi. Il en va identiquement avec l'interprétation ». Cette hypothèse d'un darwinisme interprétatif me semble légitime même s'il est contestable de coupler deux raisonnements d'ordre différent: l'un métaphorique, l'autre expérimental. Mais nous retrouvons là les méthodes de chercheurs américains tel C.P.A. Pantin⁷ affirmant après R.A. Hinde⁸ que: « Les modèles en biologie sont d'autant plus prometteurs (...) qu'ils sont suffisamment concrets pour être liés aux types de mécanismes qui sont - à une étape donnée de la Science concernée - capables d'être étudiés dans les organismes, tandis qu'en même temps ils sont suffisamment abstraits pour dévoiler de nouvelles potentialités et de nouvelles relations quantitatives ». Ce modèle me paraît d'autant plus pertinent que De M'Uzan se situe toujours

⁴ ROSENFELD I., *L'invention de la mémoire*, New York, Basic Books, 1988 et Eshel, 1989.

⁵ GREEN A., La remémoration: effet de mémoire ou temporalité à l'oeuvre, *Revue Française de Psychanalyse*, Paris, P.U.F., 1990, n°4, pp.947-972.

⁶ DE M'UZAN M., op. cit.

⁷ PANTIN C.P.A., *The relations between the Sciences*, Cambridge, U.P., 1968.

⁸ HINDE R.A., *Models and analogues*, *Biology*, Cambridge, U.P.

sur le plan de la sphère mentale et respecte ainsi la thèse darwinienne contenant l'idée d'une continuité entre processus biologiques, neuroniques et psychiques. Cette continuité ne peut être que fonctionnelle vu l'hétérogénéité de ces trois registres: elle résulterait d'une activité permanente, et seul le travail d'un mécanisme sélectif opérant aussi bien à l'échelon neuronal qu'à celui du psychisme permet de la comprendre. Nous savons bien, en effet, qu'il n'existe pas d'état figé de la vie: les neurones et les synapses ne peuvent être conçus que constamment en activité, même pendant le sommeil profond⁹.

Cette thèse d'un modèle darwinien de l'interprétation analytique permet une réflexion en amont des instruments analytiques de compréhension et d'interprétation, au moment du « faire » interprétatif, au sens phénoménologique et poétique du terme. L'appareil psychique perçoit et sélectionne en permanence tout ce qui procède du monde extérieur et du monde intérieur, du jeu de leurs représentations dans les fantasmes et dans les rêves. L'activité interprétative dépendrait alors foncièrement de ce travail incessant effectué en-deça de l'Inconscient et à l'insu de l'analyste qui discernerait des émergences - au sens quasi biologique du terme - dans ce qu'il aurait plus ou moins perçu dans le discours et les comportements de son patient et qui, silencieusement, continuerait à se développer à l'écart de sa conscience pour aboutir au choix de l'interprétation formulée. Car ne peut être vraisemblablement sélectionné que ce qui, même pendant la plus brève unité de temps, a bénéficié d'un investissement perceptivo-affectif suffisant: seule condition qui permette à la fois de laisser trace et d'oublier, de refouler, puis de se remémorer.

J'évoquerai maintenant un autre modèle qui interrogera plus la notion de trace mnésique que celle de mémoire comme processus de reconstruction, re-création du passé à partir du présent. Ce modèle est celui de la crise politique, sujet d'actualité, quoique les racines étymologiques de crise, *crisis* et *crino*, figurent déjà dans les documents littéraires et historiques les plus anciens qui nous soient parvenus de la Grèce antique. Homère, Thucydide, Platon et Hésiode les ont utilisés, pour ne parler que des récits hippocratiques. Mais Darwin réapparaît déjà... En effet, le sens originel de *crisis* et *crino* était

⁹ JOUVET M., *Le sommeil et le rêve*, Paris, Ed. Odile Jacob, 1992. Nous savons bien, en effet, qu'il n'existe pas d'état figé de la vie: les neurones et les synapses ne peuvent être conçus que constamment en activité, même pendant le sommeil profond

séparer, passer au crible, examiner minutieusement, pour prendre progressivement, dans le cadre d'une certaine logique poétique, le sens de *sélectionner, juger, décider*. On constate également qu'un *dérivé de crino*, utilisé dans le sens d'évaluer, est employé pour parler de *l'interprétation des rêves* dans l'Iliade et qu'il existe un mot composé *oneirocritis* signifiant... *interprète des rêves*! C'est dire combien la notion de crise peut intéresser l'interprète des rêves qu'est le psychanalyste.

Un dictionnaire courant de sciences politiques¹⁰ dit que: « La notion de crise connote l'idée de perturbation, de dysfonctionnement dans le fonctionnement routinier d'un système ou le déroulement d'un processus. Une rupture d'équilibre provoque une certaine dramatisation ». Une crise se caractérise donc par l'occurrence d'un certain nombre de faits éruptifs et, indissociablement par les réactions que ces faits suscitent ou empêchent. Elle se déclare en premier lieu par le brusque changement de regard auquel elle oblige, par les tensions inhabituelles qu'elle engendre, et par une reconcentration de l'attention qui mobilise simultanément une certaine forme d'anxiété, voire d'angoisse. Cette rupture est d'abord et avant tout ressentie, non de façon passagère et éphémère, mais effective et réactive, même si les manifestations de ce qu'on appellera, toujours après-coup, « crise » peuvent être en un premier temps sous évaluées. Mais si elle ne fait pas immédiatement ou rapidement l'objet d'une identification de ses signes initiaux, préalable à un jugement, l'incident-symptôme risque de se transformer en inducteur d'une perturbation beaucoup plus grande.

Dans tous les cas, cette rupture d'équilibre provoque une tension qui appelle une certaine dramatisation, appel qui peut précipiter la crise ou l'amplifier s'il n'est pas entendu ou si, entendu, il fait l'objet d'une erreur de jugement, d'interprétation. Or il existe un point commun entre une crise politique non ou mal résolue et une crise psychique: elles réveillent toujours les traces mnésiques de traumatismes antérieurs et provoquent une sorte de retraumatisation d'une ampleur souvent insoupçonnable. T. Scokpol¹¹ remarque que si la crise dure (ou se répète) et devient état de crise, elle perd son aspect révolutionnaire-espérantiel pour s'assimiler à une mort lente et contagieuse, entraînant le pourrissement des sociétés: la crise révolutionnaire

¹⁰ HERNET G., BADIE B., BIRNBAUM P., BRAUD P., *Dictionnaire de la science politique et des institutions politiques*, Paris, Armand Collin, 1994.

¹¹ SCOKPOL T., *Etats et révolutions sociales*, Paris, Fayard, 1985.

devient alors impossible et l'acte réformiste est toujours en retard sur les maux qu'il prétend guérir.

Sur le plan psychologique, les situations de crise auxquelles séparations, pertes, périodes de changement biologique ou social servent de prototypes, ont un effet désorganisateur¹² sur les moyens habituellement utilisés par l'individu pour faire face aux stimuli intérieurs et extérieurs, et pour résoudre ses problèmes, conscients ou inconscients. Or, tous les psychanalystes s'accordent sur le travail exigé afin que l'appareil psychique puisse traiter les excitations internes et externes qui l'assaillent et qui sont source de conflits psychiques, sinon la voie est ouverte aux maladies psychiques ou somatiques. La « crise » malade se présente donc comme une réaction à l'emprise d'une situation qui est refus d'un conflit ou incapacité de l'affronter. Et si toute crise est caractérisée par une oscillation entre des mouvements pouvant ramener vers l'homéostasie et des mouvements poussant vers la dissipation, l'ampleur et la gravité de ces derniers est à évaluer dans la trajectoire de chaque cas. Ce jugement concerne le vécu du sujet en crise et/ou de celui qui l'observe, dans la mesure où l'un et l'autre sont en mesure de savoir si l'unité psychique et/ou somatique du sujet en crise peut supporter celle-ci, l'absorber ou en être débordée.

Or, qu'il en ait plus ou moins conscience, c'est une situation de crise qui amène le sujet à consulter un analyste, ce qui indique un mouvement de mobilisation désorganisatrice face à l'impossibilité renouvelée de résoudre un problème. Mais ce mouvement témoigne, en même temps, de la recherche d'une réorganisation grâce à l'intégration d'éléments nouveaux qui permettraient de redistribuer différemment les rapports existant entre les divers aspects du conflit, car la crise découle d'une situation de conflit et représente aussi la tentative de la résoudre. L'analyste doit alors estimer, dès la première rencontre, si les réponses doivent être prises dans l'urgence inscrite dans le modèle de la crise, et mesurer si l'urgence ne risque pas d'obscurcir, de compromettre, d'annihiler d'autres possibilités et modes d'approche plus satisfaisants et opérants selon les dimensions mêmes impliquées dans la crise car, pour angoissante qu'elle soit, une crise peut aussi formidablement mobiliser et servir les forces de vie.

Mais parler de conflit et de crise nécessite d'évoquer la stratégie interprétative de l'analyste confronté aux résistances du patient, c'est-à-dire

¹² CAPLAN G., *Principes of preventive psychiatry*, New York, Basic Books, 1964.

ce qui, dans ses actions ou ses paroles, s'oppose à ce qu'il accède à son Inconscient. Cette perspective stratégique permet de repérer deux temps dans l'interprétation, même si dans la pratique ils ne peuvent être saisis et isolés qu'après-coup. Dans le premier temps, l'interprétation est surtout contenante, compréhensive, colle au fonctionnement du patient et le soutient contre un effondrement ou une répétition traumatique. Dans le second temps, elle réintroduit un certain quantum de crise afin de déstabiliser la répétition installée dans le transfert. Mais dans tous les cas, l'interprétation doit être complexe, multiple, et comporter plusieurs versions possibles. De plus, analyste et patient doivent accéder à l'incertitude de l'interprétation, à sa mise en question systématique, seules attitudes garante de dynamisme psychique et de vie. L'incertitude dont je parle ne concerne pas l'effet de l'interprétation: l'atténuation de la souffrance du patient, la disparition de ses symptômes, son plaisir retrouvé à vivre prouvent à l'analyste que son interprétation est thérapeutiquement exacte. Mais elle renvoie à la notion de temporalité inhérente à la condition humaine.

En effet, en fonction de son expérience, des avancées de la psychanalyse et/ou d'autres disciplines, de l'évolution de la société, de sa propre dimension personnelle inévitablement remaniée par les événements de la vie, l'analyste interprétera-t-il à l'avenir de la même façon dans une situation analogue? En fonction de ce qu'il découvrira encore de lui, de son histoire qu'il comprendra différemment au cours de sa vie, le patient ne verra-t-il pas d'autres dimensions alors insoupçonnées dans telle interprétation, tel moment de sa cure? Quel regard porteront plus tard, analyste et patient, sur cette cure en particulier, sur la psychanalyse en général? Comment interpréteront-ils les traces mnésiques qu'ils auront sélectionnées, chacun de leur place, pour se remémorer l'histoire de la cure? Dans toute science, même dite « exacte », nous savons que les vérités scientifiques d'une époque peuvent se voir ultérieurement démenties, ou qu'une interprétation d'abord violemment rejetée peut être reconsidérée d'une façon tout à fait différente en regard de nouvelles découvertes. Approcher l'interprétation en psychanalyse selon le modèle darwinien et celui de la crise politique montrent combien une activité psychique permanente sous-tend le travail élaboratif de l'analyste mis en tension par le matériel à sélectionner pour en garder trace, avant de l'oublier et afin de mieux se le remémorer, c'est-à-dire comme il faut, quand il faut.

Mais il est difficile de comprendre les raisons de l'efficacité d'une interprétation analytique si on ne prend pas en compte le choix de la forme et le contenu non verbal inévitablement liés à l'acte de parole. L'analyste doit en effet s'adapter, dans sa formulation interprétative, à la structure du patient, tout en cherchant progressivement à dénouer la compulsion de répétition qui lui est propre. En général, l'analyste interprète avec modération et seulement quand la parole du patient se bloque, dans les affects ou le transfert, ou quand ses associations sont prisonnières de la compulsion de répétition et de la résistance. Mais avec des patients narcissiquement plus fragiles ou plus régressés, qui n'ont pas une capacité de contenance mentale suffisante, le langage n'est pas toujours efficient car soit ils absorbent toutes les interprétations sans en saisir le sens, soit ils ne les supportent pas, souvent pas plus que le silence d'ailleurs: il convient alors de se préoccuper davantage du contenant et de la forme de l'interprétation que de son contenu et de son sens.

- Dans ce cas, la répétition ou le résumé des propos du patient par l'analyste lui montre que l'analyste est présent, l'a entendu, l'a compris. Ce type d'interprétation a pour but de contenir le matériel et les angoisses apportés par le patient, de lui fournir un cadre pare-excitant, de le protéger de la reviviscence d'un état traumatique. L'analyste peut aussi user de généralités ou d'explications théoriques pour traduire dans une expression moins crue, moins violente, les propos du patient. Cette visée calmante est en principe assurée par le silence et l'écoute de l'analyste. Mais chez les patients qui vivent le silence comme un vide ou un abandon, l'analyste doit assurer une présence apaisante verbale: le ton, le rythme, la musicalité de sa voix sont alors importants.

- La reprise interrogative d'un mot ou d'une séquence de matériel apporté par le patient, un « ah? », un « vraiment? », un simple « mmh? » sont des interprétations d'ouverture: elles invitent à aller au-delà du sens banalisé par la répétition et sont aussi une manière de déstabiliser une rationalisation défensive bloquant l'émergence d'un matériel sous-jacent.

- L'interprétation proprement dite, généralement brève, condensée, assez souvent dotée d'un petit côté théâtral, attire l'attention du patient sur ce qu'il refuse de reconnaître, ou pointe la fausse identité attribuée à l'analyste par le jeu du transfert. Elle a un certain effet désintégrant provisoire car démasque en quelque sorte le système défensif du patient, d'où sa valeur mutative.

- Enfin l'interprétation-construction vise à reconstruire l'histoire infantile du patient malgré des approximations et lacunes inévitables. Cette

reconstruction d'une histoire plus nuancée comporte souvent plusieurs versions possibles du même événement car c'est en effet le gage d'une analyse réussie que d'avoir pu parcourir ainsi le champ des possibles et d'avoir rendu au patient une fluidité psychique plus grande et une scène représentative plus vaste.

François Duparc a montré récemment¹³ combien il était important qu'existent différentes structures formelles d'interprétation, un seul mode d'interprétation risquant de prolonger l'aliénation dans un destin fixé d'avance ou de proposer une autre aliénation. Il compare ces différentes catégories d'interprétation aux structures catastrophiques de René Thom¹⁴ qui a décrit des structures mathématiques formelles, à forte valeur métaphorique, et qu'il espère, pour cette raison, être applicables aux domaines non prédictibles de l'univers matériel, voire aux évolutions dynamiques des sociétés et du vivant. Or, en apportant un certain quantum de crise, les interprétations mutatives ne sont-elles pas aussi des sortes de catastrophes qui précipitent le changement d'une structure à l'autre, tout en obéissant à des lois formelles?

Mon interprétation comportant plusieurs versions possibles de l'articulation interprétation/conflit apportera-t-elle un certain quantum de crise? Sera-t-elle mutative? Au terme de ce voyage sur les rives de la psychanalyse, des neurosciences, de la biologie, de la phénoménologie, de la poétique, de l'étymologie, des lettres et de l'histoire de la Grèce antique, de la politique et des mathématiques, je ne sais pas si je me suis aventurée au bord d'un abîme séparant ces diverses disciplines, si j'ai traversé quelques ponts pouvant leur permettre de se rencontrer, ou si j'ai indiqué quelques alternatives lourdes d'implications philosophiques. Mais fidèle à la démarche analytique qui veut qu'il faille prendre du temps pour trouver un sens à ses symptômes, à sa souffrance, à ses désirs, à sa vie, j'ai pris le temps de cheminer un peu comme une interprétation analytique. Et comme un proverbe talmud dit que « Quand on est monté sur un tigre, on ne s'arrête pas comme on veut », je me suis demandée pourquoi ces journées de Rochebrune nous amenaient à monter... en altitude. J'ai interprété les choses ainsi... Être plus près du firmament nous rappelle que nous communiquons avec l'étoile la plus

¹³ DUPARC F., *L'élaboration en psychanalyse*, Paris, L'Esprit du Temps, collection Perspectives psychanalytiques, 1998.

¹⁴ THOM R., *Paraboles et catastrophes*, Paris, Flammarion, 1983.

proche de nous par les signes émis par sa lumière, lesquels datent du Moyen-Age. De la même manière, des théories éloignées de la nôtre émettent des signaux permettant d'interroger notre propre discipline afin qu'elle évolue, au-delà de nos inévitables différences, divergences, conflits et interprétations. Aussi continuerai-je à mettre en question les réflexions émises lors de ces journées, dussent-elles entrer en conflit. Car conflits d'interprétation et interprétation des conflits sont non seulement garants de la rigueur de la démarche scientifique, de sa déontologie et de son éthique, mais aussi de la vie psychique, toute élaboration et tout résultat ne pouvant être valides qu'à ce prix. Cette mise en question ne pourra durer que... le temps qu'il faudra, car la démarche analytique nous apprend non seulement la nécessité et le plaisir d'un travail psychique incessant mais aussi à prendre le temps de retrouver le sens du temps à une époque où tout s'accélère.

Interprétation d'images satellitaires et acquisition de connaissances

Christiane Weber

Laboratoire Image et Ville (CNRS) / UFR de Géographie/ ULP

Strasbourg

chris@lorraine.u-strasbg.fr

Introduction

La prise en compte des éléments qui nous entourent et donc des actions s'y rapportant, ne peut se faire, sans que le processus d'acquisition de connaissances ne soit sollicité. Celui-ci est induit par un mécanisme d'appréhension, de confrontation et de compréhension des informations qui parviennent à l'individu. L'homme dans un univers inconnu se retrouverait particulièrement démuné, car privé des repères qu'il s'est forgés ou appropriés. La représentation de l'espace a fourni des clés essentielles à son existence et à sa pérennité.

L'homme a très vite cadastré l'espace pour des besoins de production ou de rente foncière ; les portulans ont fixé les limites des terres émergées et des routes maritimes ; les photographies aériennes ont introduit la troisième dimension du paysage par la stéréoscopie ; l'image satellite a facilité les dernières conquêtes rendant accessibles des confins désertiques ou des sommets encore exempts de records. La représentation de l'espace a, de tout temps, permis un repérage, une localisation relative ou absolue, une topologie et une iconographie des lieux.

Cependant comme toute information, celle-ci n'est pas totalement neutre, elle ne correspond qu'à une réalisation datée d'une réalité dynamique. Réalisation dans laquelle intervient plus ou moins le concepteur d'une telle représentation. La contingence téléonomique de l'interprétation est dans ce cas un élément essentiel du processus d'acquisition de connaissances. D'elle va dépendre les choix faits sur l'information initiale (pour notre propos l'image satellite), les traitements appliqués, le rendu iconographique. Les arbitrages faits sont parfois tributaires d'éléments très prosaïques : moyens

financiers, existence, date ou types des images ou encore moyens de traitements. Mais ils peuvent aussi être plus subtils, lorsqu'il s'agit de fournir un document de référence pour une prise de décision politique ou une vérification financière comme c'est le cas dans le cadre des subventions agricoles européennes. L'engagement du concepteur, qui n'est pas forcément l'utilisateur, est ainsi primordial dans le processus, car des choix opérés, il va extraire un état possible de la réalité pour des actions qui ne dépendent pas nécessairement de lui. L'interprétation du besoin ou de l'attente de l'utilisateur et celle de la représentation obtenue lui incombe. Dans notre propos il ne sera évoqué que la situation du concepteur-interprète-utilisateur.

1. Image satellite : des valeurs numériques à l'information

Placer l'information satellitale dans un tel processus et comprendre les mécanismes par lesquels elle devient information communiquée, requiert l'étude à la fois de la transformation du flux électromagnétique capté en information, et des moyens par lesquels celle-ci devient intelligible et donc disponible. Comment les énergies captées se transforment-elles en "information" ? Par quels processus deviennent-elles des images chargées de sens ? Comment par leur diffusion participent-elles à la "constitution d'une conscience collective" (Moles, 1973) au sein de la société ?

La transformation des énergies captées en information manipulable et donc interprétable peut s'analyser en fonction de différentes étapes, depuis la détection des valeurs électromagnétiques jusqu'à l'obtention d'une matrice de valeurs numériques enregistrées sur un support stable.

A ce niveau, selon les objectifs des utilisateurs et les finalités envisagées, les valeurs numériques deviennent "données" manipulables, interprétables contribuant à l'avancement de la réflexion, à la résolution de problèmes ou à l'établissement de réponses potentielles. L'intérêt de cette source d'information réside dans sa richesse radiométrique ou spatiale, l'étendue spatiale de la zone couverte, la répétitivité des prises de vue et la flexibilité des traitements possibles. La stabilité de l'information assure en plus une pérennité des résultats si le protocole méthodologique est connu.

Le passage entre valeurs codées et information pertinente s'articule essentiellement autour de l'utilisateur-concepteur et de ses objectifs. Impliqué depuis le simple déchiffrement à la production du "sens" qu'il y voit, il va en déterminer la clarté, l'exactitude et l'usage.

La clarté accordée à la représentation doit permettre un déchiffrement des éléments significatifs mais aussi de leurs relations. Ainsi il sera important par exemple de bien définir s'il s'agit de formes particulières ou non, géométriques ou non, ayant des relations établies ou à décrypter. L'exactitude revêt un problème tout aussi délicat, elle peut résider dans la métrique et/ou dans la typologie. Au niveau de la métrique, la représentation va dépendre de l'information initiale mais aussi de l'utilisateur. Qu'est une information erronée pour lui ? S'il accepte ou non une généralisation graphique alors la métrique devra se conformer à un écart-type donné. S'il demande une représentation très fine par types d'occupation du sol, alors c'est la typologie qui devra être très fouillée. En fait ceci est largement tributaire de la finalité de la représentation obtenue. Si des surfaces doivent être calculées, alors la métrique doit être privilégiée ; s'il s'agit plutôt d'obtenir une vision globale de la couverture d'occupation du sol en vue de l'établissement d'un Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme, la typologie n'aura pas besoin d'être très détaillée, l'échelle utilisée ne nécessitera pas une exactitude très grande (1/50 000^e et plus). Ces choix parfois conflictuels conditionnent la suite des étapes nécessaires à l'interprétation. Ils vont aussi occasionner l'utilisation de méthodes plus ou moins sophistiquées pour améliorer les résultats.

1.1 Déchiffrer la réalité fournie par l'image

Déchiffrer la réalité, à travers l'image fixe visualisée ne peut se faire que si les effets dus aux conditions de prises de vues (anomalies, bruit) sont diminués ou éliminés. Le signal obtenu par transformation de l'onde électromagnétique réfléchi par les éléments au sol dépend des conditions de traversée de l'atmosphère et de prises de vue du point de vue technique. Les fenêtres d'absorption de l'atmosphère ne laissent passer le signal que dans quelques longueurs d'ondes bien précises, ce qui influence les caractéristiques des capteurs, ceci entraîne les spécificités des canaux utilisés, chacun correspondant aux valeurs obtenues pour une longueur d'onde. Les caractéristiques climatiques et spatio-temporelles de la surface jouent aussi

beaucoup. Ainsi un temps brumeux ou un air saturé d'aérosols influencera le signal capté, tout comme une capacité de rétention d'eau dans les couches superficielles du sol. Le temps quelques jours avant le passage du satellite, peut ainsi modifier les caractéristiques associées à un substrat.

L'image est ainsi déterminée par les capteurs utilisés (résolution spectrale) mais aussi par la finesse du découpage radiométrique de la surface visée au sol (résolution spatiale). En effet, les capteurs fournissent des gammes de résolution spatiale allant du kilomètre au décimètre, et bientôt seront infra-métrique pour des utilisations civiles. Il est évident que les informations associées seront plus ou moins généralisées au départ, et de ce fait plus ou moins adaptées aux besoins des utilisateurs. Pour la prévision météorologique, des pixels de 1km de côté sont suffisants ; pour de l'analyse urbaine, 10m de côté n'est pas toujours opérationnel.

Si l'on considère que l'image satellite, en tant qu'information isomorphe perçue immédiatement, reproduit à peu près la réalité, il faut surtout retenir qu'elle ne représente qu'un état possible de la réalité. Cette représentation, qui intègre la notion de permanence en tant qu'élément statique, s'avère quelque peu illusoire.

- D'une part, car le caractère non univoque entre réalité et apparence rend délicat toute décision arbitraire de classification. Ainsi, rien ne ressemble plus à du bâti que des berges empierrées et il est fréquent de séparer des bâtiments urbanistiquement et fonctionnellement similaires à cause du type de matériel de toiture utilisé (ardoise, tuiles ou autre). Si ces variations permettent de dissocier des zones urbaines selon les techniques et donc les dates de construction, elles peuvent aussi poser quelques problèmes d'interprétation.
- D'autre part, car la représentation est celle d'une réalité fondamentalement éphémère, puisque variant en fonction des modifications de surface. Le stade phénologique de la végétation, les conditions climatiques et pédologiques, la cinétique des lieux participent à cette dynamique figée au travers de l'image, qu'il est nécessaire de reconstituer pour l'interpréter.

Il est évident que les choix opérés pour faciliter la perception immédiate de la représentation et son interprétation vont être déterminants pour la suite des étapes d'acquisition de connaissances.

1.2 Des options méthodologiques

Plusieurs étapes sont discernables dans le déchiffrement d'une image satellite. Tout d'abord la prise de contact et la caractérisation des traits spécifiques. Rehaussement de contrastes, visualisation colorée (vraie ou fausse couleur), extraction de gradients, homogénéisation des valeurs permettent souvent de mieux déchiffrer l'image avant tout traitement fondé sur le sens associé aux signatures spectrales liées à tel ou tel canal. Ces vues médiantes facilitent la prise en compte des éléments significatifs par leur localisation, leur répétition et leur agencement. La structure créée fournit une première clé de compréhension du paysage représenté (en tant que construction intellectuelle à partir d'éléments). Des indices fondés sur des ratios de canaux, permettent de faire ressortir les variations de la végétation ou de l'albédo d'un lieu, offrant ainsi d'autres indications spatialisées.

La seconde étape consiste à exploiter la richesse spatiale et spectrale d'une image. Il existe en gros deux approches complémentaires pour aborder une image satellite : l'une favorise l'émergence des formes et des contours, l'autre l'apparition de zones. La combinaison des résultats conduit à des solutions plus riches. Extraire les contours nécessite des traitements œuvrant plus sur l'agencement des éléments, leur répétition, leur localisation. L'extraction de réseaux, la fermeture de formes par approche de morphologie mathématique ou de segmentation requiert l'utilisation d'algorithmes plus ou moins sophistiqués. Cela dit la complexité d'une image rend délicates ces applications. La caractérisation de zones en fonction des données radiométriques par exploitation de traitements statistiques multivariés (classification non-supervisées ou supervisées), avec ajout de plus ou moins "d'intelligence" (utilisation de systèmes expert, de réseaux de neurones, de combinaisons) répond le plus souvent à l'attente des utilisateurs. Cependant l'espace est ici considéré comme pseudo-continu et traité à partir des pixels alors qu'un espace segmenté (avec pertinence pour l'utilisateur) pourrait s'avérer plus efficace.

Les conflits peuvent être associés à différents points. Les choix méthodologiques qui enferment quelque peu les résultats dans une boucle d'irréversibilité (à moins de tout recommencer) ; traiter les aspects spatiaux impliquent de facto que l'on relègue les spécificités physiques des lieux, et que l'on réfléchisse en terme de seuils ou de valeurs binaires sur des formes géométriques, il y a là un gain de sens des phénomènes spatialement

distinctifs mais perte de la richesse radiométrique. A contrario, se fixer une typologie et axer les traitements sur les valeurs numériques revient très souvent à ne pas tenir compte des liens spatiaux entre les éléments associant les arrangements plus par proximité que par réelle contiguïté.

Les conflits d'interprétation proviendront des résultats obtenus soit par rejet de la solution offerte : une parcelle de sol nu au milieu d'un paysage agricole ne peut selon sa taille mais aussi sa localisation et son environnement être classée en urbain dense par exemple ; soit par questionnement sur le résultat rendant la visite de terrain nécessaire : une surface ayant une forte réflexivité dans le canal réagissant à l'eau et aussi dans celui de la végétation par exemple peut être considérée comme une zone inondable cultivée, une roselière, une terre agricole aux spécificités particulières (marais asséchés par exemple) ; soit par remise en question des paramètres méthodologiques choisis : très souvent la taille des fenêtres de filtre ou le seuil de dissociation des valeurs se définissent empiriquement selon l'expérience du concepteur, ce qui entraîne parfois un schéma essai-erreur.

La dernière étape consiste à fournir un résultat, une représentation de la réalité tenant compte des choix successifs qui ont été pris et de la finalité envisagée. Cette phase repose sur l'adéquation entre les contraintes téléonomiques et l'interprétation de l'information faite par le concepteur-utilisateur. On peut considérer que l'on se trouve dans le même contexte que celui du processus de communication cartographique. Il y a un message à faire passer et cela va dépendre des mondes du concepteur et de l'utilisateur. Le premier va tenter en fonction de l'information initiale de répondre aux besoins émis par le second, qui lui va essayer de retrouver dans le produit les informations qu'il a pressenties ou qu'il attend sous une forme déterminée. Si le chevauchement de ces deux mondes est important alors le résultat aura une utilité réelle.

2. L'interprétation d'image

L'image n'enregistre pas uniquement le monde, elle l'éveille, en fixant une portion de la surface selon ses dimensions spatio-temporelles. La vision à distance peut être considérée comme un révélateur de situations susceptibles d'engendrer le raisonnement, de susciter un autre regard.

Les caractéristiques de l'image satellitale sont sensiblement les mêmes que pour tout autre support d'information iconographique :

- le degré figuratif, qui correspond à l'exactitude de la représentation en fonction de la connaissance intuitive de la réalité et de la latitude à l'erreur acceptée ;
- le degré d'iconicité, qui va aider la perception visuelle de l'image et donc son déchiffrement à travers un processus de schématisation.

Ces deux caractéristiques vont intervenir dans l'interprétation. En premier lieu, une image à haut degré figuratif fournit une interprétation aisée car elle est proche de la connaissance intuitive de l'interprète. Une image composée avec trois canaux, représentée en vraie couleur (la végétation en vert) est sensiblement plus compréhensible pour un néophyte.

Du réalisme avec lequel l'image satellitale va coïncider à la réalité et des capacités de l'utilisateur à en percevoir les éléments (donc du degré d'iconicité) va dépendre l'appréhension de son contenu informationnel. Contrairement à une carte toujours plus ou moins schématisée et généralisée, une image reste un média cohérent avec la réalité (sauf gradient spécifique ou disparition de tout repère spatial comme les cours d'eau par exemple). D'une composition colorée à un résultat de classification, la sophistication introduite par le concepteur n'entraîne pas vraiment de bouleversement à condition que la typologie employée est un sens par rapport à la réalité et que les éléments de reconnaissance choisis (légende) correspondent aux schémas des utilisateurs. Une autre source de conflit intervient ici celle des schémas d'interprétation fixés soit par l'utilisateur, soit par le sens commun. Dans le premier cas, on s'aperçoit que la méconnaissance des caractéristiques du signal réfléchi entraîne souvent des demandes de résultats peu réalistes si l'on ne fait pas appel à des sources de données exogènes. Les nomenclatures fixées pour des usages urbanistiques ou environnementaux ne peuvent s'appliquer sans transformations aux produits satellites, surtout si l'on entrevoit des traitements semi- ou tout automatiques. Il s'agit là d'une nécessaire évolution de la connaissance de la source d'information mais aussi d'une appréciation collective (concepteur et utilisateur) du produit à élaborer en fonction de limites reconnues. Dans le second, il s'agit plus de schéma d'acculturation ou de sens commun. Colorer une mer en rouge, par exemple, ne coïncide pas avec les schémas éducatifs de la plupart des individus. La vision de la réalité ne s'applique pas toujours harmonieusement avec les principes de la mesure. Par exemple les sommets sont en général colorés en blanc, or il s'agit des valeurs d'altitude les plus élevées. Mais en général en

cartographie, on passe d'une densité de couleur faible à une densité foncée à mesure que les valeurs augmentent, il faudrait donc aller à l'encontre du sens commun (qui y associe le manteau neigeux) et représenter les sommets en couleur foncée.

2.1 Eléments de compréhension d'une image

La complexité liée à l'image indépendamment du nombre de ses éléments va dépendre des agencements, des motifs qui apparaissent en son sein. Ces agrégats particuliers se discernent en fonction de plusieurs qualités liées à la forme et à l'apparence : la position, les contours, l'intensité, le contraste, la concentration et enfin la couleur. Dans une composition colorée ou un néo-canal de gradient ce qui va compter sera défini par ces qualités. C'est par opposition dialectique entre la forme révélée se détachant du fond et son contenu limité par son contour que les éléments existent. Les formes naissent à la faveur du passage entre continuités et discontinuités plus ou moins nettes au travers de transitions graduelles. Il faut souligner cependant que la relation entre la réalité et son image n'est cohérente qu'en fonction d'une échelle et l'œil humain ne peut détecter des formes inférieures à 0,2 mm en longueur et 0,3 mm² en surface (IFHP-CRU, 1972). Selon les finalités fixées, les traitements seront toujours associés à une échelle d'analyse, qui peut selon le cas, être différente de celle requise pour le résultat final. Dans un premier temps, les éléments non identifiés mais localisés vont fournir un canevas de compréhension suscitant des clés d'interprétation.

L'évolution du contenu informationnel de l'image satellite va ensuite dépendre des objectifs de l'utilisateur. Selon qu'il considère l'information au niveau global (délimitation de la zone urbaine) ou local (extraction des zones résidentielles ou des espaces verts) les orientations méthodologiques et des processus d'exploitation vont différer. Différents niveaux d'observation peuvent être individualisés en fonction de la résolution spatiale de l'image initiale ou des traitements spécifiques utilisés (multirésolution).

D'une image strictement dénotative (dont la signification est évidente) une information sémiotique plus claire peut surgir, pour laquelle l'aspect connotatif devient prédominant. Un réseau ferré aidera à la compréhension des surfaces contiguës réfléchissantes comme du bâti résidentiel. Il sera possible de les caractériser par rapport à leur finalité et non pas par leur état.

En acquérant du sens, l'image satellite instruit l'observateur sur la réalité étudiée par le biais de la compréhension des arrangements spatiaux discernés et de celle de leurs caractéristiques associés. L'habitat collectif émergera d'une succession de barres alignées selon un réseau routier, dont la forme (élément et ombre) permet d'avoir une idée de la masse et de l'emprise au sol, voire de la taille et la détermination du type de zone résidentielle.

Les agencements distingués par l'être humain lorsqu'il entrevoit l'ordre et non pas l'aléatoire des formes, notamment au sein d'une image, ne sont décelables que dans la mesure où il peut y attacher des références, des repères culturels ou professionnels, qui lui facilitent l'identification. Des exemples de conflits d'interprétation peuvent être relevés lorsque on effectue une première visualisation de la zone.

Si certains matériaux utilisés pour la construction sont très proches ou correspondent aux éléments alentours (terre, pierre...) il est souvent délicat de classer des formes d'habitat spécifiques. De même des matériaux comme le verre teinté peut aussi amener à de fausses interprétations comme se fut le cas pour les toits des anciens entrepôts de la compagnie des transports collectifs de Strasbourg. Enfin la proximité radiométrique entre deux types d'éléments comme l'eau et l'ombre peut perturber l'interprétation, notamment en milieu urbain, surtout lorsque l'ombre correspond à un bâtiment élevé. L'ombre de la cathédrale de Strasbourg a surpris bien des fois localisant un point d'eau au centre ville. Des repères et des références sont ainsi nécessaires pour diminuer les risques de conflits d'interprétation, bien que ceci ne soit pas toujours aisé. Des rizières à proximité du centre ville sont étonnantes pour un occidental mais pas pour un chinois ou un vietnamien pour qui l'habitat et l'agriculture ont des liens spatiaux encore très enchevêtrés. Bien des exemples associés aux particularités culturelles de la zone d'étude peuvent ainsi surprendre et être relevés.

La perception visuelle permet de construire un ensemble de formes reconnaissables à partir d'éléments connus séparément. Cette construction de l'interprétation est assujettie aux règles intrinsèques associées par l'individu aux éléments (un bâtiment doit avoir une forme géométrique) qui permettent de les replacer dans leur contexte spatial, et à celles qui régissent leur représentation (un bâtiment est relié à un réseau). Ces activités de hiérarchisation, d'ordonnement, de réduction de la complexité des éléments semblent tributaires de la "force des formes" (Boutot, 1993)

discernées au sein de l'image, par rapport à leur contenu, bien entendu, et à l'accoutumance culturelle de l'utilisateur-concepteur. La perception d'un paysage inconnu n'est guère aisée et nécessite de pouvoir disposer de renseignements complémentaires à l'image, afin de restituer l'analyse dans un contexte plus étoffé fournissant quelques repères.

Cet aspect connotatif est manifestement important au sein du processus d'intégration. Si les capacités individuelles de compréhension sont contraintes par les limites d'appréhension propres à chacun, elles sont aussi déterminées par son milieu socioculturel et technologique. L'image en tant que représentation d'un état d'une réalité est aussi le reflet de l'évolution associé à cet état. Des images satellites de la période romaine nous auraient donné des observations sur des villes au plan circulaire, sans structures défensives avec des réseaux de liaisons pavés et fourni. Le même site plus tard aurait certainement changé à la fois de morphologie et de spécificités de bâti, actuellement les structures dominantes (portes d'entrée, enceintes...) seraient démolies ou intégrées au tissu avec ou sans réutilisation (comme c'est le cas dans beaucoup de villes méditerranéennes). Le milieu socio-culturel et technologique du concepteur-interprète est sans doute aussi un élément important dans l'interprétation et l'élaboration de la représentation finale.

2.2. De l'interprétation à la compréhension

Distinguer des éléments, des formes, correspond à une activité d'abstraction et de sélection. Cette aptitude permet d'échapper au fractionnement spatial des éléments, en aiguisant la prévision des relations et les facultés d'intuition. Ce processus de construction de relations permet de " lire entre les signes " de passer du déchiffrement à la compréhension. Cette action de codage-décodage du message informationnel en fonction de références culturelles et individuelles constitue la dernière étape de ce processus d'acquisition des connaissances.

L'information satellite affiche ici sa double identité. Elle participe à deux aspects d'un même ensemble :

- la constitution de connaissance qui permet de combler les besoins de connaissance plus ou moins bien identifiés sur un espace ;

- l'organisation – création qui participe à l'enrichissement qualitatif de l'espace considéré. Elle favorise l'émergence de nouvelles réflexions, de nouvelles idées dont elle facilite la diffusion.

Ainsi au-delà de la reconnaissance d'éléments visualisés, ce qui est intéressant réside dans la possibilité de détecter des éléments surprenants par leur localisation, leur forme ou leur association, voire des structures sous-jacentes qui ne sont pas données *a priori*. L'interprétation d'une image satellite est fondée sur l'identification d'arrangements qui permettent d'ordonner l'espace visualisé. Ce processus tient compte de la probabilité d'apparition d'éléments ou de groupes d'éléments. La compréhension est considérée comme l'étape génératrice de connaissances. L'utilisateur-concepteur de l'image est à ce stade en mesure d'analyser les éléments qu'il a repéré et de faire des liens et des confrontations avec la réalité, confrontations qui vont infirmer ou confirmer les hypothèses de travail émises. Pour cela il va rendre de plus en plus complexe l'écheveau des relations entre les formes qui apparaissent au fur et à mesure de l'analyse d'image. Les structures décelables au sein de l'image vont être déchiffrées non plus en termes d'agencements d'éléments mais en termes de relations diverses : relations d'ordre (antériorité postériorité), d'opposition ou de coexistence (rivière-bateau, rivière-berges), d'association (houppier-tronc) ou d'abstraction (arbres en quinconce vergé, gravière extraction de matériaux...).

Ainsi l'utilisateur de l'image (l'interprète) ne va pas s'arrêter à la représentation de la réalité, il va à partir d'un raisonnement essayer de l'expliquer. Lors de cette étape, le processus d'intégration en cours, se fonde sur les connaissances acquises, les répertoires de l'utilisateur-concepteur qui lui permettent de replacer les relations image-réalité dans une dimension spatio-temporelle.

Conclusion

L'interprétation d'images satellites correspond à une série de phases successives dans lesquelles entrent des éléments problématiques associées soit au produit radiométrique et ses caractéristiques, soit aux éléments de la réalité représentée.

Les choix opérés sont le fruit de contraintes convergentes liées au signal, mais aussi et surtout à la finalité du résultat. De la simple reproduction à

l'instrument de vérification de mesures financières, les contingences d'exactitude, de typologie, de rendu varient.

Dans une démarche qui conduit à délimiter et associer des formes selon leur caractère identique, il est impératif de se méfier des automatismes d'identification d'une image à une autre. La relation entre la réalité et son apparence peut présenter un caractère non univoque et les relations déterminées peuvent ne pas être toujours en parfaite cohérence sur une zone donnée. Si l'image satellite permet d'avoir une vision novatrice sur l'espace étudié, il convient de prévenir les méfaits pouvant provenir de transferts méthodologiques abusifs.

La compréhension de l'image est un enjeu important pour son intégration dans un processus de connaissance. La représentation obtenue ne peut être abordée sans qu'il y ait eu mise au clair des objectifs de l'application, surtout si elle intervient comme un élément important de processus de décision. La difficulté rencontrée le plus souvent dans le cadre de projet multi-parties réside dans l'établissement des résultats intermédiaires et finaux en fonction de contingence de précision géométrique, d'exactitude de localisation et typologie. Très souvent les échelles obtenues avec les capteurs actuels ne permettent pas la réalisation d'une représentation meilleure que le 1/15 000^e, alors que les attentes se font pressantes en milieux urbains et péri-urbains (alors que les échelles utilisées par les gestionnaires s'étalent du 1/200^e au 1/50 000^e). Les typologies imposées sont la plupart du temps un mélange d'occupation du sol et de finalités fonctionnelles, impossibles à obtenir avec des images uniquement. Ceci implique de disposer d'autres sources d'information qui à leur tour vont entraîner d'autres contraintes d'utilisation (géocodage, correction géométrique...).

Cependant pour conclure sur la participation des images à la constitution d'un savoir collectif, il est évident que tout comme les média de représentation de l'espace utilisés jusqu'ici, l'image satellite participe pleinement à la mise en place d'une connaissance de notre planète partagée notamment grâce au cyberspace. Cependant il est à déplorer que l'usage rudimentaire qui en est fait (météo) n'apporte pas une connaissance plus riche au public. La diffusion de nombreuses images (déclassées ou non) devraient permettre de renforcer le débat démocratique autour de l'information spatiale en générale, cependant

elle reste par son niveau technologique et son coût bien loin d'être un élément de négociation, en tout cas en France, du devenir de nos territoires.

Références

Boutot , 1993, L'invention des formes. Odile Jacob.

IFHP, 1972, Aerial photography and city planning.

Moles, 1973, La communication et les mass-média. Marabout.

Weber , 1995, Images satellites et milieu urbain. Hermès.

