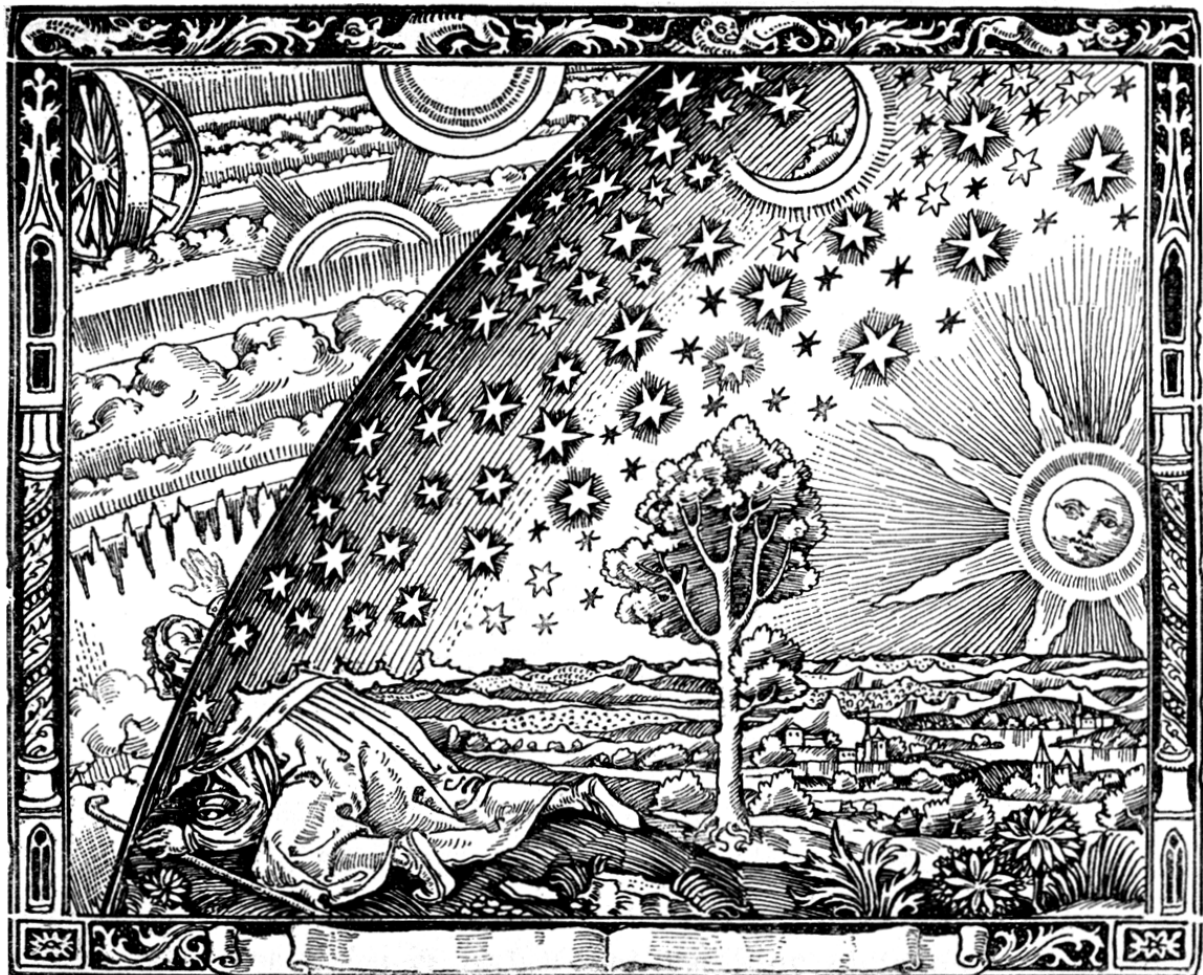


Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières :

Comment les analyser ? Comment les anticiper ?

**14èmes journées de Rochebrune :
Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes
complexes naturels et artificiels**

21 au 27 janvier 2007, Rochebrune, Megève



Conception et réalisation des Actes : Jerzy Karczmarczuk, Université de Caen

Organisées avec le soutien

de l'European Conference on Artificial Life (ECAL)

de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA)

Sous le patronage

du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS),

département Sciences et Technologies de l'Information,

et de l'Ingénierie (ST2I)

de l'Institut de Recherche en Enseignement Mathématiques

(IREM), Université Paris Nord



Nous dédions ces Journées de Rochebrune à Vincent Ginot, emporté par une avalanche le 3 Janvier 2007 dans le massif du Queyras

Nous témoignons ainsi notre profonde émotion de voir disparaître un collègue, un camarade, un ami unanimement apprécié pour sa générosité, son humour et sa joie de vivre.

Nous rendons aussi hommage au scientifique de talent, qui avait dressé des ponts entre statistiques, informatique et biologie et su nous faire partager son enthousiasme et sa rigueur.

Cher Vincent, tu nous manqueras !

Les amis de Rochebrune.

Table des matières

Sylvie Lardon, Sylviane Schwer , Introduction	1
Dominique Badariotti , Formes urbaines et catastrophes : étude des discontinuités urbaines par l'analyse fractale.....	7
Dominique Badariotti, Arnaud Banos, Diego Moreno Sierra , Discontinuités, catastrophes, et réseaux urbains : le modèle Remus	23
Dominique Badariotti, Arnaud Banos, Vincent Laperrière , Systèmes complexes et catastrophes épidémiques	33
Franck Barbin , Traduire, entre rupture(s) et continuité.....	45
Elise Beck, Sandrine Glatron , Discontinuités dans les représentations des risques majeurs par les citoyens.....	55
Pierre Beust , L'approche interactionniste en traitement automatique des langues : une discontinuité épistémologique ?	69
Danièle Bourcier , Qu'est-ce qu'un effet pervers ?	81
Jerôme Cardot , Limites et ruptures dans la catégorisation des objets	97
Marianne Cohen, Frédéric Alexandre , Continu et discontinu dans l'espace géographique	109
Roger Cozien , Vol <i>AFR 4590</i>	121
S. Garabedian, J-L. Dessalles , Consommation éthique, mode ou rupture ?	143
Jerzy Karczmarczuk , L'héritage de René Thom.....	155
Sylvie Lardon, Patrick Moquay, Yves Poss , Apprendre à voir les catastrophes.....	169
Serge Mauger , La catastrophe, Alpha et Omega du signe et du sens.....	189
Anne Nicolle , Continuités et ruptures dans l'histoire de l'informatique.....	201
Sylvie Ocelli , Invariance and criticalities in regional commuting flows	215
Fabien Pfaënder, Barthélémy Maillet , Structurer l'espace perceptif : analyser et provoquer les catastrophes	229
Denis Phan , Discontinuités, crises et morphogénèse	241
Damienne Provitolo , Les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophe	259

Sylviane R. Schwer , Topologie d'une cité fantôme, une approche catastrophique ou chaotique.....	273
Sylviane R. Schwer, Jean-Paul Cardinal , 1870 : une catastrophe, une aubaine pour l'université française et les scientifiques français	289
Pek van Andel , 'Room for the River', Climatic changes: how do the Dutch keep their feet dry in the future?	301

Programme prévisionnel

J1 – Lundi

1. Rochebrune 2007

Sylvie Lardon et Sylviane Schwer

Catastrophes, discontinuités, ruptures : Comment les analyser ? Comment les anticiper ?

Pek Van Andel

How the Dutch « keep their feet dry », in spite the unintended long term consequences of their water policy

2. Catastrophe ou chaos ?

Jerzy Karczmarczuk

L'héritage de René Thom

Sylviane Schwer

« Topologie d'une cité fantôme » une approche catastrophique ou chaotique

3. Décrire des discontinuités

Dominique Badariotti

Formes urbaines et catastrophes : étude des discontinuités urbaines par l'analyse fractale

Dominique Badariotti, Arnaud Banos, Diego Moreno Sierra

Discontinuités, catastrophes et réseaux urbains : le modèle REMUS.

Elise Beck, Sandrine Glatron

Discontinuités dans les représentations des risques majeurs par les citoyens

J2 – Mardi

4. Prendre les leçons de l'histoire

Anne Nicolle

Continuités et ruptures dans l'histoire de l'informatique.

Sylviane R. Schwer et Jean-Paul Cardinal

1870 : une catastrophe, une aubaine pour l'université française et les scientifiques français

Pierre Beust

L'approche interactionniste en traitement automatique des langues : une discontinuité épistémologique ?

5. Gérer la crise en temps réel

Damienne Provitolo

Les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophe.

Roger Cozien

Vol AFR 4590

6. Analyser des évolutions

Danièle Bourcier et Sylviane R. Schwer

Le droit comme système évolutif complexe

(Sous forme d'atelier)

J3 – Mercredi

7. Donner du sens

Serge Mauger

La catastrophe, alpha et omega du signe et du sens

Franck Barbin

Traduire, entre rupture(s) et continuité

Jérôme Cardot.

Catégories, pensées et objets réels: limites, ruptures

Fabien Pfaender, Barthélémy Maillet

Structurer l'espace perceptif : analyser et provoquer les catastrophes

8. Provoquer des ruptures

Sylvie Lardon , Patrick Moquay, Yves Poss.

Apprendre à voir les catastrophes : Innover dans les représentations pour se représenter ce qui ne l'est pas encore

Un atelier-jeu sera proposé par les auteurs pour mettre à l'épreuve les typologies des catastrophes et modes de résolution des catastrophes proposés, en regard des autres travaux.

J4 – Jeudi

9. Simuler des évolutions

Sylvie Occeli

Invariance and criticalities in regional commuting flows

Dominique Badariotti, Arnaud Banos et Vincent Laperrière

Systèmes complexes et catastrophes épidémiques

Marianne Cohen et Frédéric Alexandre

Continu et discontinu dans l'espace géographique

10. Choix de la thématique Rochebrune 2008

Organisé sous forme d'atelier

J 5 – Vendredi

11. Analyser de nouveaux comportements

Bourcier Danièle.

Qu'est-ce qu'un effet pervers ?

S. Garabedian J.-L. Dessalles.

Consommation éthique : mode ou rupture ?

Denis Phan

Discontinuités, crises et morphogenèses

12. Synthèse des modèles et idées

Quels sont les acquis des journées de Rochebrune sur les catastrophes ?

Sous forme d'ateliers avec production d'une courte synthèse.

Des exposés courts des participants viendront compléter les différentes séances

Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières :

Comment les analyser ? Comment les anticiper ?

Objectifs des Journées de Rochebrune

Depuis 1992, l'objectif des Journées de Rochebrune est d'offrir un espace d'échanges et de débats interdisciplinaires à tous ceux et celles qui travaillent sur les systèmes complexes naturels ou artificiels, autour d'un thème défini au cours des journées du colloque précédent. Les contributions peuvent être des résultats ou propositions, mais aussi des réflexions en cours, pour lesquelles les doutes et les questions sont aussi intéressants que les réponses déjà fournies.

Les journées de Rochebrune, ce n'est pas un simple colloque international où l'on vient exposer et écouter. C'est aussi un lieu privilégié – chalet d'altitude isolé - qui permet à chacun, quel que soit son domaine d'excellence, de s'immerger dans un *melting-pot* réellement interdisciplinaire concernant les systèmes complexes. Combien de nouvelles collaborations, de nouveaux projets ont-ils été conçus au cours des Journées de Rochebrune ? L'expérience ainsi accumulée et le thème choisi font de Rochebrune 2007 une nouvelle fois un excellent catalyseur pour de nouvelles aventures intellectuelles.

Thème des Journées de Rochebrune :

Le mot « catastrophe » vient du grec «καταστροφή» qui possède deux significations principales : la première est de renversement, bouleversement, la seconde de dénouement, fin. Dans son sens usuel, il décrit l'occurrence brutale d'un phénomène naturel qui bouleverse le cours des choses en provoquant la mort et/ou la destruction (géologique, écologique, sanitaire, ...) et par extension tout événement aux conséquences particulièrement graves, voire irréparables, et l'état qui en résulte (catastrophe économique, juridique, ...). En littérature, une catastrophe est un événement funeste et décisif qui permet le dénouement d'une œuvre romanesque ou dramatique. En mathématiques, la théorie des catastrophes vise à décrire des phénomènes discontinus, de rupture, d'événement soudain dans un milieu continu.

Dans la plupart des domaines de recherche qui touchent à l'humain et à la planète, ont émergé les deux thèmes complémentaires de l'analyse et de la prévention des catastrophes, mettant en avant les limites ou frontières. Pour autant, les limites ou frontières n'émergent pas toutes de discontinuité ou de rupture mais peuvent les créer. C'est souvent le cas des frontières conventionnelles entre états. C'est aussi le cas dans le domaine de la taxonomie ou de la détermination des objets. Il est alors nécessaire d'avoir une définition précise, dans chacun des domaines, de ce qu'est exactement une catastrophe, pour qui et en quoi c'est une catastrophe, et de quantifier ses effets.

D'autres études analysent l'aptitude des systèmes complexes à intégrer dans leur cycle de vie les catastrophes, vues comme discontinuités, ruptures. Ces études permettent de mettre en évidence l'échelle du caractère catastrophique de tel ou tel

événement, des disproportions importantes entre cause et effet ou bien l'intérêt que peut retirer tout ou partie du système complexe du phénomène catastrophique.

Qui d'entre nous n'a pas été confronté dans ses recherches à une évolution inattendue, un passage de frontière soudain accessible, une limite à dépasser ? Comment réagissons-nous face à ces catastrophes, discontinuités, ruptures ? Comment les observer et les interpréter ? Qu'est ce qui, dans nos disciplines, est mis en discontinuité, rupture, du fait même de l'analyse réflexive que nous faisons sur les processus catastrophiques ? Comment les analyser et les anticiper ?

Analyses

René Thom a développé et a popularisé la réflexion avec sa théorie des catastrophes¹ qui est une tentative de décrire et classer des situations dans lesquelles une série de changements infimes entraîne un déséquilibre et une brisure de la continuité du système étudié : une catastrophe. Il s'agit, selon les dires de son créateur, d'un moyen de rendre compte des discontinuités : « *la théorie des catastrophes consiste à dire qu'un phénomène discontinu peut émerger en quelque sorte spontanément à partir d'un milieu continu* »². Cette perspective renouvelle la façon de modéliser et de s'interroger sur le caractère scientifique de nos modèles.

Même si la théorie des catastrophes est tombée en désuétude, au dire même de son auteur, pouvons-nous nous en inspirer pour analyser les catastrophes, discontinuités, ruptures dans nos champs de recherches ? En quoi « *l'idée d'une dynamique sous-jacente, d'une dynamique ambiante qui engendre le sous-ensemble de catastrophes* » nous oblige-t-elle à approfondir les faits observés et à mobiliser des signes encore peu perceptibles, comme révélateurs de processus à l'œuvre ?

On peut également s'intéresser, au-delà de la catastrophe elle-même, aux mécanismes de protection. Quels rôles les chercheurs ont-ils alors à jouer dans l'anticipation d'une catastrophe ? Jean-Pierre Dupuy propose ainsi une posture tout à fait originale pour prévenir les catastrophes³. Il inverse le temps : « *La métaphysique que je propose consiste à se projeter dans l'après catastrophe et à voir rétrospectivement en celle-ci un événement tout à la fois nécessaire et improbable* ». « *Lorsque l'avenir est tenu pour fixe, l'avenir anticipé doit être tel que la réaction dans le temps, présente ou passé à cet avenir anticipé, boucle causalement sur cette anticipation. Ce temps, qui a la forme d'une boucle, est le temps du projet. ... Il piège le temps dans une boucle hermétiquement fermée sur elle-même. Mais cette fermeture est simultanément une ouverture, qui résulte pour nous du fait que le destin a le statut d'un accident, d'une erreur qu'il nous est loisible de ne pas commettre. Nous sommes condamnés à une vigilance permanente* ». A l'inverse, dans certaines situations d'innovation, ne s'agit-il pas tout autant de provoquer la discontinuité, la rupture ? Le chercheur s'inscrit alors dans les sciences de l'action, qui interpelle ses propres pratiques de recherche.

Par ailleurs, la discontinuité n'a pas toujours été acceptée comme thème scientifique : la discontinuité était souvent vécue par les géographes comme une

¹ René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Interédition, Paris, 1977.

² Entretien avec le pr R. Thom, http://perso.wanadoo.fr/jacques.nimier/entretien_thom.htm

³ J-P. Dupuy, 2002. Pour un catastrophisme éclairé.. Paris, Seuil. Voir aussi J. Zin :Du catastrophisme au projet écologiste, <http://perso.wanadoo.fr/marxiens/grit/dupuy.htm>

perturbation, un traumatisme, une évolution violente et incompréhensible. Pour JC François⁴, on peut considérer ...« *la discontinuité comme l'application à l'espace de la notion de crise. La discontinuité géographique présente en effet dans l'espace les mêmes propriétés que la crise dans le temps. Si l'on se place du point de vue d'un observateur qui se déplace dans l'espace, c'est une "catastrophe" qui se produit en un lieu de faiblesse, sous l'effet d'un catalyseur... On voit la nécessité qu'il y a à s'attacher à l'étude du cœur des systèmes spatiaux...* ». Roger Brunet⁵ s'est attaché à montrer que les discontinuités étaient dans la nature des choses et des processus d'évolution, qu'il fallait les accepter. Pouvons-nous essayer de les comprendre, grâce aux systèmes complexes ?

Questionnements scientifiques

Ainsi, quelles que soient nos disciplines, nous sommes tous concernés par ces catastrophes qui renouvellent nos questions de recherche, tant pour les analyser que pour les anticiper.

- Quels sont les faits inattendus, événements imprévus, détails infimes, gestes individuels qui ont déclenché des mouvements sociaux ou des révolutions, dont l'ampleur n'était même pas prévisible par ceux qui étaient impliqués dans l'acte initial⁶ ? Ces conséquences en chaînes ne peuvent être vues comme des causalités linéaires. On manque de modèles pour décrire ces formes d'émergence parallèles ou ces phénomènes de propagation voire d'imitation plus ou moins conscients.
- En physique – le domaine qui a sérieusement inspiré René Thom – les singularités, les instabilités et les transitions abruptes entre les états sont omniprésentes à toutes les échelles : depuis des ondes de choc cosmiques jusqu'à la transmutation des particules élémentaires. Donc, comprendre et modéliser les phénomènes catastrophiques est **fondamental**. On peut dire que les ruptures et les catastrophes sont beaucoup plus intéressantes que le développement continu. Ceci est devenu particulièrement important après la découverte de l'*universalité* des transitions vers le chaos.
- En informatique, l'étude de la stabilité des algorithmes et le développement des techniques *robustes* de conception et d'implémentation des programmes, protégés contre les « plantages » catastrophiques, font partie du noyau – formel et pratique - du Génie Logiciel, sans lequel l'informatique resterait confinée au domaine des spécialistes, au lieu de contribuer à la civilisation entière. Il faut nous battre contre les blocages des réseaux et les virus, sans oublier que le développement même du domaine constitue un processus explosif...

⁴ JC François, dans Hypergéométrie (http://hypergeo.free.fr/article.php3?id_article=53)

⁵ Brunet R., 1965, Les phénomènes de discontinuité en géographie - Thèse complémentaire de Doctorat d'Etat, Université de Toulouse, 304 p.

⁶ 2006 est l'année anniversaire de la fin des lois anti- raciales ce sera aussi un hommage à Rosa Parks, la femme noire qui un jour en refusant de s'asseoir au fond du bus pour laisser la place à un blanc, déclencha, par ce simple geste, plus d'une année de boycott contre la compagnie de transport et l'abolition des lois ségrégationnistes aux Etats Unis.

- Ne faut-il pas, sur la proposition de Moïses Naim⁷, reconsidérer une économie mondiale des catastrophes naturelles et humanitaires et faire de la reconstruction un « bien commun » pris en charge par les organismes internationaux ?
- Le concept de multifonctionnalité de l'agriculture, formulé d'abord dans la sphère politique par Bertrand Hervieu⁸, n'a-t-il pas introduit une rupture dans la science agronomique et obligé à une vision pluridisciplinaire et multi-acteur de l'agriculture ?
- En quoi les inflexions dans les dynamiques de population des espaces ruraux, identifiées dès les années 90 par Bernard Kaiser⁹, ont ou n'ont pas renouvelé le regard sur les interactions rural-urbain et mis en avant les espaces peri-urbains comme de nouveaux objets de recherche en aménagement des territoires ?
- En urbanisme, la fragmentation sociale et spatiale de la ville contemporaine introduit des discontinuités majeures dans l'espace urbain qui tendent à renforcer sa fragmentation. La compréhension de ces processus dépend de notre capacité à observer, à caractériser, voire à anticiper ces ruptures. En quoi la modélisation et la simulation peuvent-elles nous aider ?
- Dans les Sciences du langage, comment gérer la discontinuité entre les deux pôles de la communication ? La construction du sens prend parfois des dimensions aléatoires, voire catastrophiques. L'échange dialogique se caractérise même par l'anticipation et la régulation permanente d'une suite de micro-catastrophes plus ou moins nettement prévisibles.
- ...

Sylvie Lardon
Sylviane Schwer

⁷ Moïses Naim, économiste, ancien ministre du commerce et de l'industrie du Venezuela a écrit un article « pour une économie mondiale des catastrophe », paru dans Le Monde du 10 mars 2006, p 19.

⁸ Bertrand Hervieu, ancien président de l'INRA(1999-2003), il a été conseiller technique de plusieurs ministres de l'Agriculture dans les années 80-90 et de l'ancienne 1^o Ministre Edith Cresson. Il a inspiré la création des contrats Territoriaux d'Exploitation (CTE), remplacés en 2003 par les Contrats d'Agriculture Durable (CAD)

⁹ Bernard Kaiser, 1990. La renaissance rurale. Sociologie des campagnes du monde occidental. Paris, Armand Colin.

Comité d'organisation

Présidente : Sylviane Schwer (LIPN CNRS et IREMP13, Université Paris 13,
Sylviane.Schwer@lipn.univ-paris13.fr)

Membres :

- Pierre Beust (GREYC Island CNRS, Université de Caen)
- Thibault Carron (Université de Savoie, Chambéry)
- Roger Cosien (Gendarmerie nationale)
- Sylvie Lardon (INRA/ENGREF, UMR Métafort, Clermont-Ferrand),
- Jerzy Karczmarczuk (GREYC Algo CNRS, Université de Caen) – Responsable de l'édition des actes
- Jean-Matthias Heraud (Université de Savoie, Chambéry)

Avec le soutien de

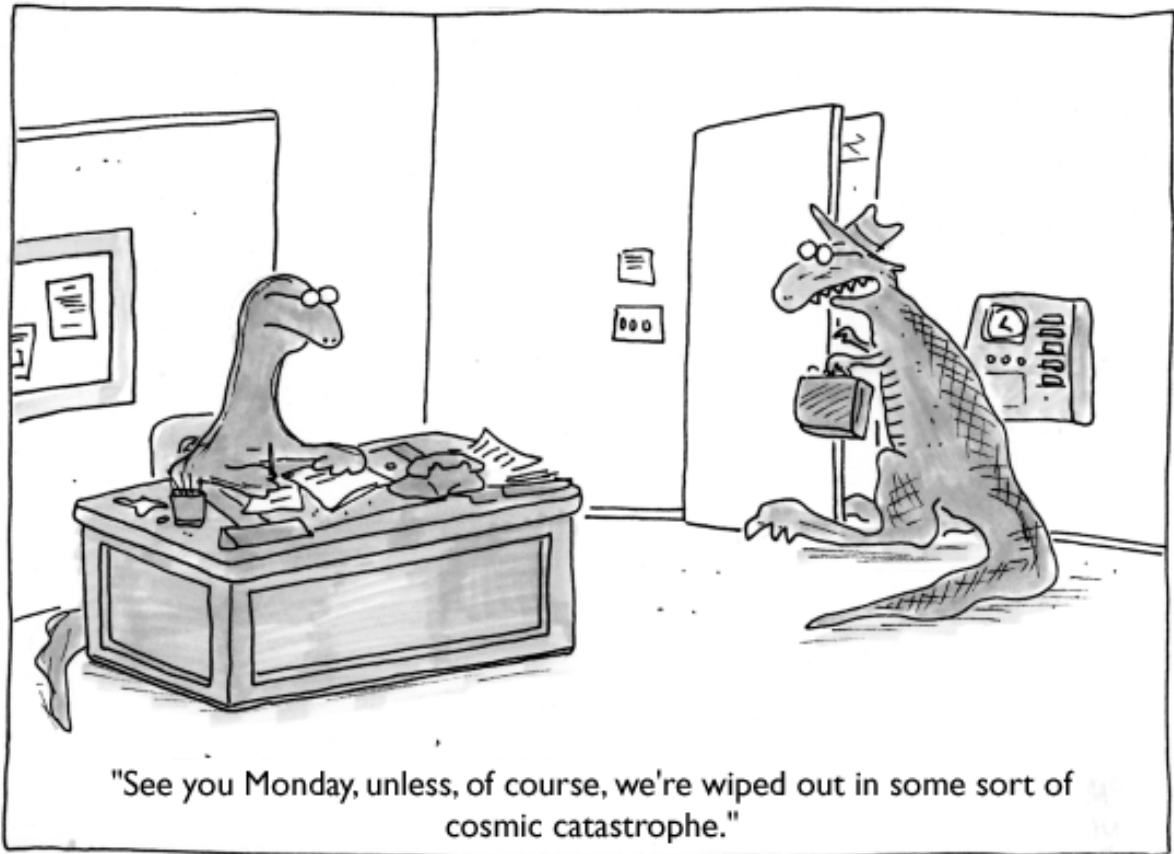
- Thierry Fuhs (ECAL) pour la partie financière
- Jean-Louis Dessales (ENST) pour l'impression des actes.

Comité de programme

Présidente : Sylvie Lardon (INRA/ENGREF, UMR Métafort, Clermont-Ferrand,
lardon@engref.fr)

Membres :

- Frédéric Amblard (Université de Toulouse)
- Dominique Badariotti (Université de Pau et des Pays de l'Adour)
- Arnaud Banos (Université de Pau et des Pays de l'Adour)
- Pierre Beust (GREYC Island CNRS, Université de Caen)
- Danièle Bourcier (CERSA-Université de Paris 2)
- Thibault Carron (Université de Savoie, Chambéry)
- Roger Cosien (Gendarmerie nationale)
- Guillaume Deffuant (Cemagref, Clermont-Ferrand)
- Nils Ferrand (Cemagref Montpellier)
- Jerzy Karczmarczuk (GREYC Algo CNRS, Université de Caen)
- Anne Nicolle (GREYC Island CNRS, Université de Caen)
- Jean-Matthias Heraud (Université de Savoie, Chambéry)
- Serge Mauger (GREYC Island CNRS, Université de Caen)
- Denis Phan (Université Rennes 1)
- Francis Rousseaux (CRéSTIC/URCA)
- Sylviane Schwer (LIPN CNRS et IREMP13, Université Paris 13)
- Serge Stinckwich (GREYC Mad CNRS, Université de Caen)
- Ilias Yocaris (IUFM de Nice)



(Avec permission de David Farley,
<http://ibiblio.org/Dave/drfun.html>)

Formes urbaines et catastrophes :

étude des discontinuités urbaines par l'analyse fractale

Dominique Badariotti

Laboratoire SET, Université de Pau et des Pays de l'Adour

dominique.badariotti@univ-pau.fr

Résumé

Les discontinuités intra-urbaines sont des phénomènes remarquables qui peuvent être assimilés à des catastrophes selon une acception large de la définition de René Thom. Toutefois, leur identification et leur comparaison pose problème en raison de la subjectivité de l'exercice. L'analyse fractale est un outil récent qui permet de rendre compte par la mesure de ces différences. Au niveau local, l'étude détaillée de la courbe du comportement scalant permet également de montrer des différences locales, et donc des ruptures et des discontinuités affectant le continuum bâti de la ville. Au niveau global, l'ensemble des courbes obtenues montre des régularités d'une agglomération à l'autre. Dans notre présentation nous nous attacherons à montrer les méthodes utilisées et les résultats observés à partir d'un ensemble de villes différentes analysées.

Mots clefs : Catastrophes – discontinuités - Fractales – urbanisme – morphologie urbaine – Bâle - Bayonne Anglet Biarritz – Helsinki - Montbéliard - Sarrebruck - Strasbourg

1 Introduction

Selon son ancienneté, une ville est en général formée d'une accumulation de formes assez différentes, qui retrace finalement tout un ensemble de choses se rapportant à l'histoire de la maîtrise de l'urbanisme, des techniques de constructions, des modes architecturales, des types de sociétés urbaines, ...

Cette accumulation de formes se retrouve certes au niveau de chaque immeuble, voire au niveau de chaque morceau d'immeuble (plans des appartements par exemple), mais on peut aussi la considérer au niveau des différents quartiers qui forment la ville ou à celui du lavis de ses rues et des formes de ses îlots. Qui n'a jamais observé la discontinuité existant entre un centre ville, dense, irrégulier, tortueux et un quartier haussmannien, aux traits plus réguliers, voire un quartier corbuséen où la continuité bâtie entre immeubles, qui était la règle auparavant, devient l'exception?

Lorsque ces discontinuités concernent des pans de ville très différents, construits à différentes époques, avec des principes directeurs différents et pour l'usage de sociétés elles-mêmes différentes, il devient difficile de ne pas

les interpréter comme autant de ruptures matérialisées physiquement. Ces ruptures correspondent au dénouement d'une phase d'urbanisation, spécifique d'une époque de l'histoire de l'urbanisme, et à laquelle a succédé une autre phase d'urbanisation basée sur des principes différents. Nous sommes donc bien en présence de « catastrophes » au sens épistémologique, puisque ces discontinuités traduisent à la fois un dénouement et un renversement.

Un des problèmes qui se pose alors à l'urbaniste est d'identifier, parmi les nombreuses discontinuités urbaines, celles qui correspondent à ce phénomène et d'en rendre compte. Il s'agit donc de repérer, de quantifier ces éléments et d'en abstraire les effets, l'intérêt que peut retirer tout ou partie du système complexe de la ville. Or, lorsque l'on cherche à étudier globalement et localement ces discontinuités, en essayant d'identifier des degrés de ressemblance ou de différences entre les divers quartiers ou îlots de la ville, on se heurte rapidement au problème de la limite de la comparabilité visuelle des choses, et finalement à la subjectivité de cet exercice. Pourtant un outil existe aujourd'hui, qui permet de rendre compte de ces différences de façon plus objective, par la mesure : il s'agit de l'analyse fractale.

2 Historique de l'analyse fractale

Les premiers travaux sur la géométrie fractale ont été publiés à partir de la fin des années 1960 et au cours des années 1970 par Benoît Mandelbrot (Mandelbrot 1967, 1976, 1977). Toutefois, ces recherches font suite à divers travaux de mathématiciens, en topologie et en géométrie, qu'elles permettent de relier : on peut évoquer les travaux de Hausdorff (1868-1942), qui a développé l'idée et la formalisation d'objets de dimensions non entière, et les travaux de mathématiciens ayant inventé des objets géométriques aux formes monstrueuses, objets qui avaient été délaissés jusque là par les chercheurs : Von Koch (1870-1924), Peano (1858-1932), Sierpinski (1882-1969), C'est d'ailleurs en travaillant sur ces formes monstrueuses (notamment sur la courbe de Von Koch) qui constituent une catégorie d'objets remarquables (les objets à complexité récursivement définie), que Mandelbrot a essayé de trouver une unité qui lui a permis de mettre au point sa découverte.

Pendant les années 1980, les travaux de Mandelbrot ont été popularisés par l'auteur lui-même et la publication en plusieurs langues et éditions de son ouvrage *Fractal geometry of nature* (Mandelbrot 1982,1983). Cet ouvrage a permis d'une part de présenter des objets étranges peu connus jusqu'à présent du grand public et d'autre part de montrer que des objets naturels complexes, comme une éponge, une ramure d'arbre, un nuage, etc ... pouvaient être appréhendés géométriquement dans leur globalité et non en les décomposant en formes géométriques euclidiennes. Le caractère étrange et esthétique de ces objets fractals, et le lien établi entre eux et les formes complexes de la nature, a définitivement séduit un large public, dont les géographes.

Cette nouvelle façon de concevoir la géométrie d'objets irréguliers a en effet rapidement éveillé l'intérêt des sciences naturelles, mais aussi des sciences humaines dans divers domaines : la géographie urbaine (Batty et Longley 1986, Frankhauser 1988), l'occupation du sol (White et Engelen 1993), les phénomènes sociaux (Lebras 1993), la géographie physique (Dauphiné 1995, Martin 1997, 2000), l'architecture et l'urbanisme (Balmond 2002, Badariotti 2005) ... La plupart de ces contributions avaient valeur de test : toutes ont petit à petit contribué à affirmer l'intérêt des fractales en géographie en général, et appliquées au champ urbain en particulier.

Dans le domaine des recherches intra-urbaines, les études fractales de villes sont d'abord restées principalement cantonnées à des essais méthodologiques assez généraux : modélisation de la croissance urbaine (Batty 1991, White et Engelen 1994) ; étude du rapport taille/périmètre de la ville (Frankhauser 1994) ; répartition spatiale de différents types d'activités (Batty et Longley 1986) ... Dans un article publié en 1991, Frankhauser fait le bilan de ce que l'on pensait pouvoir attendre de la géométrie fractale en géographie urbaine.

Par la suite, on a commencé à appréhender l'étude plus détaillée de tel ou de tel aspect intra-urbain, explorant ainsi diverses thématiques : mise en évidence de la fractalité globale de la ville et de ses variations internes (Frankhauser 1991) ; analyse des réseaux techniques (Thibault 1991) ou des réseaux de transports en ville (Frankhauser et Genre-Grandpierre 1998) ; étude des hiérarchies intra-urbaines (Frankhauser 1994) ; caractérisation par les fractales de la diversité morphologique et sociale intra-urbaine (De Keersmaecker, Frankhauser, Thomas 2003) ; analyse des relations entre la dimension fractale des villes et les techniques de dessin et de construction des architectes (Balmond 2002, Badariotti 2006) ; étude de la croissance de l'urbanisation dans des contextes de conurbation (Blumenfeld-Lieberthal, Aravot, Benguigui, Czamanski, 2006)...

Aujourd'hui il est nécessaire d'essayer de généraliser les observations faites, qui ont le défaut d'être pour la plupart issues d'analyses monographiques d'un seul site urbain à chaque fois. Des études comparatives sont à présent indispensables pour mettre en évidence les similitudes de mesures fractales entre les villes, ce qui oblige à constituer des bases de données comparables et à envisager des protocoles de mesure unifiés.

3 Analyse fractale et théorie des catastrophes

Notre contribution se situe directement dans cette veine. En effet, nous cherchons certes à réaliser des analyses fractales de tissus urbains différenciés pour les caractériser individuellement et les repenser avec cette nouvelle information, mais nous cherchons aussi et surtout à *comparer* entre elles ces mesures afin de mettre en évidence convergences et divergences

morphologiques entre des villes très différentes du point de vue de leur site, de leur histoire, de leur réglementation d'urbanisme, ...

Notre recherche se focalise sur ce dernier point, à savoir la recherche de discontinuités fondamentales dans les tissus urbains. Celles-ci correspondent aux grandes scansionnements physiques structurant toute agglomération : transition entre le centre ville dense, le péri-centre moins dense et moins homogène, les quartiers périphériques spécialisés (et donc homogènes en leur sein, mais hétérogènes entre eux), et la ville péri-urbaine, beaucoup plus monotone dans le détail mais dont la répartition spatiale est très inégale. Ces discontinuités se traduisent – les analyses empiriques effectuées jusqu'à présent le montrent - par des changements de dimensions fractales, traduisant des discontinuités qui pourraient correspondre à des « catastrophes » au sens de Thom.

Toutefois, nous ne faisons pas référence ici aux sept types de catastrophes élémentaires définies par Thom, mais plutôt au concept de catastrophe qu'il définit lui-même plus généralement ainsi (1991, 28) : « n'importe quelle discontinuité est une catastrophe. Le bord de cette table, là où le bois devient de l'air : c'est une surface de séparation, c'est un lieu de catastrophe » ... « il y a catastrophe dès qu'il y a discontinuité phénoménologique ». *La question est donc de savoir si la discontinuité mise en évidence par les fractales est phénoménologique ou pas.*

Le bord de la ville, le passage de la ville à la campagne par absence de continuité du bâti est assurément une discontinuité phénoménologique, qui a d'ailleurs été longtemps utilisée pour définir la ville. Il s'agit donc bien d'une catastrophe selon cette définition de Thom, où l'on change de modèle fractal en passant d'une fractale surfacique (téragone ou tapis de Sierpinski) à une fractale pointilliste (poussière de Fournier). Mais qu'en est-il, au niveau intra-urbain, du passage d'une phase d'urbanisation à l'autre ?

On sait, par l'observation empirique et la mesure, que la dimension fractale interne d'une ville varie très rapidement d'un point à un autre, d'une manière qui semble chaotique (cf. détail des courbes du comportement scalant figurant ci-dessous). Mais cette variation ne s'organise pas partout de la même façon : les fourchettes de variation de la dimension fractale changent tout au long de la courbe du comportement scalant et montrent fréquemment des « plateaux » qui coïncident avec des ensembles morphologiques intra-urbains autosimilaires. Tout se passe comme si la dimension fractale interne d'une ville répondait à une organisation à l'échelle de l'ensemble de la ville : certes au niveau local, d'un point à son voisin, la variation de dimension fractale semble imprédictible, mais au niveau de toute la ville on peut prévoir l'organisation globale de sa variation (en général la dimension fractale décroît par paliers). On n'est donc pas dans une situation de désordre total assimilable au chaos.

On déduit de ces observations l'hypothèse que la transition d'une phase d'urbanisation à une autre représente bien une discontinuité phénoménologique, et qu'elle est repérable par un changement dans la tendance des dimensions fractales mesurées. Ces discontinuités peuvent donc

être caractérisées par des mesures de fractalité et mises en relation avec les contraintes qui les ont générées (possibilités du site, type de développement socio-économique, réglementation d'urbanisme, ...).

4 Analyse fractale et caractérisation de tissus urbains

L'analyse fractale est certainement un des outils les plus récents, susceptible de mettre en évidence et de mesurer le degré de fragmentation d'une ville, et de rendre compte de ses discontinuités. Deux aspects nous intéressent particulièrement dans ce contexte : au niveau global, la caractérisation d'ensemble de la dimension fractale d'une ville, et au niveau local l'observation de sa variation interne.

Pour réaliser matériellement les analyses de fractalité des tissus urbains, nous nous servons du logiciel *fractalyse*, développé sur une base *Matlab* au laboratoire CNRS Théma de Besançon, sous la direction de Pierre Frankhauser. Ce logiciel dispose d'une large palette de méthodes d'analyse, ainsi que de diverses options qui le rendent intéressant pour notre recherche.

L'analyse de la fractalité d'objets très irréguliers, comme les tissus urbains, peut faire appel à diverses méthodes : box-counting, analyse de dilatation, analyse de corrélation, analyse radiale, Toutefois, toutes ces méthodes présentent des points communs : en effet, la mesure de la dimension fractale se fait par la confrontation d'un nombre d'éléments couvrants N , de taille ε que l'on fait varier récursivement. N s'obtient par la question récursive « combien faut-il d'éléments de taille ε pour couvrir la structure ? » ; on fait donc varier ε et on compte N , pour pouvoir étudier la covariation de N en fonction de ε , ce qui nous donnera la dimension fractale D qui n'est autre que la pente de la droite d'ajustement de la courbe ainsi déterminée.

Sans vouloir rentrer davantage dans le détail, précisons que nous utiliserons ici deux méthodes de mesure : les *analyses radiales*, associées à l'étude de la courbe du comportement scalant (Frankhauser, 1994), pour observer la variabilité de la fractalité au sein de la ville, du centre vers la périphérie, et par là même les discontinuités existantes ; et *l'analyse de corrélation* pour effectuer les comparaisons globales entre agglomérations.

4.1 L'analyse de corrélation

Le principe de l'analyse de corrélation est simple. Sur une image raster de la surface bâtie à analyser, on entoure chaque pixel occupé d'une petite fenêtre carrée de taille ε et on compte le nombre de pixels occupés à l'intérieur de chacune de ces fenêtres : puis on calcule $M(\varepsilon)$ le nombre moyen de points comptés par fenêtre, pour cette taille de fenêtre. On applique ensuite itérativement la même opération en élargissant progressivement ε pour des fenêtres de taille croissante. On obtient alors une série de points que l'on peut

représenter sous forme de courbe d'allure exponentielle, en portant ϵ en abscisses et $M(\epsilon)$ en ordonnées. Les moyennes $M(\epsilon)$ suivent une relation équivalente à :

$$N(\epsilon) = L \times \epsilon^D \quad \text{avec} \quad N(\epsilon) = M(\epsilon) \quad (1)$$

Cette relation prend la forme suivante, après linéarisation par le logarithme :

$$\log N(\epsilon) = L + D \cdot \log \epsilon \quad (2)$$

On peut alors très facilement extraire, par la méthode des moindres carrés, sa dimension fractale D : elle correspond à la pente de la droite d'ajustement et servira, par la suite, à calculer la courbe estimée, qui est une construction théorique réalisée à partir du calcul de D . Le paramètre L est une constante qui correspond au préfacteur de forme a .

Le fait que l'analyse de corrélation repose sur un calcul de moyenne, pour le comportement fractal, lisse les courbes et lui donne une grande stabilité, démontrée dans les travaux antérieurs (Frankhauser, 2003). Par ailleurs, cette méthode peut indifféremment être utilisée pour analyser les surfaces et les bordures extraites, ce qui lui donne un avantage certain pour notre projet.

4.2 L'analyse radiale et la courbe du comportement scalant

Nous venons de le voir, l'analyse de corrélation est une mesure globale de la fractalité d'une image, puisque ce sont des valeurs moyennes qui sont calculées à chaque étape pour toute l'image. Or dans notre projet, nous souhaitons également pouvoir disposer de mesures exprimant les variations locales de la fractalité, car nous pensons qu'elles traduisent les discontinuités des tissus urbains, mesures que l'analyse radiale peut nous apporter.

Pour réaliser ce type d'analyse, on choisit un point de comptage originel, *le centre de comptage*, qui peut être le barycentre de l'image ou tout autre point. On entoure ce point d'un carré dont on élargit progressivement la taille ϵ . Pour chaque valeur ϵ , on compte le nombre N de pixels occupés à l'intérieur du carré, et on obtient de nouveau une relation équivalente à (1) et à (2). On peut ensuite calculer la dimension fractale D à chaque étape, et suivre ses variations étape après étape, au fur et à mesure que ϵ grandit : la représentation de ces variations de D forme la courbe du comportement scalant.

L'analyse radiale fournit des informations différentes que l'analyse de corrélation. La courbe d'analyse y est beaucoup moins régulière, notamment du fait de l'alternance de grands bâtiments et d'espaces vides qui changent localement la loi fractale, mais cette méthode permet de segmenter des zones en fonction de leur comportement fractal et c'est ce que nous recherchons.

5 Constitution de la base de données à analyser

Dans la mesure où notre démarche est comparative, et que nous cherchons - au delà de la spécificité de chaque ville - à mettre en évidence des seuils communs observables dans chacune d'elle, il nous a semblé intéressant de partir d'un échantillon de villes très différentes les unes des autres, du point de vue de leur taille, de leurs activités et de leur processus de développement.

Ainsi notre échantillon est formé des villes suivantes, selon leur morphogénèse :

- Villes monocentriques, qui se sont développées à partir d'un centre unique de croissance urbaine :
 1. Bâle : ville administrative et industrielle, largement transfrontalière ;
 2. Helsinki : ville administrative côtière ;
 3. Strasbourg : ville administrative et industrielle, marginalement transfrontalière.
- Villes polycentriques, qui se sont constituées à partir de plusieurs centres de croissance urbaine :
 1. Bayonne-Anglet-biarritz (BAB) : conurbation balnéaire côtière ;
 2. Montbéliard : ville mono-industrielle ;
 3. Sarrebruck : conurbation industrielle continentale.

Les fonds de données disponibles ont été rasterisés et représentent le bâti de toutes ces agglomérations à une résolution de 4 m, sauf pour Strasbourg (5m), Sarrebruck (5m) et Montbéliard (2,5m). Le centre de comptage des analyses radiales a été systématiquement positionné au centre-ville actuel des agglomérations considérées (Bâle, Helsinki et Strasbourg). Pour les villes polycentriques, on a distingué le cas des villes dominées par une ville centre (Montbéliard et Sarrebruck), pour lesquelles nous avons pointé le centre de comptage au cœur du centre-ville de la ville centre, de celui des villes polycentriques indifférenciées (BAB) où nous avons alternativement calculé la dimension fractale à partir de chaque centre composant la conurbation.

6 Résultats des analyses locales

Les courbes du comportement scalant sont réalisées pour chaque agglomération à partir du - parfois des - centre historique. Elles portent en abscisses le pas de comptage à partir du centre de comptage, en nombre de pixels, et en ordonnées la dimension fractale D locale calculée. L'observation des courbes du comportement scalant conduit à faire des remarques de détail, qu'il faut compléter par des observations d'ensemble.

6.1 Observations de détail

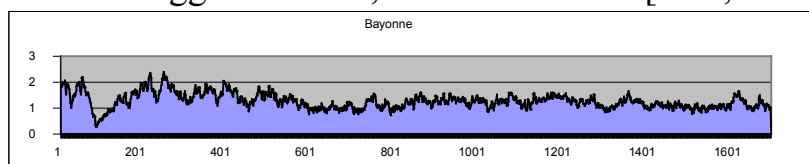
On observe assez facilement dans la courbe du comportement scalant de chaque ville les diverses transitions de leurs tissus urbains spécifiques, qui se traduisent par des variations importantes dans les tendances des lois fractales

différentes. Voyons agglomération par agglomération à quoi correspondent ces phénomènes locaux.

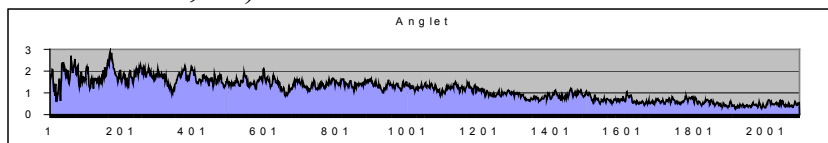
6.1.1 Bayonne-Anglet-Biarritz

L'analyse du cas de BAB nécessite de distinguer trois points de vue différents, selon que l'on place le centre de comptage à Bayonne à Anglet ou à Biarritz.

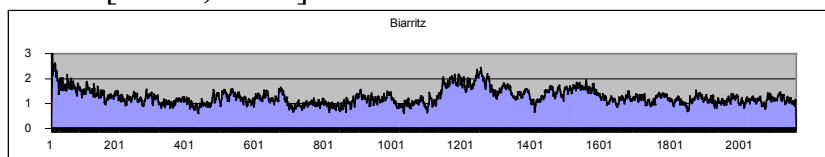
- Sur l'analyse centrée sur Bayonne apparaissent successivement :
 1. le vieux centre de Bayonne, avec $D=2$ / [1 , 100] ;
 2. la discontinuité des fortifications bastionnées du vieux-Bayonne avec un effondrement brutal de $D=0.5$ / autour de [100] ;
 3. le péri-centre de Bayonne, avec $D=1.5$ / [100 , 600] ;
 4. le restant de l'agglomération, avec $D=1$ à 1.5 / [600 , 1600].



- L'analyse centrée sur Anglet montre une décroissance assez continue de $D=2$ à $D=0.5$, avec quelques accidents ([380], [650]) liés à des discontinuités (remparts de Bayonne, forêts du Pignada et du Lazaret, aéroport, côte océane, ...).



- Enfin sur l'analyse initialisée à Biarritz, on peut voir :
 1. une décroissance rapide de $D=2$ à $D=1$ / [1 , 400], correspondant au centre et péri-centre biarrote ;
 2. puis, on observe une zone mollement ondulée qui correspond à la commune d'Anglet, et à la diversité assez variable de son occupation du sol : $D=1$ à 1.5 / [400 , 1080] ;
 3. en dernier lieu se manifeste le pic bayonnais, qui est composé du péri-centre de la ville à $D=2$ / [1080, 1400] puis de la ville-centre fortifiée à $D=1.5$ à 2 / [1400 , 1600].

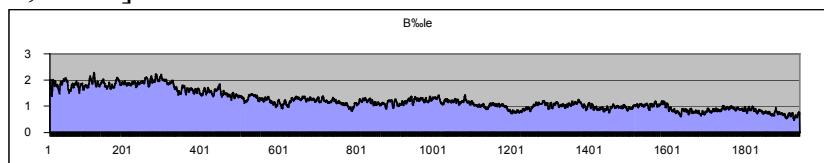


6.1.2 Bâle

Trois éléments principaux caractérisent le tissu urbain bâlois :

1. on observe en premier lieu la décroissance continue de la dimension fractale de Bâle, avec un premier ensemble de $D=2$ à $D=1.5$ / [1 , 300] qui correspond à la vieille ville ;

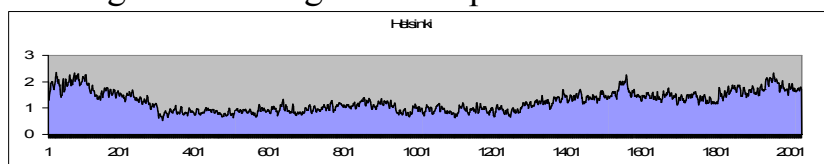
2. ensuite, on identifie un second ensemble avec $D=1.5$ à $D=1$ / [400 , 600] qui s'apparente au péri-centre ;
3. enfin on relève un troisième groupe où $D < 1$ et qui traduit la périphérie [600 , 1900].



6.1.3 Helsinki

Nous sommes ici en présence d'une ville monocentrique assez particulière car côtière et très étalée. Trois phases de développement principales apparaissent :

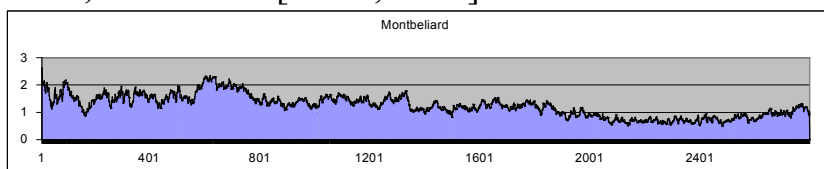
1. une première phase correspond à un mouvement normal de décroissance du centre $D=2$ vers le péri-centre $D=1$ / [1 , 300] ;
2. une seconde phase est constituée d'un marais scalant faiblement ondulé et où les dimensions fractales varient de $D=1$ à $D=1.5$ / [300 , 1250] ;
3. puis, en troisième phase apparaît une zone de croissance de la loi fractale en paliers jusqu'à $D=2$ / [1250 , 2000] ; cette dernière zone, atypique, montre la très grande homogénéité du péri-urbain d'Helsinki.



6.1.4 Montbéliard

Il s'agit, à l'instar de Sarrebruck, d'une ville profondément marquée par le fait industriel. Les cinq éléments suivants sont nettement visibles :

1. le centre historique, avec $D=2$ / [1 , 180] ;
2. le péri-centre ancien, avec $D=1.7$ / [180 , 500] ;
3. l'usine Peugeot, avec $D=2$ / [500 , 800] ; cette usine, visible sur l'image, est encore plus massive et homogène que l'ensemble du centre ville ;
4. les quartiers périphériques, avec $D=1$ à 1.5 / [800 , 1900] ; ceux ci sont constitués des anciens villages péri-montbéliardais
5. le périurbain, avec $D < 1$ / [1900 , 2700].

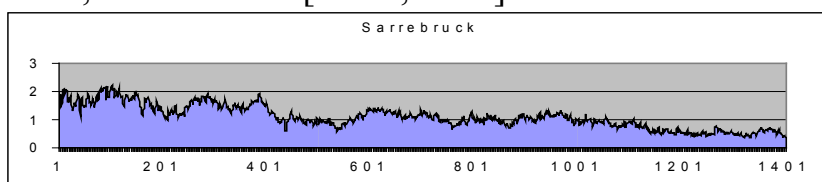


6.1.5 Sarrebruck

Cette agglomération présente un ensemble qui se comporte comme une ville-centre, avec une décroissance en paliers de son comportement scalant, affecté localement par des accidents correspondant à des pôles d'homogénéité ou

d'hétérogénéité traduisant à la fois l'histoire industrielle de ce site et sa topographie (ensemble de vallées du Warndt). On observe :

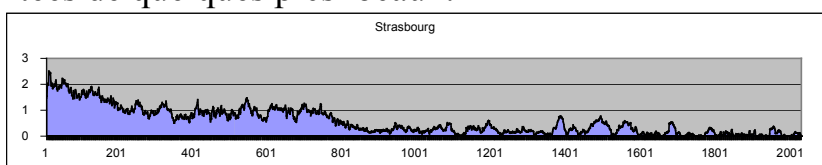
1. le centre historique et le péricentre ancien, en deux phases avec $D=2$ / [1 , 200] ;
2. la périphérie de la ville-centre et l'énorme complexe industriel sud (Industriegebiet Süd) avec $D=1.5$ / [200 , 400] ;
3. l'usine Saarstahl, de Burbach et les premières collines non bâties occupées par des terrils et des forêts, avec $D=1$ / [400 , 550] ;
4. les premiers centres secondaires (Stiring-Wendel, Güdingen, Brebach, Dudweiler), avec $D=1$ à $D=1.5$ [550-800]
5. les centres secondaires de deuxième couronne (Forbach, Bübingen, Fechingen, Sulzbach, Püttlingen, Völklingen, Grossrosseln, Petite Rosselle, Freyming-Merlenach, ...), où D varie de 0.7 à 1.2 / [800 , 1100] ;
6. le périurbain, avec $D=0.5$ / [1100 , 1400].



6.1.6 Strasbourg

Le cas strasbourgeois rejoint le cas bâlois, avec une structure assez classique de ville monocentrique, marquée toutefois par une décroissance nette et rapide de la loi fractale du centre vers la périphérie :

1. au centre les valeurs varient de $D=2$ à $D=1$ / [1 , 200] ;
2. en péricentre les valeurs de D se stabilisent à $D=1$ / [200 , 800]
3. en périphérie, les valeurs sont très basses, avec $D<0.5$ / [800 , 2000], agrémentées de quelques pics locaux.



On constate donc que les particularités locales - anciennes zone de bastions, présence d'usines importantes, structuration particulière d'une agglomération, effet de site, ... - sont nettement visibles dans la courbe du comportement scalant. Les conséquences de ces particularités sont plus ou moins marquées, selon les cas, mais on voit toujours le « traumatisme » qu'ils ont fait subir à l'allure d'ensemble de la courbe.

6.2 Observations d'ensemble

6.2.1 Typologie des courbes

La représentation du comportement scalant pour chaque agglomération montre des courbes qui sont dans l'ensemble décroissantes et que l'on peut classer en quatre catégories de la façon suivante :

1. les courbes présentant des paliers assez nets de décroissance : Bâle, Strasbourg et Sarrebruck (mais c'est moins net pour ce dernier cas) ;
2. les courbes montrant une décroissance sans paliers, très progressive comme pour Anglet, ou plus tourmentée comme pour Bayonne ;
3. les courbes illustrant une première phase de décroissance, suivie en bout d'abscisses d'une phase de croissance : Helsinki ;
4. enfin des courbes beaucoup plus chaotiques, plus tourmentées, présentant une succession de phases de croissance et de décroissance : Montbéliard, Biarritz.

6.2.2 Composition des courbes

La transition interne des types de tissus, correspondant à l'organisation spécifique de chaque agglomération, apparaît bien dans ces courbes.

Pour les agglomérations monocentriques (Bâle, Strasbourg, ...), on observe des tissus contrastés, mais correspondant grossièrement à une loi fractale par zone concentrique. Ces lois traduisent la structuration différente de ces agglomérations selon leurs étapes de développement historique qui s'est en général effectué en trois grandes phases :

1. une phase de décroissance assez rapide, de $D = 2$ à $D = 1$ à 1.5 correspondant au centre ancien de ces villes et à ses marges (extensions modernes et pré-modernes) ;
2. une phase de stabilité autour de $D = 1$ à 1.5 qui couvre les quartiers péri-centraux et les faubourgs - quartiers des XIX^e et du début du XX^e siècle ;
3. une autre phase de stabilité pour une dimension fractale globalement plus basse - de $D = 1$ à $D = 0.5$ - qui s'étend largement sur la zone péri-urbaine, marquée par les constructions non connexes - « quartiers » contemporains de la fin du XX^e siècle qui se développent en relation avec la généralisation de l'usage des voitures ;

Pour les agglomérations polycentriques (BAB, Montbéliard, ...), on remarque des tissus également contrastés, mais avec des irrégularités locales qui se manifestent à des endroits inattendus, en fonction de l'histoire urbaine spécifique de chacune de ces villes. Il convient toutefois de relever que certaines agglomérations polycentriques dominées par une ville centre (notamment Sarrebruck) ont un comportement scalant ressemblant à celui d'une ville monocentrique, quelques écarts locaux mis à part.

Au total, on peut dire que les villes polycentriques ont pour la plupart un comportement scalant assez heurté, plus contrasté et plus difficile à interpréter génériquement que celui des villes monocentriques. Ces dernières témoignent *a contrario* d'un comportement scalant davantage lissé, faisant apparaître trois phases principales correspondant à trois lois fractales différentes.

Il est également intéressant de voir à quel point l'allure des différentes courbes du comportement scalant peut varier pour une même conurbation, selon le centre de comptage choisi. Pour BAB par exemple, on observe trois courbes très différentes selon que l'on parte du centre de Bayonne (courbe décroissante dans l'ensemble, mais de manière assez heurtée), du centre d'Anglet (courbe très progressivement décroissante, comme lissée) ou du centre de Biarritz (courbe très contrastée, décroissante mais avec des paliers plus élevés par endroits).

7 Résultats des analyses globales

Les analyses globales permettent de montrer que la dimension fractale d'ensemble de ces agglomérations ne varie pas énormément, puisqu'on reste dans une fourchette de variation de D qui n'excède pas 0,11. La différenciation d'ensemble par la mesure de la fractalité ne permet donc pas de traduire correctement les typologies assez diverses des morphologies des agglomérations retenues.

Toutefois, des nuances apparaissent si on les étudie une à une, en les classant de la moins homogène (1,601) à la plus homogène (1,711). Globalement, parmi les villes considérées (cf tableau 1), ce sont respectivement Montbéliard et Bâle qui apparaissent les plus homogènes, les moins hiérarchisées, alors que Helsinki et BAB sont les plus hiérarchisées. Ceci n'est pas étonnant : la variété des formes urbaines est évidemment plus importantes dans une ville archipélagique comme Helsinki ou dans une conurbation côtière comme BAB que dans des villes monocentriques comme Bâle ou Montbéliard.

Tableau 1 : Ville analysées, et dimensions fractales de corrélation associées

<i>Villes monocentriques</i>	<i>Villes polycentriques</i>
Bâle / $D = 1.711$	Bayonne Anglet Biarritz / $D = 1.604$
Helsinki / $D = 1.601$	Montbéliard / $D=1.710$
Strasbourg / $D= 1.655$	Sarrebruck / $D=1.634$

8 Interprétation et conclusion

Comme nous l'avons vu, le calcul de dimensions fractales d'ensemble (dimension de corrélation) ne permet pas de différencier de façon satisfaisante des tissus urbains que nous voyons pourtant assez différents à l'œil nu : cette mesure présente l'inconvénient de la moyenne, elle intègre trop de choses différentes et écrase de ce fait les écarts et les particularités.

Il en va tout autrement du calcul local de la loi fractale par l'analyse radiale et de la représentation de ses variations sous la forme du comportement scalant. L'étude réalisée montre que l'interprétation du comportement scalant converge vers les deux points suivants.

- *Le mouvement général du comportement scalant* traduit bien la composition fondamentale des villes occidentales, à savoir une succession historique de tissus d'homogénéité décroissante du centre vers la périphérie. Cette succession de tissus se caractérise par des changements assez nets de la loi fractale locale à des seuils particuliers où l'organisation urbaine a été modifiée par les « catastrophes » fondamentales qui affectent tout tissu urbain. Ces catastrophes ont pour noms croissance urbaine extra-muros des XIX^e et XX^e siècles et croissance péri-urbaine contemporaine.
- *Les variations locales du comportement scalant* traduisent des écarts au principe précédemment énoncé. Ces écarts expriment tout simplement des « accidents » locaux, liés à des phénomènes divers : implantation d'un grand site industriel, présence inhabituelle d'un grand espace non bâti (espace naturel, aéroport, esplanade, fortifications bastionnées, ...), densification inattendue du tissu urbain (centre secondaire, ...) etc. Ces accidents peuvent-ils être assimilés à des « catastrophes » locales, imprévisibles à l'origine de ces villes, et qui ont assez fortement contraint les tissus urbains environnant pour orienter leur évolution et faire apparaître des seuils dans le comportement scalant ? Ce n'est pas certain...

Au total, on peut conclure que certaines grandes discontinuités mises en évidence par des variations de tendance dans la mesure de la fractalité correspondent bien à des discontinuités phénoménologiques majeures, c'est à dire à des catastrophes au sens de Thom (1991,28), et que l'analyse fractale permet bien de mettre en évidence ces catastrophes fondamentales cicatrisées dans le tissu urbain.

Références

- Badariotti Dominique (2005) « "Des fractales pour l'urbanisme ? " » - Québec, *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 49, n°137, sept 2005, p. 133-156
- Badariotti Dominique (2006) « Les processus morphodynamiques des villes, énigmes et traces » - *13èmes journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels*, 23-27/1 2006, Paris, Ecole nationale supérieure des télécommunications, p. 325-336
- Balmond Cecil (2002) *Informal*. Munich, Berlin, Londres, New-York, prestel verlag, 393 p. p. 241-273
- Batty Michael, Longley Paul (1986) "The fractal simulation of urban structure". *Environment and Planning A*, 18, 1143-1179
- Batty Michael (1991) "Cities and fractals : simulating growth and form". In A.J. Crilly, R.A. Earnshaw, H. Jones, ed, *Fractals and Chaos*
- Blumenfeld-Lieberthal Efrat, Aravot Iris, Benguigui Lucien, Czamanski Daniel (2006) *Studying complexity phenomena withn urban development based on morphology alone*. Oxford, European conference on Complex Systems, satellite workshop : volatility and stability in city and regional systems, sept. 2006
- Dauphiné André (1995) *Chaos, fractales et dynamiques en géographie*. Montpellier, Gip Reclus, coll. « Espace mode d'emploi », 136 p.
- De Keersmaecker Marie-Laurence, Frankhauser Pierre, Thomas Isabelle, 2003, « Using fractal dimensions for characterizing intra-urban diversity : the exemple of Brussels ». *Geographical analysis*, vol 35, n° 4, 310-328
- Frankhauser Pierre (1988) "Fractal aspects of urban systems". In *Sonderforschungsbereich 230 "Natürliche Konstruktionen"*, ed. Beiträge zum I Internationalen Symposium des SFB, Vol 1
- Frankhauser Pierre (1991) « Aspects fractals des structures urbaines ». *L'Espace Géographique*, 1, p. 45-69
- Frankhauser Pierre (1994). *La fractalité des structures urbaines*. Paris: Anthropos - Economica., 291 p.
- Frankhauser Pierre, Genre-Grandpierre Cyril (1998) « La géométrie fractale – un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transport public dans l'organisation spatiale des agglomérations ». *Les cahiers scientifiques du transport*, 33, 1998, p. 41-78
- Frankhauser Pierre, sous la dir de (2003) *Morphologie des villes émergentes en Europe à travers les analyses fractales*. Besançon, Théma - Puca, Ministère de l'Equipement, 240p.
- LeBras Hervé (1993) *La planète au village : migrations et peuplement en France*. Paris: Datar – ed. de l'Aube, 222 p.
- Martin Philippe (1997) *Structures hiérarchiques dans le karst de la Sainte-Baume*. 12^{ème} congrès de spéléologie, symposium 7, vol 1 Union internationale des spéléologie, p. 129-132
- Martin Philippe (2000) « Quelle est la dimension du karst de la Sainte-Baume ? Eléments pour une théorie spatiale et fractale du karst ». *Karstologia*, n°35, p. 13-26

- Mandelbrot (1967) « How long is the coast of brittain ? Statistical self-similarity and fractionnal dimension ». In *Classics on fractals*, G.E. Edgar, Addison-Wesley publishing co, Reading, Mass, p. 351-358
- Mandelbrot Benoît (1976) « Géométrie fractale de la turbulence : dimension de Hausdorff, dispersion et nature des singularités du mouvement des fluides ». *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 282, série A, Janvier 1976
- Mandelbrot Benoît (1977) *Fractals : form, chance and dimension*. San Francisco, Freeman and co
- Mandelbrot Benoît (1983) *The fractal geometry of nature*. San Francisco, Freeman, 468 p.
- Thibault Serge (1991) « Fractals et structure des réseaux urbains d'assainissement eau pluviale ». In *Flux* 4, Avril/juin 1991, p. 5-14
- Thom René (1991) *Prédire n'est pas expliquer*, Paris, Flammarion, 175 p.
- White Roger, Engelen Gérard (1993) "Cellular automata and fractl urban form : a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns". *Environment and planning, A*, 25, p. 1175-1199
- White Roger, Engelen Gérard (1994) "Urban Systems Dynamics and Cellular Automata : Fractal Structures between Order and Chaos". *Chaos, Solitons and Fractals*, 4, 4, p. 563-583



Discontinuités, catastrophes et réseaux urbains : le modèle Remus

Dominique Badariotti

Dept. De Géographie, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France
<mailto:dominique.badariotti@univ-pau.fr>

Arnaud Banos

Dept. De Géographie, Université Louis Pasteur, France
<mailto:arnaud@lorraine.u-strasbg.fr>

Diego Moreno Sierra

Dept. De Géographie, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France
<mailto:diego.moreno@etud.univ-pau.fr>

Résumé

D'un point de vue urbanistique, une ville est constituée d'une succession de ruptures et de discontinuités morphologiques. Ces discontinuités, formées par les différents types de tissus urbains, ont un impact sur le fonctionnement de la ville et donc sur les individus qui l'habitent ou la visitent. Même les réseaux urbains, qui ont pour fonction d'articuler les différentes zones de la ville, induisent une fragmentation de l'espace. Or, l'effet de ces discontinuités morphologiques sur la dynamique du système urbain reste méconnu.

Le modèle Remus représente sous la forme d'un graphe mathématique les relations de voisinage par les réseaux de circulation et permet d'effectuer des simulations à l'intérieur de la ville à l'aide d'un automate. À l'aide de cet outil, il est possible d'étudier les discontinuités induites dans les dynamiques spatiales urbaines, ou de limiter les conséquences de phénomènes catastrophiques au sein des villes.

1 Introduction

Pour René Thom, une catastrophe est un changement brutal dans la dynamique d'un système qui permet au système de subsister alors qu'il devrait cesser d'exister [5] et qui se matérialise par un seuil ou une discontinuité.

Nous proposons dans cet article une analyse des ruptures et des discontinuités urbaines, tant structurelles que fonctionnelles, mises en évidence par le modèle REMUS (Reticular Model for Urban Simulation). Cette analyse cherchera à mettre en relation les discontinuités observées et la notion de catastrophe telle que définie ci-dessus.

Le modèle Remus représente sous la forme d'un graphe mathématique les entités spatiales du bâti reliées entre elles par les voies de communication urbaines (graphe urbain) ; il permet ainsi de calculer la distance-temps entre

bâtiments par le réseau. Ce premier calcul conduit à l'extraction de différents graphes, dont le graphe fonctionnel des distances-temps entre les immeubles et le graphe de relations de voisinage qui représente le voisinage par le réseau pour un certain seuil de temps de trajet et pour un mode de transport donné.

A travers le calcul et l'extraction de ces différents graphes, le modèle Remus permet de repérer les proximités et les ruptures dans la structure urbaine en faisant abstraction des proximités purement euclidiennes puisque le voisinage utilisé passe par les voies de circulation. A l'aide de cette formalisation, il permet de montrer quelles sont les discontinuités induites localement et globalement dans les dynamiques spatiales urbaines par sa structuration morphologique basée sur le plan viaire.

2 Le contexte morphologique urbain

Les constructions qui forment la matière physique de la ville se caractérisent par leurs traits géométriques (taille, forme) et géographiques (emplacement) propres. Ces caractéristiques interviennent dans la définition de la géométrie des îlots urbains et dans le dessin du cheminement des rues (notamment dans les zones de bâti contigu) et induisent par conséquent les relations de proximité entre bâtiments. Des bâtiments proches, voire contigus, peuvent être peu accessibles entre eux en raison de la configuration spatiale du réseau. Par contre, des zones très éloignées peuvent être « rapprochées » par des voies rapides qui les communiquent de manière préférentielle. Ces différenciations spatiales induites par les réseaux et les modes de transport sont aussi importantes dans le fonctionnement de la ville que la forme du bâti.

On peut considérer la ville comme un ensemble d'unités spatiales articulées par des réseaux. La continuité spatiale de ces unités en milieu urbain contraste avec les discontinuités proximales qui conditionnent le fonctionnement de la ville. L'analyse des ruptures dans la proximité intra-urbaine peut apporter des éléments intéressants pour comprendre les dynamiques spatiales de la ville. C'est dans ce sens-là que s'oriente cette étude.

Les automates géographiques permettent d'explorer les dynamiques urbaines en se basant sur les relations de proximité entre entités spatiales. L'introduction du réseau dans la structure spatiale des automates pourrait induire des discontinuités temporelles dans les processus urbains simulés. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'hétérogénéité de l'espace urbain dans ces modèles, afin d'étudier l'effet des discontinuités morphologiques sur la dynamique du système urbain.

3 La modélisation des voisinages réseau

Les relations géographiques entre entités spatiales sont de différents types : certaines s'expriment dans l'espace directement environnant par des relations euclidiennes (voisinage visuel, diffusion du bruit ou d'un polluant), d'autres

s'expriment en suivant le cheminement des rues par des relations réticulaires (diffusion des déplacements, par exemple). Il importe donc d'utiliser une représentation susceptible de faciliter l'étude conjointe de ces différents types d'interactions spatiales.

Il est possible de représenter les bâtiments, unités morphologiques élémentaires, comme les nœuds d'un graphe mathématique [1], tandis que les relations d'accessibilité entre les bâtiments peuvent être décrites comme les arcs du graphe. On peut aussi considérer que deux unités spatiales sont voisines si la distance euclidienne entre leurs deux centroïdes est inférieure à une distance d_{seuil} donnée. Le voisinage d'un bâtiment est alors fortement contraint par l'agencement des édifications, au point que des modifications minimales de d_{seuil} peuvent avoir des répercussions globales de grande ampleur. Les distances euclidiennes impliquent toutefois, au-delà des avantages techniques procurés, d'accepter l'hypothèse d'un espace fondamentalement isotrope : pour une distance seuil donnée, le graphe de voisinage ne dépend que de l'agencement spatial des unités U_i . Or, il est évident que l'existence de réseaux de transport aux capacités différenciées, vient perturber fortement cette hypothèse. Ainsi, raisonner en terme d'accessibilité réseau, pour un mode de transport donné, revient à introduire l'anisotropie fondamentale de l'espace géographique.

L'application REMUS (Reticular Model for Urban Simulation) [3], créée en collaboration avec le Laboratoire d'Informatique de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, permet de générer le graphe de voisinage réseautique en trois étapes (Figure 1) :

1. la construction d'un **graphe urbain** $G(S,A)$, dont les sommets incluent les noeuds du réseau routier et les bâtiments, et dont les arcs sont constitués de tronçons de route et de connecteurs bâti/route.
2. le calcul des plus courts chemins avec l'algorithme de Floyd [2] afin de calculer le temps de trajet entre tous les couples de sommets $\{S_i ; S_j\}$ du graphe $G(S,A)$. Ce procédé aboutit à la création d'un **graphe fonctionnel**, plein et non planaire $G'(U | U \subset S, K)$, constitué des sommets représentant les bâtiments et des arcs représentant les distances minimales de parcours par le réseau entre toutes les paires possibles de bâtiments.
3. la construction du **graphe de voisinage** $Gt''(U, R_t / R_t \subset K)$, sous-graphe du graphe fonctionnel, dont les sommets représentent les bâtiments et les arcs les relations de voisinage pour une distance d_{seuil} , tel que, $d(U_i; U_j) < d_{seuil}$.

4 Les discontinuités morphologiques observées

Le procédé de construction de graphes énoncé a été appliqué à la base de données cadastrales de l'agglomération Pau-Pyrénées.

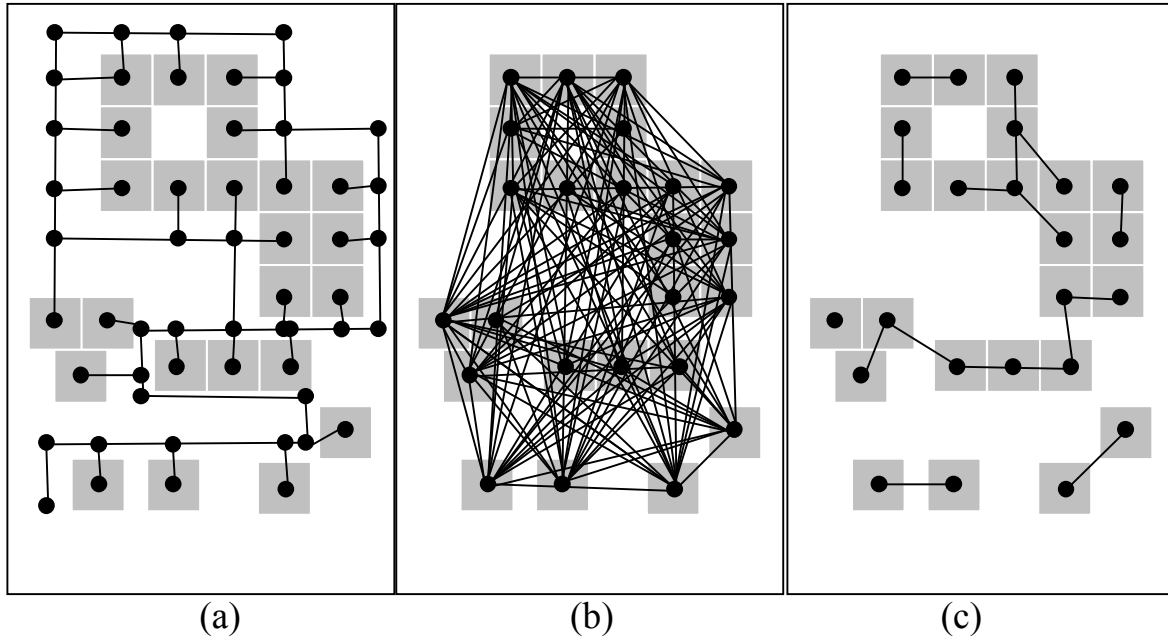


Figure 1. (a) Graphe urbain $G(S,A)$, (b) graphe fonctionnel $G'(U,K)$ et (c) graphe de voisinage par le réseau $G''(U,R)$.

Afin d'étudier les différents graphes de voisinage de l'agglomération paloise générés, le degré moyen ν (nombre moyen de voisins de chaque bâtiment à une distance donnée) a été choisi comme indicateur de leur structure.

Ces résultats ont été comparés avec les structures des graphes de voisinage à métrique euclidienne créés, l'un à partir d'une répartition aléatoire, l'autre à partir de la répartition réelle des bâtiments de l'agglomération. La Figure 2 montre la capacité de chaque type de structure à intégrer des voisins au fur et à mesure que la distance seuil augmente.

On constate que la répartition réelle du bâti intègre plus facilement les voisins que la répartition aléatoire. Le caractère profondément organisé de la ville apparaît de façon évidente : la répartition des immeubles dans la réalité a un effet hiérarchisant qui tend à rapprocher les immeubles en ville.

D'autre part, le voisinage réseau intègre plus difficilement les voisinages à de faibles distances que le voisinage euclidien dans le cas de la répartition réelle des bâtiments de l'agglomération paloise, mais il les intègre plus facilement pour des distances supérieures à 15 m. Les voisins auraient donc tendance à « s'éloigner » de leurs voisins les plus proches, tout en essayant de rester fortement connectés à un niveau intermédiaire et/ou global.

Dans une répartition aléatoire on peut s'attendre à ce que le nombre de voisins d'un point donné varie en fonction non pas du rayon d mais de la surface πd^2 du cercle dont il est le centre. En ajustant chacune de ces courbes par une fonction puissance :

$$\nu = k d^\alpha \quad (1)$$

ν : degré moyen ; d : distance seuil ; k, α : paramètres d'ajustement

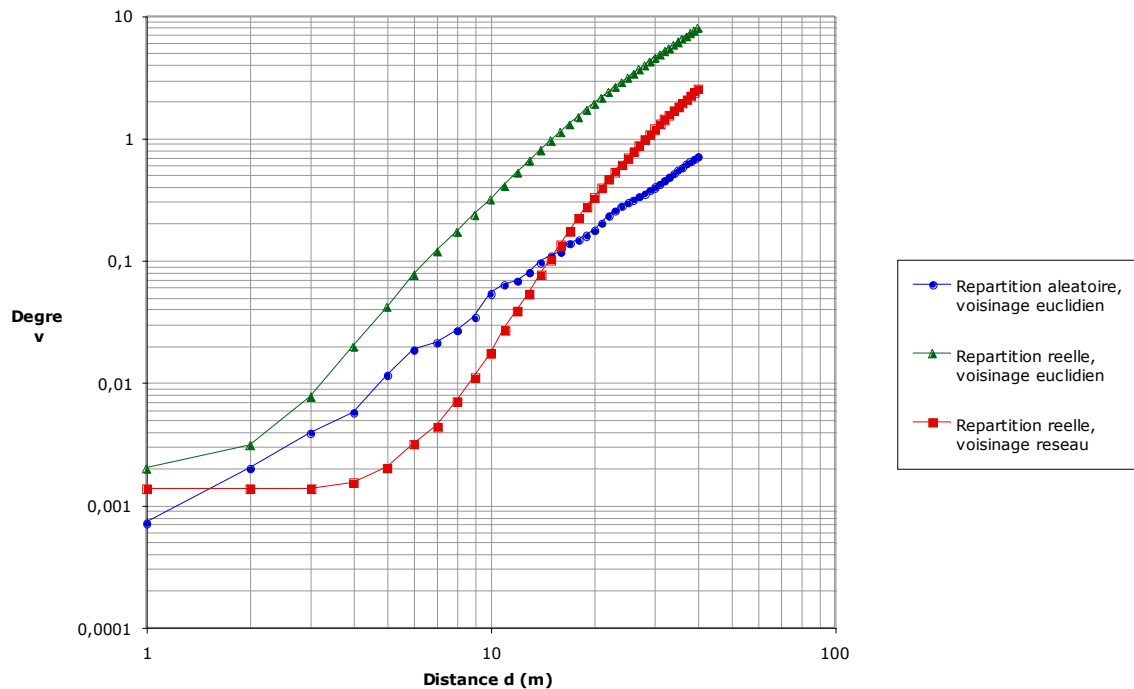


Figure 2. Comparaison du degré moyen du graphe de voisinage réseautique de l'agglomération Pau-Pyrénées avec celui de graphes de voisinage euclidien pour des répartition réelle et aléatoire, en fonction de la distance seuil.

on constate que, pour la situation de référence (répartition aléatoire et voisinage euclidien), la valeur du paramètre α n'est pas très éloignée de 2. Dans d'autres travaux d'analyse radiale [4], cette valeur est considérée comme la dimension fractale du semis aléatoire. Mais l'introduction d'une métrique réseau nous place par définition dans un espace non euclidien, au sein duquel l'inégalité triangulaire $d_{ij} < d_{ik} + d_{kj}$ ne se vérifie plus et où les distances ne sont plus ni stationnaires ni isotropes. Dans le cas d'un voisinage réseau, le nombre de voisins devrait être proportionnel à la surface drainée. Or, lorsque l'on considère la répartition réelle du bâti, on constate le caractère non-linéaire des courbes. Il n'est donc pas possible d'énoncer une loi fractale unique des voisinages réseau.

La Figure 3, qui reprend le nombre de voisins par le réseau jusqu'à une distance de 2 km, montre bien qu'il existe quatre intervalles à comportement distinct dans le cas de l'agglomération Pau-Pyrénées :

1. En deçà de 5 m, l'intégration de voisins se fait très rarement, lorsque les accès à des bâtiments connexes dans la vieille ville sont très rapprochés.
2. Entre 5 et 20 m, les centres de Pau et des communes environnantes commencent à s'interconnecter autour de quelques carrefours de manière hiérarchisée, ce qui conduit à une accélération de l'intégration de voisins.
3. Entre 20 et 40 m, la croissance s'infléchit un peu, car la plupart des voisinages autour de carrefours centraux sont déjà intégrés, et des voisinages plus larges s'intègrent dans les quartiers excentrés à tissus plus lâches.

4. Au delà de 40 m, la croissance de la courbe s'infléchit à nouveau et des nouveaux bâtiments sont intégrés de manière progressive. Cela correspond à des maisons individuelles de taille moyenne, fortement présentes dans l'agglomération, des immeubles collectifs, de grandes villas, ou même des bâtiments industriels et commerciaux.

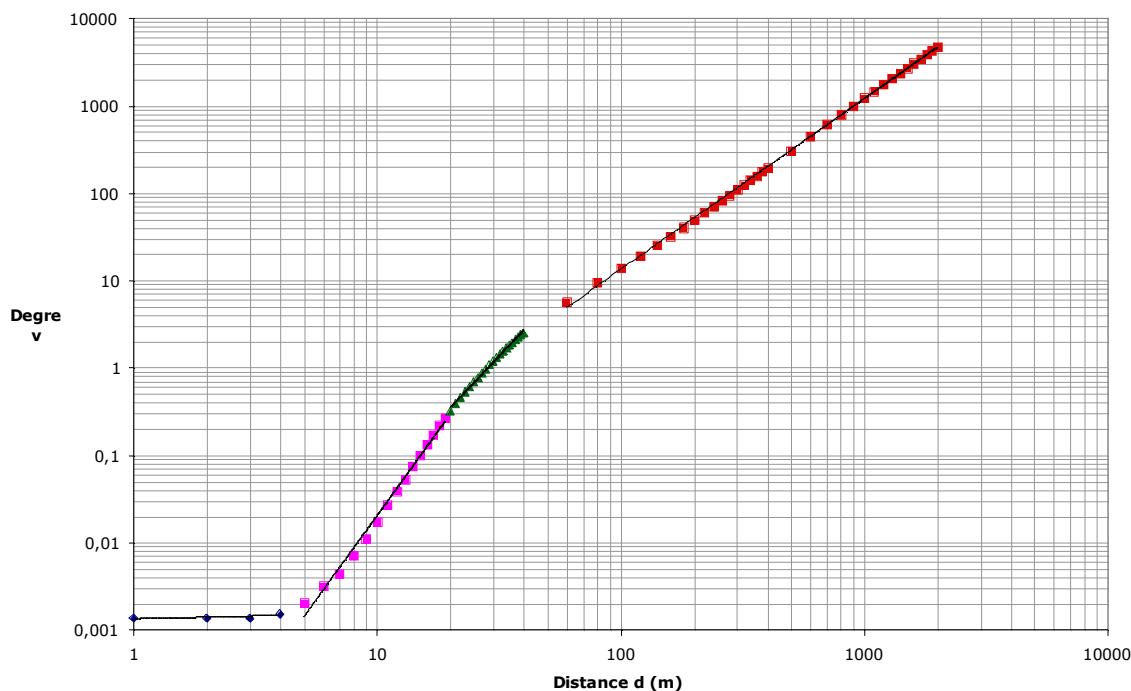


Figure 3. Identification de seuils et ajustements locaux de la relation entre la distance et le voisinage réseau dans l'agglomération Pau-Pyrénées.

Ces phases correspondent à des morphologies particulières, caractéristiques de l'agglomération Pau-Pyrénées, mais identifiables dans d'autres centres urbains. Elles correspondent aussi à des seuils qui traduisent bien les discontinuités locales dans la morphologie urbaine. Entre ces seuils des ajustements mathématiques sont possibles. Le Tableau 1 présente les différentes valeurs des paramètres obtenus par corrélation dans les intervalles cités.

La valeur du paramètre α proche de 2 pour des distances supérieures à 40 m est singulière : on retrouve un comportement similaire à celui de la métrique euclidienne dans une répartition aléatoire. Le réseau palois permet donc, au-delà de 40 m, une mise en relation des lieux telle que le nombre moyen de voisins connectés croît en fonction du carré de la distance réseau.

Distance	α	β	R^2
$0 < d < 5$ m	0,06	-2,87	0,430
5 m $< d < 20$ m	3,79	-5,49	0,988
20 m $< d < 40$ m	3,02	-4,40	0,996
40 m $< d < 2000$ m	1,96	-2,79	0,999

Tableau 1. Paramètres d'ajustement des régressions logarithmiques de la Fig. 3.

5 Configurations urbaines et catastrophes

Rappelons que pour René Thom, une catastrophe est un changement brutal dans la dynamique d'un système qui permet au système de subsister alors qu'il devrait cesser d'exister [5].

La stabilité du système urbain a souvent été mise en question. La fin de la ville proviendrait d'une déstabilisation des interactions spatiales. Les infrastructures de transport entraînent souvent la déstructuration d'un tissu préexistant et peuvent contribuer à la diminution de l'intégration sociale [6]. Dans ce sens-là, l'apparition de l'habitat discontinu, individuel ou de style corbuséen [7] ou encore apparition des modes de locomotion individuels motorisés qui ont fait éclater la ville traditionnelle [8] constituent des catastrophes qui ont scandé l'histoire de la ville. Les hétérogénéités structurelles des tissus urbains décelées dans cette étude sont une traduction morphologique de ces catastrophes.

A l'inverse, pour d'autres auteurs, le phénomène urbain est irréversible et le système urbain devrait s'adapter à de nouvelles formes d'interaction qui dépassent la proximité spatiale. De nouvelles configurations spatiales catastrophiques devraient marquer le futur de la ville, afin que le système retrouve un nouvel équilibre dans de nouvelles formes.

La ville reste un espace où la société atteint son niveau d'organisation le plus complexe et qui doit assurer à l'individu une protection et un confort maximisés. Or, la croissance démographique urbaine, la diversification fonctionnelle à l'intérieur de la ville et la complexité croissante de ses installations augmentent l'exposition de la population aux risques naturels et technologiques [9]. Des configurations morphologiques vulnérables où se concentrent les relations de proximité doivent donc être identifiées pour la prévention et la gestion des catastrophes, au sens courant.

Les automates cellulaires offrent un cadre méthodologique vaste pour l'aménagement et la planification urbaine [10]. Or, l'hétérogénéité de l'espace est rarement prise en compte dans ces modèles, du fait de leur difficulté à représenter des morphologies irrégulières. O'Sullivan [11] a démontré que la simulation des processus spatiaux dans les automates cellulaires est très sensible à des petites modifications des structures spatiales et qu'un examen de leur formalisme est nécessaire. La représentation de la structure urbaine par graphes mathématiques exposée précédemment permet de dépasser la stationnarité des automates géographiques.

L'intégration des voisinages réseau dans des automates graphe-cellulaires [12] permet de simuler des processus urbains comme la diffusion, l'étalement ou la ségrégation spatiale [3]. A travers ce formalisme il est possible d'étudier comment les singularités présentes dans la structure spatiale ont une influence sur les dynamiques urbaines, afin d'effectuer un lien nécessaire entre l'application des systèmes distribués aux problématiques urbaines et la théorie des bifurcations.

6 Conclusion

La modélisation des voisinages en milieu urbain avec le formalisme des graphes mathématiques offre de grandes possibilités à exploiter dans le futur. Le modèle Remus permet de réduire la complexité de l'espace urbain à l'aide de différents graphes qui représentent chacun de différents niveaux d'abstraction dans la représentation de la ville.

L'étude des graphes ainsi générés est une manière performante d'explorer les relations de proximité en milieu urbain. L'analyse du nombre de voisins en fonction de la distance par le réseau met en évidence le caractère organisé de la ville et les différentes morphologies qui la constituent. Il est donc possible de retracer les différentes étapes qui ont marqué l'évolution de la ville et de les mettre en relation avec son fonctionnement actuel.

Pour mener plus loin la réflexion, il est nécessaire d'établir la relation existante entre la morphologie urbaine et la dynamique des processus qui ont lieu à l'intérieur de la ville. Cela ouvre voie à de nouvelles perspectives de recherche, comme l'établissement d'une correspondance entre les catastrophes morphologiques qui caractérisent la ville et les phénomènes catastrophiques.

7 Références

- [1] Kaufmann A. *Des points et des flèches... La théorie des graphes*. Paris, Dunod, 1968, 155 p.
- [2] Floyd R.W., « Algorithm 97: Shortest Path ». *Communications of the ACM*, vol.5, n°6, 1962, p. 345.
- [3] Badariotti D., Banos A., Moreno D. *Modélisation de la structure spatiale urbaine par un automate cellulaire non stationnaire : le modèle Remus*. colloque Sageo, Strasbourg, 2006, 16 p.
- [4] Kanevski M., Maignan M. *Analysis And Modelling Of Spatial Environmental Data*, EPFL Press, Lausanne, 2004, 300 p.
- [5] Thom R. *Modèles mathématiques de la morphogenèse*. Christian Bourgeois éditeur, Paris, 1980, 314 p.
- [6] Bailly A., Pellegrino P., Hüsler W., Ruegg J. *Grandes infrastructures de transports, forme urbaine et qualité de vie. Le cas de Genève et de Zurich*. Ed. Economica, Paris, 2001.
- [7] Duby G. *Histoire de la France urbaine*. Paris, ed. du Seuil, 5 tomes, 1980 - 1985.
- [8] Wiel M. *La transition urbaine* Paris, Mardaga, 1999.
- [9] Asté J-P. « Géomatique et gestion des risques urbains », dans *Gestion spatiale des risques*. Gérard Brugnot, Lavoisier, collection Hermes Science, Paris, 2001, 287 p.

- [10] Benenson I, Torrens P. *Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena*. John Wiley & Sons, 2004, 287 p.
- [11] O'Sullivan D. Graph-based cellular automata models of urban spatial processes. Thèse de doctorat, University College of London, Londres, 2000.
- [12] O'Sullivan D. « Graph-cellular automata: a generalised discrete urban and regional model », *Geographical Analysis*, vol.33, n°1, 2001.



Phuket

Systemes complexes et catastrophes épidémiques.

L'apport de la modélisation individu-centrée à l'étude des catastrophes sanitaires : le cas de la peste à Madagascar.

Badariotti Dominique*, Banos Arnaud**, Laperrière Vincent*

*Laboratoire SET, UMR 5603 CNRS / Université de Pau et des Pays de
l'Adour

** Laboratoire Image et Ville, UMR 7011 CNRS / ULP

<mailto:dominique.badariotti@univ-pau.fr>

Résumé

Les épidémies sont des catastrophes que l'homme a cherché à maîtriser d'abord par la connaissance des mécanismes de transmission en cause puis par la modélisation dès le siècle dernier. Une véritable théorie mathématique des épidémies s'est développée dont la principale avancée a été de définir le théorème du seuil épidémique, selon lequel la population susceptible d'être infectée doit dépasser une taille critique pour qu'une épidémie puisse se développer au sein de cette population. Cependant, les modèles classiques font bien souvent fi du contexte géographique dans lequel se développent les maladies, se contentant d'agréger les comportements individuels. L'approche par les systèmes complexes, et notamment par la modélisation et la simulation individu-centrée, apporte plus de réalisme dans les modèles épidémiologiques et ouvre la voie à de nouvelles investigations sur le repérage des seuils épidémiques, qui sont de véritables bifurcations au sens scientifique du terme.

Mots-clés : modèle individu-centré ; peste ; analyses de sensibilité ; bifurcation ; catastrophe ; seuil épidémique ; taux de reproduction épidémique R.

1 Introduction

Une épidémie de peste est une catastrophe. Au sens trivial tout le monde s'accordera à considérer que le mot « catastrophe » est tout à fait approprié pour qualifier les taux de mortalités épouvantables de la seconde grande pandémie pesteuse, la fameuse peste noire qui a dévasté l'Europe au XIV^{ème} siècle. Au sens scientifique, le terme s'accorde aussi, si on considère qu'une épidémie est finalement une discontinuité introduite dans une évolution qui, à partir d'un certain moment, va faire se déclencher et s'étendre une maladie nouvelle ou réémergente.

Dans l'étude des maladies transmissibles, l'observation des seuils qui commandent l'apparition d'une épidémie et son évolution est évidemment cruciale. Or les diverses données sanitaires collectées lors d'épidémies sont trop souvent lacunaires, du fait entre autres de leur coût de collecte voire de la capacité à les collecter, ce qui les rend insuffisantes à la mise en évidence de ces seuils. Au siècle dernier, avec l'avènement de la modélisation, s'est

développée une véritable théorie des épidémies : le modèle mathématique classique de Kermack et McKendrick en 1927 a permis de définir le théorème du seuil, selon lequel le nombre d'individus susceptibles d'être infectés doit dépasser une valeur critique introduite dans le modèle (Choisy et al., 2006) pour qu'une épidémie se produise. Ce seuil, qui correspond à une bifurcation, est étudié à travers une variable clé : le taux de reproduction épidémique R_0 , très sensible à la structure de la population initiale et aux paramètres définissant la maladie.

L'approche par les systèmes complexes, et notamment par la modélisation et la simulation individu-centrée, apporte plus de réalisme dans les modèles épidémiologiques. Par rapport au modèle compartimental classique de champ moyen, faisant l'hypothèse d'une population mélangée de façon homogène, la modélisation individu-centrée s'inscrit dans une démarche « *bottom-up* » qui permet de mettre en relation des hypothèses formulées sur le comportement des agents du système pathogène au niveau individuel, à une dynamique globale observable au niveau populationnel.

Dans cet article nous présentons le modèle Simpest, un modèle individu-centré développé pour simuler des épidémies de peste bubonique à Madagascar, dans lequel les comportements spécifiques de la puce, du rat et de l'homme sont explicitement formalisés. La recherche de seuils de déclenchement épidémique, par des analyses de sensibilité, s'inscrit dans une démarche de confrontation de nos résultats à différentes sources extérieures : des seuils observés empiriquement ou des seuils définis théoriquement à travers les modèles mathématiques.

2 Contexte de modélisation : des seuils observés empiriquement ou définis théoriquement

Le contexte scientifique sur lequel nous fondons notre démarche de modélisation de la peste à Madagascar comprend deux sources :

- 1) Des connaissances épidémiologiques et médicales sur les espèces impliquées dans le cycle de la peste rurale malgache et sur le processus de transmission inter-individuelle, reposant sur des expériences de laboratoire et sur l'observation empirique d'épidémies de peste.
- 2) Des travaux de modélisation, pour rendre compte de la dynamique des maladies transmissibles au niveau populationnel.

2.1 Connaissance empirique de la peste et seuils épidémiques

La peste bubonique est une maladie vectorielle à hôte intermédiaire qui implique à Madagascar, en dehors du bacille *Yersinia pestis*, 3 principales espèces (Brygoo, 1966).

Le rat noir est le réservoir principal de la maladie, la puce en est le vecteur, qui s'infecte sur des rat infectés et la transmet à d'autres rats susceptibles, ou éventuellement à l'homme : aussi l'homme représente-t-il un hôte secondaire ainsi qu'une impasse dans le cycle épidémiologique.

Outre les connaissances portant sur les mécanismes de transmission et d'évolution individuelle de la maladie qui alimentent en entrée notre modèle (Pollitzer, 1954 ; Audoin-Rouzeau, 2003), la déclaration obligatoire des cas de peste recensés (OMS, 1994), les enquêtes sérologiques occasionnelles ainsi que l'observation empirique de certaines épidémies de peste constituent autant de sources extérieures intervenant à différents niveaux pour la validation de nos résultats de simulation.

Les épidémiologistes ont notamment observé *in vivo*, au cours de différentes épidémies de peste malgache, des seuils de déclenchement d'épidémie portant sur différents paramètres, dont l'index puclidien *cheopis* (nombre moyen de puces de l'espèce *Xenopsylla cheopis* que l'on peut compter sur un rat). L'observation suivante a été faite par Hirst (1926) puis par Grubbs (1927), cités par Pollitzer (1954) : « il est habituellement admis, même si l'infection existe ou vient d'apparaître, qu'il n'y a pas de risque d'extension épidémique tant que l'indice *cheopis* reste en dessous de un ». Un indice *cheopis* supérieur à un semble donc propice au développement d'une épidémie murine qui risque de se propager à l'homme. Or, la littérature fait état d'un indice *cheopis* moyen égal à 1,11 en milieu rural, très variable selon les habitats du rat et les saison (Brygoo, 1966), tandis qu'en milieu urbain, à Antananarivo, B. Rasoamanana et al. (1998) avancent le chiffre de 8,4 puces par rat en moyenne annuelle.

2.2 Un seuil théorique, défini dans le modèle classique de Kermack-McKendrick

Outre les connaissances empiriques des épidémies, les modèles mathématiques étudient depuis plus d'un siècle de façon théorique les conditions pour qu'une maladie introduite dans une population puisse d'une part évoluer en une épidémie, et d'autre part s'y pérenniser à un niveau endémique. Un seuil est alors particulièrement important en matière d'évolution d'une maladie : il s'agit du seuil d'invasion (ou d'épidémisation) qui contrôle le « déclenchement » d'une épidémie après introduction dans une population susceptible.

Ce seuil d'invasion a d'abord été mis en évidence dans le cadre du modèle épidémique SIR classique de Kermack-Mc-Kendrick (1927). Ce modèle épidémique classique, ou modèle compartimental de champ moyen (Figure 1), décrit le cas d'une infection introduite dans une population de taille N constante, composée de trois classes d'individus mélangés de façon homogène : les susceptibles, les infectés et les retirés (SIR). Ces derniers représentent soit des individus morts de la maladie soit ayant guéri et s'étant immunisés.

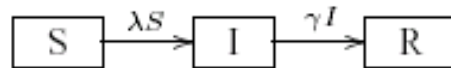


Figure 1 : Le modèle épidémique classique SIR de Kermack-McKendrick (1927)

Les équations différentielles permettant de passer d'une classe à l'autre sont les suivantes :

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I$$

avec :

- S, I, R, les proportions d'individus Susceptibles, Infectés et Retirés dans la population totale.
- β , le taux de contact, c'est-à-dire le nombre moyen de contacts entre individus au sein de N par unité de temps. On notera que $\lambda = \beta I$ est le taux d'infection, *i.e* la probabilité qu'un individu susceptible devienne infecté dans le cas où la probabilité de transmission du virus lors d'un contact susceptible-infecté est égale à 1 ;
- γ , le taux d'individus infectés passant dans la classe « retirés » par unité de temps.

L'émergence d'une épidémie dans ce type de modèle est contrôlée à l'origine par le taux de reproduction basique de la maladie R_0 , qui correspond au « nombre attendu de cas secondaires liés à l'introduction d'un individu infecté donné dans une population entièrement saine » (Anderson, May, 1991 ; Choisy et al., 2006). Cela implique que le seuil se situe à la valeur $R_0 = 1$: l'introduction d'un individu infecté ne peut en effet engendrer une épidémie que si cet individu en contamine au moins deux autres qui en contamineront au moins deux autres et ainsi de suite. Ainsi, l'épidémie ne peut se développer que si $R_0 > 1$, sinon la maladie s'éteint.

Dans le modèle SIR exposé ici, $R_0 = s_0 \frac{\beta}{\gamma}$, avec $s_0 = S(0)$, soit la proportion initiale de susceptibles à $t=0$.

L'effet de la population initiale d'hôtes sur R_0 est important : en effet la population initiale d'hôtes susceptibles doit dépasser un seuil ou une densité critique pour que l'épidémie se déclenche. Ce seuil de déclenchement est égal à $s_0 = \frac{\gamma}{\beta}$, ce qui implique $R_0 = 1$.

Lorsqu'une épidémie se déclenche au sein d'une population déjà touchée par la maladie, et que donc la population n'est plus « entièrement saine », il y a lieu de tenir compte de la proportion s d'individus susceptibles de contracter la maladie. Dans ce cas les épidémiologistes considèrent le taux de reproduction épidémique (ou de renouvellement) R (*replacement number*) pour caractériser l'évolution de la maladie après l'introduction d'un individu

infecté. L'évolution du taux de renouvellement R peut être suivie au cours du temps et correspond à: $R(t) = s_t \frac{\beta}{\gamma}$, avec $s_t = S(t)$.

On remarquera que R_0 équivaut au taux de renouvellement R lorsqu'il est calculé à $t=0$ et pour $s_0 = 1$, c'est-à-dire quand il est calculé dès l'introduction d'un individu infecté dans une population totalement saine, alors que R peut être calculé à chaque pas de temps de la simulation et moyenné sur la durée de la simulation.

Historiquement, l'effet de seuil sur le taux de reproduction de base R_0 ou plus généralement sur le taux de reproduction épidémique R a d'abord été établi pour des modèles de type déterministe (Nasell, 1995). Dans ce type de modèle, les seuils sont causés par des non linéarités et correspondent à des bifurcations. Celles-ci se produisent lorsque de faibles variations dans les paramètres de bifurcation (en l'occurrence, R et ses déterminants) entraînent des changements qualitatifs des portraits de phase (définis dans notre cas par les variables populations de susceptibles et populations d'infectés).

2.3 Expériences antérieures de modélisation de la peste

Deux essais de modélisation mathématique ont été réalisés à propos de la peste. Le premier (Noble, 1974) correspond au modèle classique de Kermack-McKendrick (1927) auquel est rajouté une composante de diffusion des populations susceptibles et infectées. Il vise à reproduire la fameuse « peste noire », pandémie qui a frappé l'Europe au XIVème siècle. A cette échelle d'analyse, le modèle, très simple, ne considère que la variation de la population humaine : le mécanisme de propagation *via* les piqûres des puces infectées sur les rats est globalisé dans un paramètre du modèle, le taux d'infection. La formulation du taux de reproduction de base de l'épidémie reste identique à celle du modèle classique.

Le deuxième modèle développé plus récemment (Keeling, Gilligan, 2000) analyse la dynamique de la maladie à une échelle plus locale, désagrégant la dynamique de la maladie au niveau des trois populations (rats, puces et humains) impliquées. Après avoir relié le taux de reproduction basique R_0 à la densité de rat, Keeling et Gilligan ont mis en évidence une densité seuil d'approximativement 3000 rats/km² en milieu urbain pour qu'une épidémie murine puisse se développer et qu'en conséquence la maladie puisse se propager à l'homme.

3 Conception individu-centrée de SIMPEST

Le modèle mathématique classique SIR pointe trois facteurs clés qui conditionnent le développement d'une épidémie : la densité de population susceptible s_t , la période infectieuse moyenne $\frac{1}{\gamma}$ individuelle et le taux de contact β . Ce dernier paramètre, défini au niveau populationnel, globalise les

interactions qui se produisent au niveau individuel. Or, dans le cas du modèle classique, β est supposé constant, ce qui traduit l'hypothèse sous-jacente au modèle classique d'une population constamment mélangée de façon homogène et où les contacts sont équiprobables entre tous les individus de la population.

L'approche individu-centrée d'un modèle épidémique permet de s'affranchir de cette hypothèse irréaliste d'une population mélangée de façon homogène. Notre objectif de modélisation est d'intégrer dans le modèle les comportements spatiaux des agents impliqués dans la maladie, pour faire ressortir et analyser les aspects contingents de la transmission de la peste liés aux rencontres fortuites entre eux. En considérant une population mobile répartie de façon non uniforme, on tient compte de la variabilité des contacts individuels et de leur corrélation spatiale. Contrairement aux modèles mathématiques, le taux de contact n'est alors plus un paramètre à calibrer en entrée du modèle, mais une variable de sortie du modèle, qui traduit la structure des contacts qui se produisent au cours de la simulation.

Notre modèle a été programmé sur la plate-forme Netlogo, qui nous permet d'initialiser un environnement sous forme d'automate cellulaire sur lequel évoluent des agents rat - puces et humains. Les humains et les rats sont disposés dans leurs habitats respectifs sur un espace schématique, représentant un village malgache et ses environs (Figure 2). L'environnement est initialisé à une certaine époque de l'année, et varie en fonction des saisons, au gré de la croissance des cultures et des récoltes : ainsi la localisation de la nourriture change selon les saisons, ce qui va avoir un impact sur les déplacements humains et des rats.

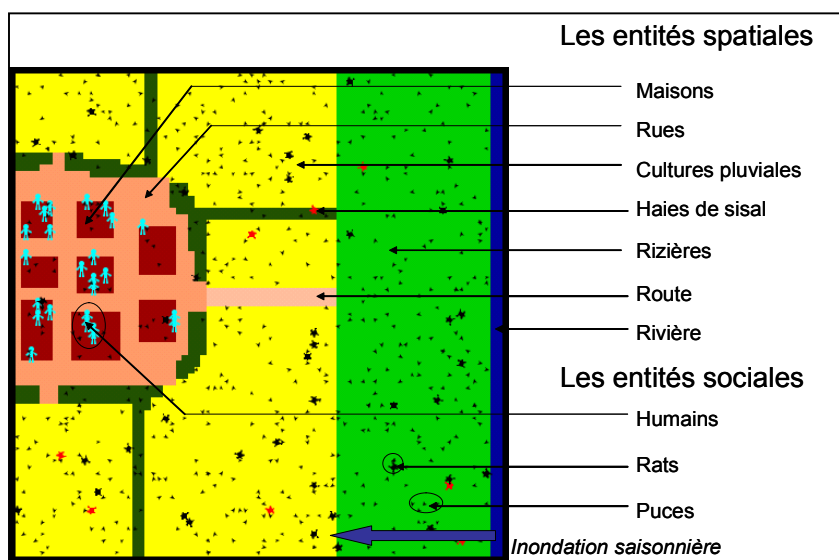


Figure 2. L'environnement du modèle SIMPEST développé sous Netlogo

Globalement le comportement des agents est dicté par trois composantes :

1. La démographie des agents suit une loi logistique : un paramètre stochastique règle les naissances, modulé par une capacité de charge du milieu, tandis que les décès sont déterminés par une espérance de vie.

2. En ce qui concerne la mobilité des agents :

- Celle des humains est déterministe : ils empruntent une trajectoire invariante de leur maison dans le village à leur lieu de travail dans les champs.
- Les rats se déplacent la nuit à la recherche de nourriture. Ils errent de lieu de nourriture en lieu de nourriture puis reviennent dans leur terrier.
- Les puces à l'état libre attendent qu'un hôte passe à proximité, elles s'y fixent et restent fixées à moins que leur hôte meure.

3. Enfin, la transmission de la peste implémentée au niveau de la puce est stochastique dans la mesure où toute piqûre n'est pas systématiquement infectante. L'évolution individuelle de la maladie, à travers le passage par les différents états épidémiologiques, suit un schéma de type SEIR (Figure 3). Lorsqu'un individu s'infecte, il passe d'un état susceptible à un état exposé (ou pestifère pour la puce) puis, à l'issue d'une période de latence, devient infectieux, c'est-à-dire capable de transmettre la peste (pestigène pour la puce). A l'issue de la période infectieuse, la puce meurt du fait de son incapacité à se nourrir. L'humain et le rat, en fonction d'une probabilité de létalité fixée, guérissent de la maladie et deviennent immunisés ou en meurent.

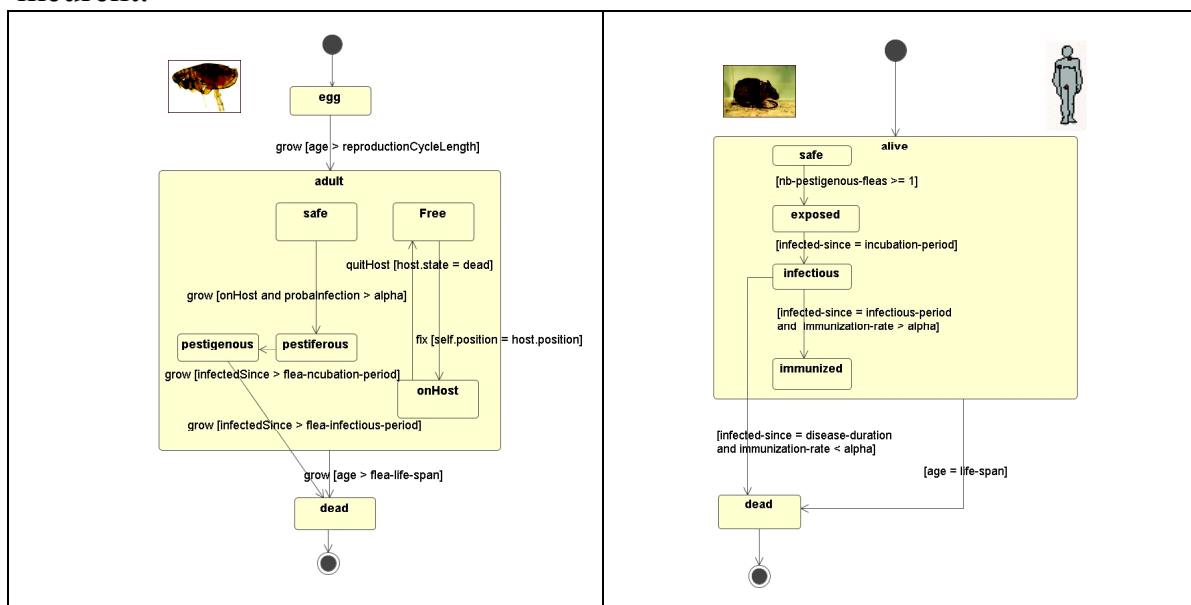


Figure 3. Diagrammes UML états-transitions du vecteur, la puce et de l'hôte, rat ou humain

4 Analyses de sensibilité du taux de reproduction épidémique aux conditions initiales

L'objectif des simulations, à travers des analyses de sensibilité, est d'étudier l'influence sur la dynamique globale de l'épidémie des paramètres et

conditions initiales du modèle, celles-ci reflétant notamment le contexte géographique local. Des effets de seuil sur le taux de reproduction épidémique peuvent-ils être mis en évidence dans notre modèle stochastique ?

Au cours des simulations nous chercherons à confronter les résultats de nos analyses aux (rares) observations empiriques faites sur les conditions pour que se développe une épidémie, ainsi qu'au seuil théorique de reproduction épidémique fondé sur le modèle mathématique classique.

4.1 Sensibilité de la force globale de l'infection à la population initiale

La figure 4 montre l'effet de la variation de l'indice *cheopis* initial (représenté en abscisses) sur une autre variable synthétique traduisant la force globale de l'infection et de sa propension à se propager à l'homme : il s'agit du cumul des puces qui se sont retrouvées à un moment de la simulation à la fois infectieuses et libres, c'est-à-dire prêtes à infecter un nouvel hôte, rat ou humain.

En termes de tendance, une augmentation de l'indice puclidien initial entraîne mécaniquement, quelle que soit la population de rats initiale, une augmentation de puces libres infectantes. Par ailleurs, nos simulations vont dans le sens des observations empiriques selon lesquelles « *il n'y a pas de risque d'extension épidémique tant que l'indice puclidien reste en dessous de un* » (Pollitzer, 1954). On constate en effet que la courbe du cumul des puces libres infectantes -et par là même le risque de propagation de l'infection à l'homme- se relève à partir d'un indice puclidien proche de 1, ce qui apparaît d'autant plus vrai que la population de rats initiale est grande.

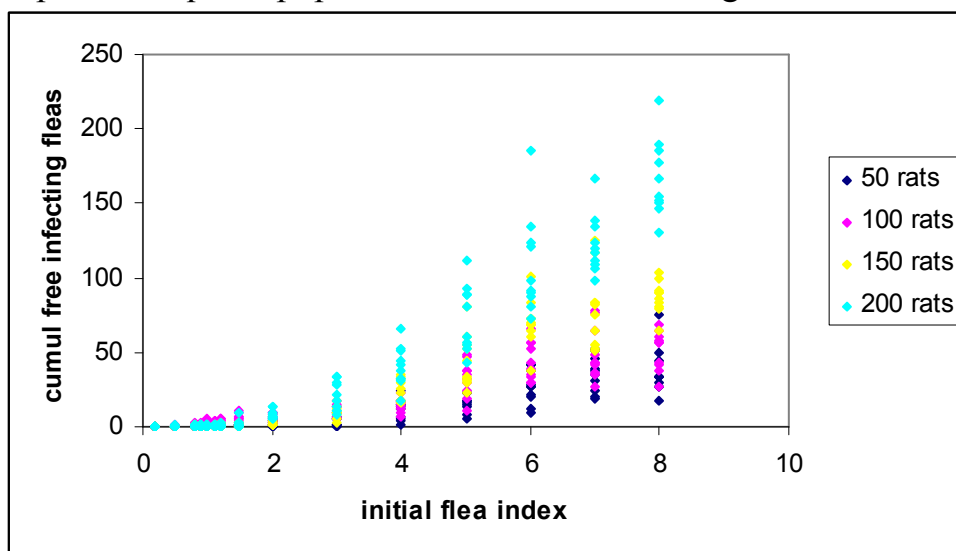


Figure 4. Influence d'une condition initiale (l'indice puclidien *cheopis*) sur la variable de sortie « cumul de puces libres infectantes » à l'issue de la simulation. Pour chaque valeur testée, 10 simulations ont été réalisées pour rendre compte de la variabilité des simulations due à la stochasticité du modèle.

4.2 Calcul du taux de reproduction épidémique

Nous avons aussi cherché à définir dans notre modèle individu-centré le taux de renouvellement de l'infection R , variable clé pour la recherche du seuil d'invasion très étudié dans les modèles épidémiologiques classiques. Pour ce faire, nous avons repris la définition acceptée du R , « *le nombre moyen d'infections secondaires produites par un individu infectieux typique durant sa période entière d'infectiosité* » (Choisy et al., 2006), que nous avons assimilé au pouvoir de transmission global (Pollitzer, 1954), faisant la synthèse entre :

- Le pouvoir de transmission des puces (R_{flea}) qui est le nombre moyen de cas d'infection secondaire chez un hôte causés par une puce infectieuse.
- Le pouvoir de transmission des rats (R_{rat}) qui est le nombre moyen de transmissions causées par un rat infectieux.

Le pouvoir de transmission moyen des puces (respectivement celui des rats) est calculé, au cours de la simulation, à chaque fois qu'une puce infectieuse (respectivement un rat infectieux) sort du système c'est-à-dire meurt de mort naturelle ou de la peste. La valeur relevée pour cette variable en fin de simulation correspond alors au taux de reproduction moyen du vecteur à l'hôte (respectivement de l'hôte au vecteur) sur la durée de la simulation.

Le taux de reproduction épidémique se calcule alors ainsi : $R = R_{\text{flea}} * R_{\text{rat}}$.

L'objectif des simulations est d'analyser la sensibilité de la variable de sortie R ainsi définie, aux conditions initiales, à commencer par celles considérées dans le modèle épidémique classique, à savoir la taille des populations de rats et de puces initiale.

4.3 Sensibilité du taux de reproduction épidémique à la population initiale

La figure 5 montre l'effet de la variation de l'indice *cheopis* initial, pour quatre tailles de populations de rats différentes, sur le taux de reproduction de la maladie R défini ci-dessus.

On observe que l'indice puclidien initial a un effet positif sur le taux de reproduction épidémique entre 0 et 3 puces par rat et donc sur la capacité de la maladie à se transformer en épidémie. Au-delà, les puces sont confrontées à la limitation du stock de rats susceptibles, ce qui explique qu'au-delà de 3 puces par rat, l'indice puclidien n'influence plus le développement de l'épidémie. Par ailleurs, on constate également que la pente de la liaison change peu selon le nombre initial de rats impliqués dans la simulation.

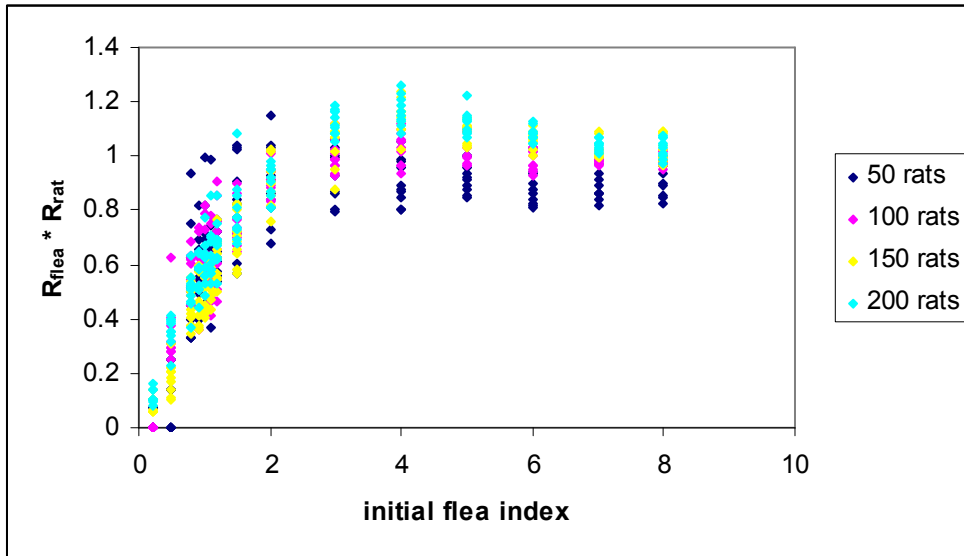


Figure 5. Influence du nombre de puces initial par rat (l'indice cheopis = initial flea index) pour quatre tailles de population de rat sur la variable de sortie « taux de reproduction épidémique ».

Le graphique ci-dessous (Figure 6) croise les deux variables de sortie du modèle considérées dans nos analyses de sensibilité aux populations de puces et de rats initiales, à savoir le taux de reproduction épidémique global $R = R_{flea} * R_{rat}$ et la force globale de l'infection représentée par le cumul des puces libres infectantes.

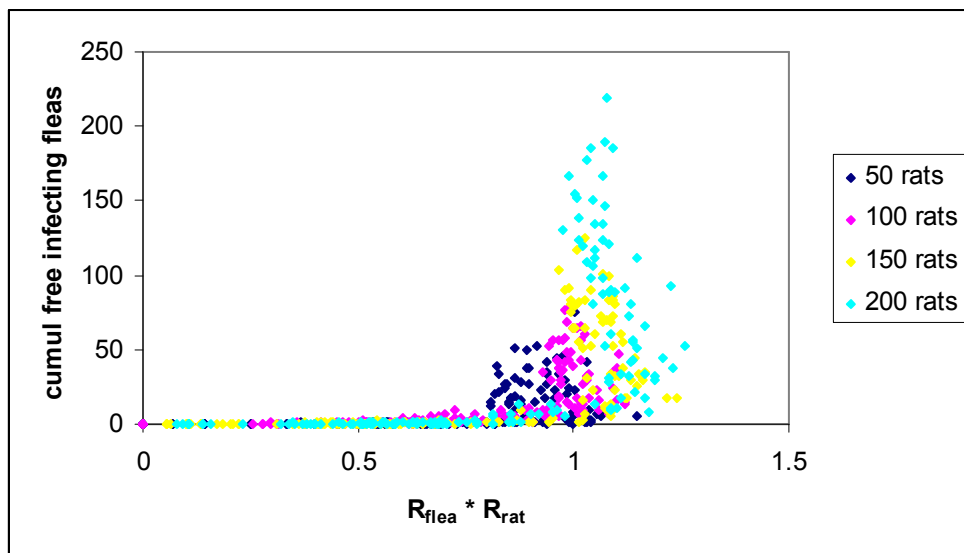


Figure 6. Croisement des deux variables de sortie « taux de reproduction épidémique » - faisant la synthèse entre le pouvoir de transmission des puces et celui des rats- et « cumul de puces libres infectantes », traduisant la force globale de l'infection.

On constate que le comportement du R montre un effet de seuil évident sur le cumul des puces libres infectieuses pour une valeur qui augmente en fonction de la population initiale. En deçà de cette valeur (environ 0,8 pour une population initiale de 50 rats ; 0,94 pour 100 rats ; et 1 pour plus de 150 rats), la force globale de l'infection mesurée en fin de simulation reste quasi-nulle, alors qu'au delà elle présente des valeurs très vite importantes, différentes selon l'indice puclidien et le nombre de rats initial. Ce résultat est à comparer à la valeur théorique $R = I$ du taux de reproduction épidémique dans le modèle classique déterministe, en dessous de laquelle une épidémie ne peut pas se développer.

5 Conclusion

Les analyses de sensibilité que nous avons réalisées sur le modèle individu-centré SIMPEST se donnaient pour objectif la recherche de seuils de développement épidémique de la peste, en comparaison avec des sources extérieures qui sont d'une part des seuils observés empiriquement et d'autre part des seuils théoriques, mis en évidence dans les modèles mathématiques.

La réalisation de ce travail nous a obligé à définir, dans SIMPEST, deux indicateurs traduisant les mêmes réalités que dans les modèles SIR mathématiques de champ moyen, à savoir la force globale de l'infection - et donc son potentiel de propagation à l'homme - représenté par le cumul des puces libres infectieuses, et le taux de reproduction de la maladie R représenté par le pouvoir de transmission des puces (nombre moyen d'infections secondaires causées par une puce infectante) multiplié par celui des rats.

Les résultats de nos analyses font apparaître un seuil marqué sur le taux de reproduction R , qui se situe autour de 1 selon la taille des populations initiales. Dans le modèle mathématique classique, ce taux doit être supérieur à 1 pour qu'une épidémie se déclenche.

L'explication de nos résultats est à rechercher dans les hypothèses qui découlent de notre approche stochastique et individu-centrée de la transmission de la peste, plus réalistes que celles considérées dans le modèle classique. Nous comptons, pour aller plus loin dans l'interprétation, poursuivre nos analyses de sensibilité aux conditions initiales en introduisant dans notre modèle individu-centré une autre variable de sortie, le taux de contact β qui est une variable-clé pour investiguer le seuil épidémique. Considéré constant dans le modèle classique compartimental de champ moyen et devant être calibré en amont de la simulation, ce taux de contact émergera directement de la simulation à travers les interactions spatialisées observées entre paires d'individus.

6 Références

- [1] Anderson R. M., May R. M., 1991, *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control*, Oxford University Press, Oxford.
- [2] Audouin-Rouzeau F., 2003, *Les chemins de la peste : Le rat, la puce et l'homme*, Presses Universitaires de Rennes, 371 p.
- [3] Brygoo E. R., 1966, « Epidémiologie de la peste à Madagascar », *Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar*, n° 35, pp. 9-147.
- [4] Choisy M. et al., 2006, « Mathematical modeling of infectious diseases dynamics » in *Encyclopédie des maladies infectieuses*, à paraître.
- [5] Davis S. et al., 2004, « Predictive thresholds for Plague in Kazakhstan », *Science*, vol. 304, pp. 736-738.
- [6] Keeling M. J., 1997, « Modelling the persistence of measles », *Trends in ecology*, 5 : 513-518
- [7] Keeling M. J., Gilligan C. A., 2000, « Bubonic plague : a metapopulation model of a zoonosis », *Proc. R. Soc. Lond. B*, n° 267, pp. 2219-2230.
- [8] Keeling M. J., Gilligan C. A., 2000, « Metapopulation dynamics of bubonic plague », *Nature*, vol. 407 pp. 903-905.
- [9] Keeling, M. J., Grenfell, B. T., 2000, Individual-based perspectives on R_0 , *J. theor. Biol.*, 203 : 51-60.
- [10] Kermack W. O., McKendrick A. G., 1927, « A contribution to the mathematical theory of epidemics », *Proc. Roy. Soc. A*, n° 115, pp. 700-721.
- [11] Nasell, I., 1995, « The threshold concept in stochastic epidemic and endemic models », in Mollison, D., *Epidemic models : their structure and relation to data*, Cambridge University Press, pp. 71-83.
- [12] Noble J.V., 1974, « Geographic and temporal development of plagues », *Nature*, n° 250, pp. 726-729.
- [13] Organisation Mondiale de la Santé, 1994, « La peste humaine en 1994 », *Relevé Epid. Hebd.* n° 71, pp. 165-172.
- [14] Pollitzer R., 1954, *La peste*, OMS, Série de monographies n°22, Genève, 737 p.

Traduire, entre rupture(s) et continuité

Franck Barbin

Pôle ModeSCoS, Université de Caen

franckbarbin@wanadoo.fr

Résumé :

La traduction est par essence une activité de discontinuité : le traducteur provoque une rupture entre le texte de départ et le texte d'arrivée. Il doit sacrifier la lettre du texte de départ s'il veut le réincarner dans une autre langue. Or, ce passage d'une langue à l'autre, pose problème : le traducteur ne passe pas directement du texte de départ au texte d'arrivée ; il transite par une étape intermédiaire que l'on peut nommer phase de déverbalisation ou « *no man's* langue ». Nous essaierons de préciser, autant que faire se peut, à quoi correspond cette étape et de discuter son bien-fondé.

La phase de reverbalisation réserve également son lot de dangers et de chausse-trapes. Même si le traducteur est l'instigateur de la rupture (idée de « traduction-séisme »), cela ne lui facilite en rien la tâche de reconstruction, comme nous l'illustrerons. Il doit apprendre à gérer ces mini-catastrophes à répétition (prendre de bonnes décisions) afin d'assurer une cohésion et une cohérence du discours. Une fois reconstruit, le texte d'arrivée doit être acceptable pour le lecteur d'arrivée et conserver le vouloir-dire du texte de départ, aussi bien dans sa composante informationnelle qu'émotionnelle.

Mots-clés : Décision, déverbalisation, reconstruction, rupture(s), traduction.

1 Introduction

Sans tomber dans les dévoiements de la licence traductive, représentée notamment par James Holmes et la « manipulation school » (Balacescu, 2003 : 516), force est de constater que toute traduction est par essence une rupture, une dé-formation du texte-source. Jean-René Ladmiral va même jusqu'à parler de « *profanation* du texte-source ». (Ladmiral, 1991 : 32) Il amène le débat au niveau religieux et dénonce le caractère sacré que l'on peut donner au texte de départ.

A l'autre extrémité du spectre se trouve l'approche linguistique de la traduction qui mise sur des correspondances, sur des transpositions, d'une langue à une autre. En d'autres termes, l'activité traduisante suivrait un schéma linéaire qui s'apparenterait à un transcodage. Les linguistes contrastivistes étudient des traductions déjà réalisées et tentent d'en tirer des leçons pour les traductions à venir (mythe de l'objectivité et de l'automatisation de la traduction). Ils considèrent la traduction comme un sous-domaine de la linguistique appliquée¹.

Nous nous intéresserons ici aux processus entrant en jeu au cours de l'opération traduisante. Nous envisageons davantage la traduction comme un

¹ Nous ne remettons pas en cause l'utilité de ce genre d'étude. Nous pouvons par exemple penser au champ de l'alignement de corpus multilingues en traduction.

acte de discontinuité. Le traducteur opère obligatoirement des bouleversements par rapport au texte de départ s'il veut l'intégrer dans toute sa dimension sociale, cognitive et culturelle :

Si nous acceptons que toute structuration linguistique est influencée par les contraintes liées à l'environnement et à une époque donnée de l'utilisation de la langue, et ce à n'importe quel moment, alors nous devons admettre que la structuration d'un texte traduit diffère de celle d'un original. (Baker, 1998 : 516)

Nous allons tenter ici de mieux comprendre les mécanismes qui permettent de passer d'une langue à une autre. Même si traditionnellement on met l'accent sur l'identité entre le texte de départ et le texte d'arrivée, il s'agit à proprement parler d'une solution de continuité : le texte d'arrivée ne sera jamais en tout point identique au texte de départ (dialectique du Même et de l'Autre). Il arrive même parfois que le traducteur n'arrive pas à reconstruire ce qu'il a consciencieusement désarticulé. S'il ne se met pas à la place de son lecteur, il aboutit à un résultat bancal voire catastrophique. S'il veut assumer pleinement son rôle de mécanicien, il doit diagnostiquer avec soin la situation avant d'opérer. De telles précautions sont indispensables pour ne pas s'égarer en chemin.

2 Déverbalisation et reverbalisation

Le traducteur provoque une rupture entre le texte de départ et le texte d'arrivée ; il détruit l'ordonnancement du texte de départ pour le réincarner dans une autre langue. Jean-René Ladmiral parle à juste titre d'un « *salto mortale* », d'un saut périlleux. (Ladmiral, 2005 : 485) Pour filer la métaphore, il faut quitter le port d'attache en larguant les amarres du texte-source et se jeter dans l'inconnu pour découvrir une nouvelle terre promise. Le traducteur doit se détacher des signifiants du texte-source s'il veut parvenir à une traduction satisfaisante. Jacques Derrida considère qu'il s'agit de l'essence même de la traduction :

Un corps verbal ne se laisse pas traduire ou transposer dans une autre langue. Il est cela même que la traduction laisse tomber. Laisser tomber le corps, telle est même l'énergie essentielle de la traduction. (Derrida, 1967 : 312)

Ce n'est qu'au prix de cet effort que le traducteur pourra produire un texte qui ne sente pas la traduction, qui soit fidèle à la fois au texte de départ mais aussi aux lois régissant la langue d'arrivée.

Ce travail de reformulation est essentiel : le traducteur ne doit pas avoir peur de briser une mécanique prosodique parfaite s'il veut aboutir à un texte d'arrivée qui se tienne, s'il veut faire entrer le texte-source dans le moule dans la langue-cible. Toutefois, il ne doit pas appliquer des règles ou des préceptes

de manière trop mécanique. Le traducteur fait appel à son expertise dans la langue d'arrivée pour trouver la formulation la plus adéquate, la plus apte à rendre compte de la charge sémantique, émotionnelle, culturelle, contenue dans le texte de départ. Le traducteur n'est pas en mesure d'expliquer toutes les raisons pour lesquelles il a retenu telle formulation par rapport à telle autre. Même s'il souhaite éveiller tel sentiment ou apporter telle nuance, il reste tributaire de la réception du texte-cible par le lecteur². La fécondité d'un modèle théorique se mesure à son pouvoir heuristique, c'est-à-dire aux multiples lectures qu'il peut susciter.

Nous parlions à l'instant que le traducteur doit se décrocher de la lettre pour parvenir au vouloir-dire. Cela suppose qu'il transite par une étape intermédiaire, par un espace de non-terme appelé par Jean-René Ladmiral « *no man's langue* » (Ladmiral, 2005 : 474), s'il veut passer d'une langue à une autre. Ce stade est couramment appelé « déverbalisation »³. Il renvoie à un moment de la réflexion du traducteur au cours duquel il s'est débarrassé des signifiants de la langue-source, mais n'a pas encore réinvesti le vouloir-dire du texte de départ dans la langue-cible. Marianne Lederer, tenante de la théorie interprétative de la traduction, explique cette étape transitoire en ces termes :

Le sens résulte de la déverbalisation de la chaîne sonore (ou graphique) au moment où connaissances linguistiques et compléments cognitifs [pertinents] fusionnent. Le sens correspond à un état de conscience. Il est à la fois cognitif et affectif. (Lederer, 1994 : 215)

C'est durant cette phase que le traducteur dégage le sens, le vouloir-dire du texte de départ. Nous ne pouvons pas à l'heure actuelle préciser ce qui se passe exactement dans la tête du traducteur (nous ne disposons que de bribes de réponse), mais des études sont en cours dans le domaine des sciences cognitives.⁴ Ce que nous pouvons dire, c'est que le traducteur se fait une image mentale de la réalité désignée par le texte de départ. Il se défait du support linguistique de départ pour en façonner une autre mouture :

² Nous ne nous appesantirons pas sur cette esthétique de la réception qui veut qu'il y ait autant de livres que de lecteurs. (Eco, 1995)

³ Eugene Coseriu est l'un des premiers à parler de déverbalisation et de reverbération. (Coseriu, 1997)

⁴ Nous pouvons penser à une recherche qui nous est proche, celle menée par le pôle ModeSCoS (Modélisation en Sciences Cognitives et Sociales), qui se trouve à la Maison de la Recherche en Sciences Humaines de l'Université de Caen. Il regroupe des linguistes, des psychologues, des neuropsychologues et des informaticiens. Un des thèmes appartenant à l'axe de recherche « Modélisation et complexité du langage » concerne la traductologie et le multilinguisme. Il traite plus particulièrement de la construction du sens par l'interprète de conférences et par le traducteur professionnel, considérée comme le résultat d'une prise de décision pilotée par les émotions.

L'interprète répète non point les mots de l'orateur, mais ses idées et qu'il existe un stade intermédiaire entre la perception des mots et la restitution du discours, stade qui correspond à l'intervention de l'interprète qui analyse et fait sienne la pensée d'autrui, en laissant délibérément disparaître la forme verbale entendue. L'artiste qui recrée le moment vécu, connaît lui aussi ce stade de l'intervention où la reproduction se fait création. (Seleskovitch, 1975 : 83–84)

La théorie interprétative se fonde sur le concept intuitif de déverbalisation, laissant ainsi une plus grande latitude au traducteur, qui constitue un maillon créateur de la chaîne de communication. S'il brise l'harmonie initiale du texte, c'est pour mieux la reconstruire dans son nouveau cadre, c'est pour mieux l'adapter aux attentes de son nouveau lectorat.

L'existence d'une phase de déverbalisation, qui viendrait s'intercaler entre une phase de compréhension et une phase de réexpression, ne semble guère plausible⁵. Nous sommes peu enclin à soutenir l'existence d'une pensée détachée de tout support verbal. Il faut plutôt voir dans la déverbalisation une métaphore pour décrire la nécessité de se débarrasser du carcan linguistique du texte de départ. Elle a toutefois le mérite d'éviter de réduire la traduction à une opération binaire de transcodage entre le texte de départ et le texte d'arrivée.

3 La Traduction-séisme

Nous risquons ce télescopage, car cette image nous semble décrire correctement ce qui se passe lors de l'opération traduisante. L'édifice du texte de départ s'écroule lorsque le traducteur le débarrasse de son support linguistique. Il ne peut ensuite le rebâtir qu'en lui donnant de nouvelles fondations, à savoir le support linguistique de la langue d'arrivée.

Nous pouvons distinguer deux genres antithétiques de « traduction-séisme ». D'un côté, nous trouvons la traduction ethnocentrique qui gomme l'altérité du texte étranger, idée combattue entre autres par Lawrence Venuti :

The ultimate aim of the book is to force translators and their readers to reflect on the ethnocentric violence of translation and hence to write and read translated texts in ways that seek to recognize the linguistic and cultural difference of foreign texts.⁶ (Venuti, 1997 : 41)

⁵ Christine Durieux compare « le sens déverbalisé flottant entre deux langues un peu comme on peut être assis entre deux chaises ». Elle se demande également à juste titre comment on peut concevoir une opération délibérée de déverbalisation postérieure à la compréhension. (Durieux, à paraître)

⁶ Traduction proposée : « Ce livre a pour objectif ultime de forcer le traducteur et le lecteur à réfléchir sur la violence ethnocentrique exercée par la traduction et d'ouvrir ainsi de nouvelles voies d'écriture et de lecture des textes traduits visant à rendre compte des différences culturelles et linguistiques des textes étrangers. »

De l'autre se situe l'approche traductrice qui privilégie la carte de l'exotisme. L'un des cas les plus manifestes peut se trouver dans la traduction des *Mille et une nuits*. Joseph Mardrus émaille sa traduction d'emprunts et de transcriptions et traduit les expressions idiomatiques mot à mot. Sylvette Larzul se montre plus que sceptique à l'égard de ces méthodes :

Le moindre inconvénient de la « littéralité » appliquée aux figements est de violer la règle de conformité linguistique que se doit de respecter toute véritable traduction : si le message est perçu par le récepteur, c'est inévitablement dans une expression en rupture avec l'usage habituel. (Larzul, 1996 : 173)

Ce degré zéro de la traduction induit des problèmes majeurs de compréhension pour le lecteur. L'utilisation massive d'emprunts de lexies étrangères teinte le récit d'exotisme, mais en obscurcit irrémédiablement le sens. Que penser de la paraphrase embarrassée : « Que cette boisson te soit saine et de délicieuse digestion ! Et qu'elle te donne les forces dans le chemin de la vraie santé ! » alors que la traduction « Grand bien te fasse cette boisson » aurait certainement mieux convenu. (Larzul, 1996 : 173)

En définitive, il y a bel et bien rupture entre le texte de départ et le texte d'arrivée, mais cette distorsion doit être acceptable pour le lecteur d'arrivée. Le traducteur doit apprendre à gérer ces mini-catastrophes à répétition, à prendre les décisions qui s'imposent, afin d'assurer une cohésion et une cohérence du discours.

Afin de mieux apprécier ce phénomène, nous allons citer l'exemple, authentique mais surréaliste, du manuel d'utilisation du grille-pain Sogo SS-97ET. Il va sans dire que nous avons sciemment choisi un exemple extrême. Nous osons espérer qu'une telle non-traduction n'est pas le fruit d'un traducteur humain, mais celle d'un traducteur automatique peu performant. Nous pouvons par exemple prendre le cas de la phrase suivante :

Le beau-frère presse le levier afin que les pains grillés descendent.

Une telle phrase heurte le bon sens : qu'est-ce que « le beau-frère » vient faire dans le manuel d'utilisation d'un grille-pain ? Est-il le seul capable d'actionner ce levier ?? Cela prouve que la personne chargée de la traduction — à tout le moins de sa relecture — ne s'est pas un instant mise à la place de l'utilisateur et qu'elle fait preuve en outre d'un manque de logique élémentaire⁷.

Une fois revenu de l'amusement initial, notre curiosité est piquée au vif par un tel non-sens : par quel miracle a-t-on pu aboutir à un résultat aussi catastrophique ? A quelle étape se situe l'erreur ?

⁷ La phase de compréhension doit mettre en évidence le raisonnement logique contenu dans le texte. Les choix opérés par le traducteur doivent faire montre de cette logique, ce qui n'est ostensiblement pas le cas ici. La fin de l'énoncé heurte également le bon sens : le pain ne peut pas se trouver grillé avant d'avoir été chauffé.

Si nous référons à la version anglaise⁸ de la notice, notre interrogation ne trouve aucune réponse satisfaisante :

Press the carriage control lever until it clicks into place.

Après recherche, nous finissons par trouver le pot aux roses dans la version espagnole :

Cunado presione la palanca para que descendan las tostadas.

Le problème est né d'une simple inversion typographique : au lieu de trouver *cuando*, qui veut dire « quand », figure sur la notice le terme *cunado*, qui désigne effectivement le « beau-frère ». Le traducteur automatique s'en est tenu au terme écrit : il reporte les erreurs d'une version à l'autre sans comprendre réellement ce qu'il écrit. Nous pouvons donc raisonnablement⁹ inférer que la traduction française a été réalisée à partir de la version espagnole et non à partir de la version anglaise. Nous en voulons pour preuve la présence de mots espagnols laissés tels quels dans la version française (*sumerjir*, *precacución* ou *funcioanmiento*)¹⁰. Nous sommes en droit de nous demander par quelles autres langues ce mode d'emploi a transité avant d'arriver à la version française.

Parmi les innombrables perles, citons le pain (*pan* en espagnol) qui devient le « velours côtelé » (confusion avec *pano* en espagnol) ou encore la locution adverbiale « à proximité d'enfants » (*cerca niños* en espagnol) qui se transforme en « enfants des grillages », car *cerca* signifie à la fois « clôture » et « près de ».

Nous pourrions donner à l'envi les formulations fantasques présentes dans ce mode d'emploi — elles sont pléthore ! —, mais nous en resterons là. Le présent mode d'emploi a été traduit mot à mot, sans le rapprocher de la réalité de l'appareil et de sa logique d'utilisation. Cette étape, qui semble aller de soi, est pourtant souvent négligée — nous avons tous eu entre les mains une notice d'utilisation obscure voire incompréhensible. Cela illustre parfaitement le rôle essentiel joué par le traducteur dans la création et dans la gestion des catastrophes.

En cassant la structure du texte original, le traducteur prend un risque nécessaire, mais il doit se montrer très vigilant lorsqu'il reconstruit le mécanisme. Nous pouvons parler de « Meccano du traducteur », en nous inspirant du « Meccano du conte » de Claude Bremond. (Bremond, 1979 : 13) Le traducteur peut agencer les diverses pièces à sa guise, mais la mécanique

⁸ Heureusement que la version anglaise existe : elle nous permet, dans le cas présent, de lever le doute quant à la signification originelle du texte.

⁹ SOGO est une marque d'électroménagers asiatique. Le mode d'emploi destiné pour l'Europe (celui dont nous disposons) ne comprend que les versions anglaise, française, portugaise et espagnole.

¹⁰ Comme ces mots étaient mal orthographiés en espagnol (on s'attendrait à trouver respectivement *sumerjir*, *precaución* ou *funcionamiento*), le traducteur automatique les a purement et simplement reproduits dans la version française.

doit continuer de fonctionner dans la langue d'arrivée. Il ne suffit pas de juxtaposer des éléments les uns à côté des autres ; il faut les ordonner de manière logique. Le traducteur doit miser sur la logique de l'auteur qui a écrit le texte de départ : s'il aboutit à un énoncé incohérent, il doit vérifier son interprétation du texte de départ.

Le traducteur ne doit en aucun cas laisser le lecteur désemparé face au texte d'arrivée : il doit visualiser le cheminement qu'il va prendre et anticiper les problèmes qu'il pourra rencontrer. C'est pourquoi, dans l'absolu, le texte d'arrivée est toujours plus explicite que le texte de départ : le traducteur a tendance à faciliter le travail de lecture et de compréhension du public-cible en gommant les aspérités, en réduisant les ambiguïtés, en normalisant la langue qu'il emploie.

Toutefois, la traduction ne se résume pas à une affaire de logique. Elle implique un investissement affectif de la part du traducteur, qui doit tenter de véhiculer la même émotion que celle contenue dans le texte de départ.

4 Un Exemple de rupture assumée

Nous allons maintenant concrètement examiner en quoi l'opération traduisante bouleverse le texte de départ et tente de le remodeler dans une forme acceptable pour le lecteur d'arrivée, aussi bien d'un point de vue informationnel qu'émotionnel.

On ne se lance pas à l'aveuglette dans la traduction d'un texte (texte pris au sens le plus large du terme). Il faut en premier lieu s'imprégner de la situation, déterminer le contexte dans lequel le texte a été conçu.

Pour illustrer notre propos, nous avons choisi de prendre une courte bande dessinée réalisée par Mort Walker¹¹ :



Ce support a l'avantage d'offrir une visualisation directe de la situation au lecteur et au traducteur, qui n'est qu'un lecteur particulier. Dans le cas présent, nous pouvons facilement déceler les liens qui unissent les deux personnages.

¹¹ Le personnage de Beetle Bailey est né sous la plume de Mort Walker en 1950, date de début de la guerre de Corée. Ce personnage est présent à l'heure actuelle dans 1 800 journaux (3^e rang mondial).

Sans trop entrer dans les détails, cette bande dessinée humoristique dénonce les préjugés dont font preuve les Blancs envers la population africaine. Son humour ne réside pas uniquement dans le ton sarcastique des paroles proférées par les deux protagonistes. Il faut évidemment s'intéresser à ce qu'ils disent et à ce qu'ils sous-entendent (dénotation/connotation), mais il faut également étudier leur représentation iconique. L'humour naît du décalage entre les deux personnages, qui s'opposent trait pour trait :

Blanc	Noir
Gradé (<i>sergeant</i>)	Simple soldat (<i>private</i>)
Bien en chair	Maigre
Presque chauve, couronne cassée (déchéance Occident)	Coupe afro (abondance Tiers-Monde)
Chope de bière (richesse)	Verre d'eau ou café (pauvreté)
Enjoué	Triste
Prétentieux	Résigné
Se montre stupide (sans s'en apercevoir)	Fait preuve d'intelligence (maîtrise parole)

Cette phase peut paraître simpliste dans cet exemple¹², mais elle est déterminante pour le traducteur : il doit mettre de son côté tous les indices lui permettant de cerner au plus près le vouloir-dire du texte dans sa globalité. Sinon, il risque de passer à côté d'une information ou d'un effet de sens essentiel. Il faut notamment repérer que le sergent perd au fur et à mesure le contrôle linguistique. Dans la première vignette, c'est le sergent qui s'exprime le mieux : il affirme son point de vue avec conviction et arrogance, tandis que le soldat défend simplement l'opinion contraire. Mais, dès la deuxième vignette, il se trouve à court d'argument alors que le soldat passe à l'offensive en lui assénant une définition du « préjugé » digne d'un dictionnaire. La dernière vignette marque la défaite éclatante du Blanc et la victoire discrète du Noir. Le Blanc essuie un revers d'autant plus cuisant qu'il n'en a pas un tant soit peu conscience. La traduction doit rendre compte de ce renversement de situation.

Nous allons surtout nous intéresser à l'ultime réplique prononcée par le simple soldat : « Just flushing you out, baby. » Pour comprendre ce dernier phylactère, il faut avoir entrepris, comme nous venons de le faire, une analyse détaillée de la situation. Il est impossible de traduire littéralement les paroles prononcées par le soldat africain. *Flush out* est un terme de vénerie qui désigne l'action de lever le gibier, de le forcer à se montrer. Le traducteur doit

¹² Nous avons délibérément choisi un exemple illustré à des fins pédagogiques. Une bonne partie du travail de représentation mentale de la situation est déjà effectuée. Ce travail se révèle beaucoup plus ardu pour la compréhension du fonctionnement d'un laser à rubis ou de la situation géopolitique d'un pays.

trouver un équivalent de discours qui marque le triomphe modeste du subalterne. Il doit plus exactement se mettre à sa place pour trouver une formule naturelle et appropriée à ce moment de la conversation. Diverses formulations peuvent convenir à la situation décrite dans cette bulle. Il ne faut pas oublier qu'il n'y a jamais une seule traduction recevable, mais toujours des traductions aussi valables les unes que les autres, souvent pour des raisons différentes. Tout dépend du message que le traducteur veut faire passer au lecteur :

C'est bien c'que j'te disais, l'ami.
En voilà un parfait exemple, mon vieux.
Tu viens de te trahir, mon coco.
Tu vois qu'j'avais raison, mon pote.

Au cours de son travail, le traducteur doit sans cesse opérer des choix, choix déterminés par l'émotion qu'il veut transmettre au lecteur :

Cette ouverture mène à la formulation d'une nouvelle théorie de la traduction qui s'articule autour de la décision régie par l'affect.
(Durieux, à paraître)

5 Conclusion

L'activité traduisante est un cas particulier de discontinuité, car c'est la même personne qui provoque la rupture et qui répare le déséquilibre qu'elle avait engendré. Le traducteur se meut en démiurge tout puissant, qui a droit de mort et de vie sur le texte qu'il a entre les mains. C'est bien dans cet ordre que les événements se déroulent : il éradique les signes linguistiques du texte de départ pour mieux les réincarner dans ceux de la langue d'arrivée.

Ce processus ne se fait pas directement ; il suppose de transiter par une étape intermédiaire appelée phase de déverbalisation, qui, malgré sa commodité d'expression, ne décrit que de manière imparfaite le cheminement suivi par le traducteur. Toujours est-il que cette frontière ténue est essentielle pour capter le vouloir-dire du texte et pour s'affranchir de la forme du texte-source. Le terme de déverbalisation répond parfaitement à cet objectif pédagogique, mais cela ne veut pas dire que nous souscrivons à l'existence d'une pensée sans support verbal.

Vient ensuite l'instant le plus périlleux pour le traducteur, celui où il doit reconstruire un texte qui soit à la fois en symbiose avec le texte de départ et adapté au lecteur-cible. Ce dernier temps est crucial, car il s'en remet au lecteur qui va juger sa création. Le lecteur ne se soucie guère de la période critique que le traducteur a dû traverser. Ce qui l'intéresse, c'est le résultat dans la langue d'arrivée, c'est le maniement et la maîtrise de la langue, c'est l'effet produit par le texte qu'il a sous les yeux. Le traducteur est parti d'un équilibre et il se doit de revenir à un état stable à l'arrivée, même si cet équilibre est de nature différente. Il doit prendre des décisions plus ou moins

conscientes à chaque instant de l'activité traduisante, mais ces prises de décisions servent un but communicationnel :

Décider, c'est établir un équilibre délicat entre la puissance de l'émotion et la force de la cognition. (Berthoz, 2003 : 307)

En définitive, le traducteur pérennise l'œuvre de départ, dans toute sa charge informationnelle et émotive, bien qu'elle ait subi moult bouleversements au cours du processus de traduction. Il reste à déterminer de quelles manières il peut optimiser ses stratégies de prises de décisions.

6 Références bibliographiques

- BAKER, Mona. « Réexplorer la langue de la traduction : une approche par corpus. » *Meta* XLIII, 4 (1998) : 515–523.
- BALACESCU, Iona et Bernd STEFANINK. « Modèles explicatifs de la créativité en traduction. » *Meta* XLVIII, 4 (2003) : 509–525.
- BERTHOZ, Alain. *La Décision*. Paris : Odile Jacob, 2003.
- BREMOND, Claude. « Le Meccano du conte. » *Magazine littéraire* 150 (juillet–août 1979) : 13–16.
- COSERIU, Eugenio. « Portée et limites de la traduction. » *Parallèles* 19 (1997) : 19–34.
- DERRIDA, Jacques. *L'Écriture et la différence*. Paris : Seuil, Points Essais, 1979.
- DURIEUX, Christine. « Vers une Théorie décisionnelle de la traduction. » In *Mélanges — Hommage à Michel Ballard*, Ahmed El Kaladi. Arras : Artois Presses Université, à paraître.
- ECO, Umberto. *Lector in fabula*. Paris : Le Livre de Poche, Biblio Essais, 1995.
- LADMIRAL, Jean-René. « La Langue violée ? » *Palimpsestes* 6 (1991) : 23–33.
- . « Le *Salto mortale* de la déverbalisation. » *Meta* L, 2 (2005) : 473–487.
- LARZUL, Sylvette. *Les Traductions françaises des Mille et une nuits. Étude des versions Galland, Trébutien et Mardrus*. Paris : L'Harmattan, 1996.
- LEDERER, Marianne. *La Traduction aujourd'hui : le modèle interprétatif*. Paris : Hachette FLE, 1994.
- SELESKOVITCH, Danica. *Langage, langues et mémoire : étude de la prise de notes en interprétation consécutive*. Paris : Minard, Lettres Modernes, 1975.
- VENUTI, Lawrence. *The Translator's Invisibility : A History of Translation*. Londres et New York : Routledge, 1997.

Discontinuités dans les représentations des risques majeurs par les citoyens.

Perception des risques par les habitants et les actifs de l'agglomération de Mulhouse

Sandrine Glatron*, Elise Beck***

* Laboratoire Image et Ville, UMR 7011, Université Louis Pasteur (Strasbourg I) / CNRS

{prenom.nom}@lorraine.u-strasbg.fr

** Institut de Physique du Globe de Strasbourg, UMR 7516, Université Louis Pasteur (Strasbourg I) / CNRS

{prenom.nom}@eost.u-strasbg.fr

Résumé

Il est acquis que les risques sont une construction sociale, même si on ne peut occulter l'existence des aléas (qui entrent dans la définition même des risques comme résultante d'une combinaison d'aléa et d'enjeux). Pour notre part, nous avons porté notre attention sur la manière dont les citoyens se représentent les risques majeurs auxquels ils sont exposés (en nous focalisant sur le risque industriel) tant il est vrai que cet aspect cognitif participe à la vulnérabilité des populations et peut également jouer un rôle dans la gestion des risques. C'est avec les outils des géographes que nous analysons le système « ville » et son articulation avec celui des représentations cognitives communes des risques pour tenter de repérer les discontinuités pressenties, notamment en fonction de ruptures dans la morphologie urbaine car celles-ci coïncident plus ou moins avec des discontinuités sociologiques, administratives, politiques ou gestionnaires. En nous appuyant sur les résultats de deux enquêtes par questionnaires menées à Mulhouse, nous proposons de cartographier la répartition spatiale des représentations citoyennes des risques.

Mots clés : Risques majeurs, représentations cognitives, cartographie, ville.

1 Introduction

La représentation cognitive des risques est influencée par de nombreux facteurs, intrinsèques (par exemple du point de vue des individus : les trajectoires de vie ; du point de vue des groupes sociaux : les appartenances culturelles, socio-professionnelles, les revenus) et externes (la perception du danger, le type de quartier habité, l'environnement, la signalisation du risque). Dans l'espace urbain, la répartition des manières de voir les risques s'articule au système complexe des villes dont les éléments spatiaux, administratifs et

politiques sont « activés » pour permettre une gestion des risques optimale dans une « société des risques » ainsi que U. Beck caractérise les sociétés occidentales contemporaines (U. Beck, 2001).

Nous avons cherché à appréhender les représentations cognitives, que nous soupçonnons variées à travers la société et l'espace, dans l'agglomération de Mulhouse. En effet, cette ville est soumise à différents aléas (inondations, séismes, coulées boueuses, accidents industriels, transport de matières dangereuses, rupture de barrage, accident nucléaire), ce qui laisse la place à des représentations différenciées des risques induits par ces aléas (figure 1). Deux enquêtes nous ont permis de cerner la manière dont les citoyens, habitants ou travailleurs, se représentent les risques auxquels ils sont soumis. En s'intéressant ici exclusivement à ce que les enquêtés nous disent des risques auxquels ils se sentent exposés, nous pouvons repérer diverses ruptures dans le sentiment d'exposition aux risques industriels. Nous nous concentrons ici sur celles qui apparaissent autour de la distance géographique aux sources du danger. Après avoir décrit succinctement la démarche d'acquisition de nos données, (partie 1), c'est à l'échelle du quartier que nous proposons de les représenter car nous repérons des différences dans les représentations, en lien avec la morphologie urbaine et la topographie (partie 2) par rapport aux sources mêmes du danger. Une analyse plus complexe de la représentation des risques industriels nous conduit à construire un « indice de perception » qui rend compte des ruptures introduites par les jeux des « frontières » gestionnaires (celles-ci induisant des inégalités dans la distribution de l'information (partie 3).

La représentation cartographique de ces différences et des ruptures observées reste pour le moment classique car nous nous heurtons à des difficultés d'agrégation et de généralisation des données. Surtout, le sentiment d'exposition reste un facteur très partiel de la vulnérabilité socio-spatiale : compléter la cartographie de la vulnérabilité suppose d'inclure d'autres paramètres, dont certains, statistiques, nous sont fournis suivant des limites peu en adéquation avec la spatialisation des risques. .

2 Acquérir des données sur les représentations cognitives citadines des risques

Deux enquêtes de terrain à Mulhouse

Les études sur la « perception » des risques sont assez peu fournies, même s'il est admis que les risques sont une construction qui comprend des dimensions sociales, psycho-sociales ou politiques majeures. La manière dont les différents agents qui contribuent à leur gestion se représentent les risques a pourtant une influence notoire sur la vulnérabilité des sociétés et des territoires à ces aléas (Cutter, 1993). Ainsi, on peut estimer qu'une population bien avertie se comportera de manière adéquate en cas d'événement, que

celui-ci soit d'origine naturelle, industrielle ou technique, évitant qu'il ne se transforme en catastrophe par le nombre ainsi réduit des victimes et des biens affectés. Si la relation entre l'information connue, éventuellement retenue, et les comportements appropriés en cas de catastrophe n'est pas bien établie (Denis, 1998) car la vérification en exige la réalisation d'une catastrophe, l'étude des perceptions permet d'amorcer la démarche d'une meilleure connaissance des représentations cognitives des risques.

Deux enquêtes nous ont permis d'avancer dans cette direction. La première a été menée auprès de 136 habitants tirés au sort dans cinq zones caractérisées par un risque bien identifié (inondation, risque « sanitaire », risque industriel, risque lié à la proximité d'axes de transport sur lesquels circulent des matières dangereuses, zone sans risque particulier). Après une « fiche signalétique », cinq questions ouvertes très courtes sur ce que les habitants ressentent de leur exposition aux « risques, dangers et nuisances » dans leur espace résidentiel étaient posées (Beck *et al.*, 2004).

La seconde enquête nous a conduit à interroger dans le flux 491 personnes, réparties en deux groupes principaux d'importance équivalente :

- une population « diurne », c'est-à-dire présente dans les lieux de l'enquête pendant la journée, plutôt au travail (les actifs) ;
- une population « nocturne », composée des habitants, dont on peut supposer qu'ils seront présents à leur domicile (lequel constitue la référence spatiale de ces individus) pendant la nuit essentiellement.

Une triple stratification par commune d'appartenance, âge, sexe pour les habitants, et par commune et NAF (nomenclature des activités françaises) pour les actifs, nous permet d'aboutir à une bonne représentativité de notre échantillon relativement à la population mère des 14 communes du territoire urbain continu retenu pour notre enquête.

Au cours de cette seconde enquête par questionnaire, 43 questions étaient posées, concernant la localisation de l'enquêté dans l'agglomération, la place des risques majeurs parmi les préoccupations sociétales générales et locales, la connaissance des risques locaux, des moyens de gestion, des consignes à suivre en cas de catastrophe et des modalités de l'information préventive complétées par une fiche signalétique (Beck et Glatron, 2006a). Nous avons choisi ici de représenter un extrait des résultats de ces enquêtes concernant seulement le sentiment d'exposition aux différents risques potentiellement présents dans l'agglomération de Mulhouse pour nous intéresser ensuite aux seuls risques industriels. En effet, les sources de ces risques industriels sont aisément repérables et font l'objet d'une attention toute particulière de la part des autorités publiques, donnant lieu à la mise en place de périmètres bien spécifiques de gestion dans lesquels est notamment diffusée l'information préventive à destination des populations¹.

¹ Plusieurs textes législatifs notifient le « droit à l'information » sur les risques majeurs d'abord affirmé dans l'article 21 de la loi n°87-565 du 22 juillet 1987 relative à

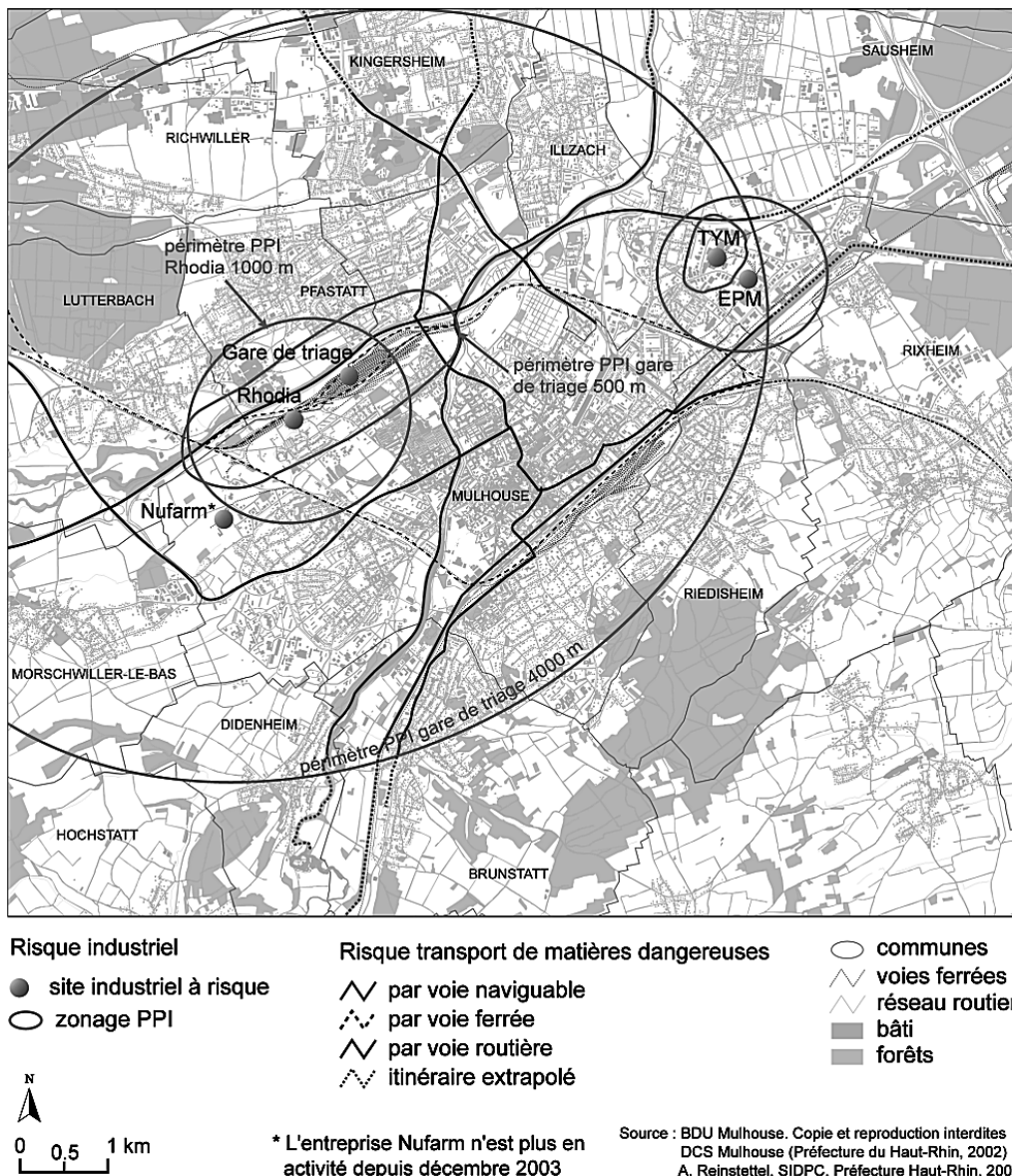


Figure 1 : Mulhouse, une agglomération alsacienne soumise à de multiples aléas.

Des différences socio-démographiques peu marquées

Dans l'une et l'autre enquête, nous avons cherché, par des questions ouvertes, à connaître les risques auxquels les citoyens enquêtés se sentent exposés sur leur lieu de résidence, d'emploi ou d'étude². Compte-tenu de la grande

l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.

En 1990, le décret n°90-918 du 11 octobre *relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs pris en application de l'article 21 de la loi n°87-565 du 22 juillet 1987* fixe le contenu et la forme des informations ainsi que les modalités de diffusion. Les exploitants des établissements dangereux à l'origine de ce PPI, en liaison avec le préfet, sont contraints d'informer les populations sur « l'existence et la nature du risque, ses conséquences prévisibles pour les personnes, les biens et l'environnement, les mesures prévues pour alerter, protéger et secourir » (décret 2001-470 du 28 mai 2001).

2 Nous leur posons la question ouverte :

similarité des questions dans leur intitulé comme dans leur forme (ouverte), dans le reste de l'article et sauf mention contraire, nous additionnons simplement les deux séries de résultats. Il ressort de cette question, spécifiquement consacrée à la « perception » des risques, qu'une large proportion de personnes se sent en sécurité dans les lieux fréquentés quotidiennement (un quart de l'échantillon ; figure 2). Parmi les risques cités, c'est la proximité qui l'emporte largement, puisque la délinquance (insécurité) arrive loin devant tous les risques cités. Globalement, c'est donc le « banal » qui inquiète les citoyens, bien plus que les risques majeurs, environnementaux, moins perceptibles au quotidien (moins médiatisés, moins proches de différents points de vue).

Même si peu de citoyens se sentent finalement concernés par le risque industriel (seulement 7 % des réponses pour la totalité de nos échantillon, toutes enquêtes confondues), en dehors de courtes périodes lorsque surviennent des accidents localement ou à l'échelle nationale, ce risque mérite que l'on s'y intéresse spécifiquement. En effet, l'implantation des établissements à risque à caractère industriel, parce qu'elle est ponctuelle sur un territoire, entraîne une répartition anisotrope du risque qui y est lié. Dès lors, et dans une société dont la « risquophobie » tend à s'accroître continuellement, les autorités mettent en oeuvre des mesures de prévention et de gestion des risques qui ne couvrent pas le territoire de manière uniforme (voir Fig. 2).

En termes socio-démographiques, les personnes qui affirment se sentir exposées au risque industriel sont, davantage que le reste de l'échantillon, des adultes de 40 à 60 ans, vivant en couple, plus diplômés que la moyenne et habitant plus souvent dans des maisons individuelles. Cette dernière donnée concernant la forme de l'habitat nous incite à étudier plus précisément la répartition spatiale des individus ayant affirmé craindre les risques industriels : en effet, les quartiers où sont localisés les sources de risques industriels furent périphériques au moment de l'implantation des sites aujourd'hui considérés comme dangereux. Bien que localisés au cœur de l'espace urbain actuel, ils sont encore constitués d'une forte proportion de maisons individuelles.

En l'absence de discontinuités majeures dans le profil socio-économique et démographique des individus se sentant exposés au risque industriel, il nous apparaît intéressant de rechercher les variations dans la répartition spatiale des représentations cognitives des risques par les citoyens que l'on trouve le plus de variations.

- « quels sont les risques, les nuisances ou les dangers auxquels vous sentez exposé(e) ici ? » (1e enquête) ;

- « citez les risques auxquels vous vous sentez, vous personnellement, le plus exposé sur votre lieu de travail / d'habitat ? » (2e enquête).

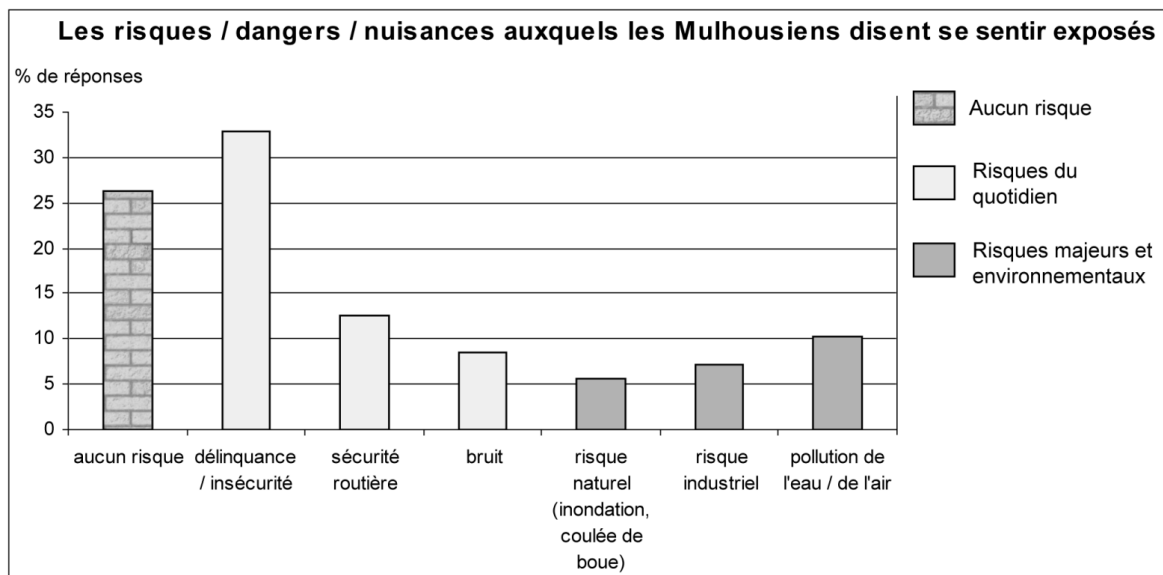


Figure 2 : les risques auxquels les Mulhousiens disent se sentir exposés.

3 Discontinuités liées à la morphologie et à la topographie

Toujours en se fondant sur la question ouverte, commune aux deux enquêtes, permettant aux enquêtés de préciser à quel(s) risque(s) ils se sentent exposés sur le lieu de leur résidence, de leur travail ou de leurs études, nous pouvons assez nettement remarquer une logique spatiale dans les réponses. La répartition des individus qui se sentent affectés par la présence de risques industriels offre une bonne corrélation entre la perception directe des sources de danger et la sensibilité aux risques qu'elle semble entraîner. Ainsi, une grande partie de ces individus se situe dans le périmètre du plan particulier d'intervention (PPI) soit de l'usine Rhodia, classée Seveso « seuil haut », soit de la gare de triage³ (figure 3). La représentation du centre moyen de chaque distribution (individus ayant répondu être sensibles soit au risques industriels, soit à un autre risque, soit à aucun risque) confirme la différenciation des perceptions selon que les individus se trouvent dans ou hors du PPI. Nous ne pouvons affirmer que cette plus forte proportion est liée à l'influence de l'information délivrée seulement dans le PPI de Rhodia puisque seulement 15,7% de ces individus répondent avoir reçu et conservé la plaquette qui fait office d'information légale et obligatoire sur les risques encourus par les populations riveraines des installations dangereuses ; mais la proximité de ces installations est en revanche évidente. Ainsi, la présence des sites industriels est citée par toutes les personnes « sensibles » au risque industriel, qu'il

³ La gare de triage de Mulhouse ne constitue pas une installation classée à proprement parler. Cependant, étant donné la quantité et la dangerosité des substances qui y transitent ou qui y sont stockées, elle fait l'objet d'un PPI.

s'agisse de Nufarm⁴, Rhodia ou des voies de circulation des convois dangereux que constituent les voies ferrées, la gare de triage elle-même, et l'autoroute au nord-ouest de l'agglomération.

Surtout, dans le cadre de la première enquête, parce qu'elle était menée au domicile des personnes interrogées, à l'enquêteur pouvait vérifier et noter la proximité « sensorielle » des usines ; nous savons ainsi que les personnes sensibles » voient les usines ou en sentent les émanations. Il y a donc perception directe des sources, notamment en raison de la topographie du site : les quartiers au sud de la gare et de Rhodia, et à l'ouest de l'agglomération surplombent les installations dangereuses (cf. courbes de niveau sur la figure 4).

A l'échelle de la rue, enfin, certaines « frontières » urbaines dessinent comme des remparts dans les perceptions. Ainsi, nous avons observé un taux de crainte des risques industriels bien plus élevé au nord de la rue Jean Martin, qui longe l'usine Rhodia sans pour autant que celle-ci ne soit directement visible, car elle est masquée par les immeubles, qu'au sud où les habitants de la petite zone pavillonnaire qui jouxte le quartier immédiatement contre l'usine se sentent nettement plus concernés par l'insécurité et l'agitation des jeunes que par un éventuel accident sur le site de Rhodia. Il s'agit là, toutefois, davantage d'une intuition que d'un constat numérique, et cette intuition mérite d'être vérifiée par un complément d'enquête dans les zones concernées, auprès d'autres individus et d'autres sites analogues.

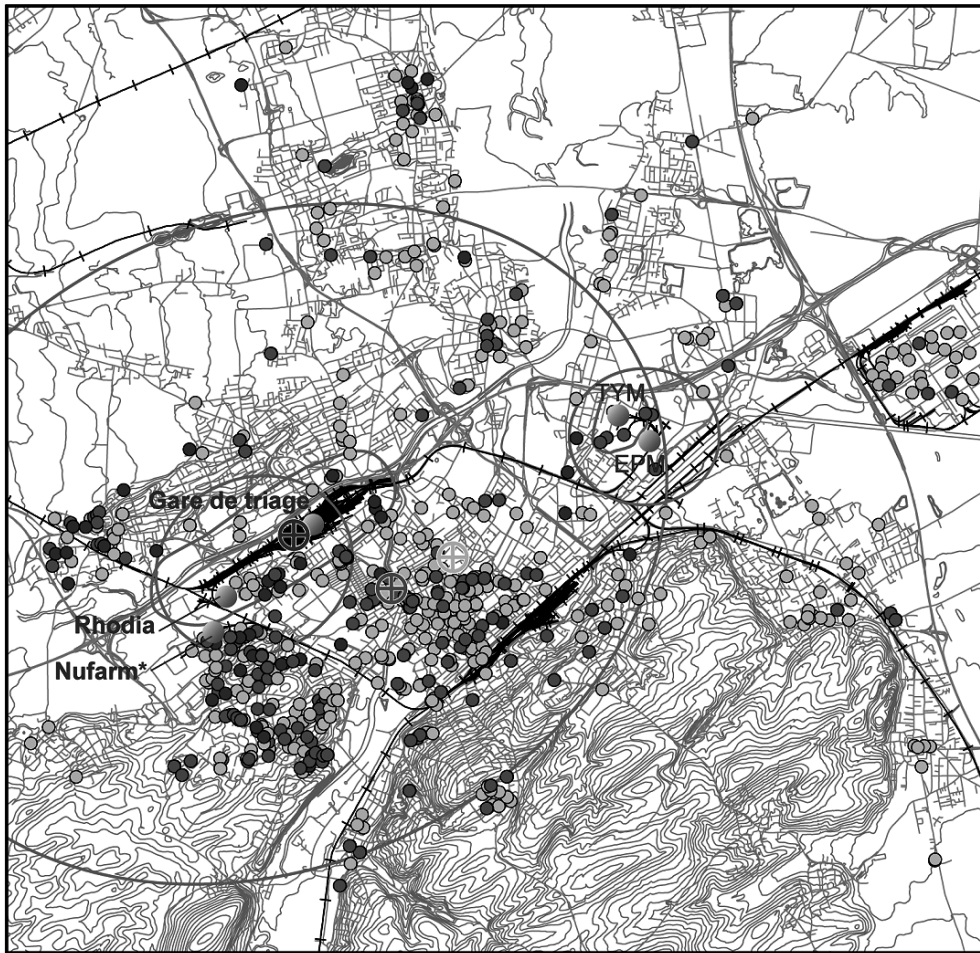
Si les réponses à une question « simple » nous permettent de noter une répartition assez nettement différenciée dans l'espace des individus sensibilisés aux risques industriels, le nombre des facteurs qui entrent dans les représentations cognitives des risques (même en nous en tenant aux seuls risques industriels) nous incite à proposer un indice pour prendre au mieux en compte cette complexité.

4 Discontinuités dans les représentations cognitives : le rôle l'information et des partitions d'ordre gestionnaire

L'importance de la distance aux sources de danger et de la distribution de l'information sur la représentation cognitive des risques nous est apparu dans le cadre d'une étude sur la vulnérabilité des populations. Comme cette vulnérabilité se caractérise par une multitude de facteurs, sa complexité peut être appréhendée d'une manière synthétique grâce à la construction d'un indice⁵.

4 L'usine Nufarm, classée Seveso « seuil bas », a été fermée fin 2003. Cependant, elle était toujours en activité lorsque la première enquête a été menée (figure 1).

5 Les études de vulnérabilité par le biais des indices datent d'une dizaine d'années (Chardon, 1994 ; Chardon et Thouret, 1994 ; D'Ercole, 1996; Cutter et al., 2000). Elles



Réponses des individus à la question "quels sont les risques/dangers auxquels vous vous sentez exposé(e) ?"

- risque industriel
- autre risque
- aucun risque
- ⊕ centre moyen

* L'entreprise Nufarm n'est plus en activité depuis décembre 2003

Source : BD Carto, BD Topo, IGN
A. Reinstettel, Préfecture du Haut-Rhin

- +—+ réseau ferré
- réseau routier
- périmètre PPI
- courbe de niveau
- site industriel à risque

0 1 2 km



Figure 3 : La perception des sources de danger accroît la sensibilité aux risques qui y sont liés.

A la suite de R. D'Ercole (D'Ercole, 1996), nous avons pris en compte trois catégories de facteurs de vulnérabilité : ceux liés à la représentation cognitive des risques, ceux liés à la connaissance de ces risques et enfin les facteurs relatifs aux caractéristiques socio-démographiques et techniques (Beck et Glatron, 2006b). Nous proposons ici de nous concentrer sur la composante, ou sous-indice, qui porte plus spécifiquement sur la représentation cognitive des risques industriels.

visent notamment à caractériser la vulnérabilité sociale de la population, à partir de données d'enquêtes et de recensement.

Restreignant un peu le nombre des réponses considérées, nous avons construit cet indice en nous fondant sur la deuxième enquête. Chaque modalité de réponse a été affectée d'un poids compris entre 0 et 1, selon son degré d'explication de la représentation cognitive des risques d'un individu (1 représentant une représentation cognitive élevée⁶). L'indice synthétique correspond à une somme des représentations cognitives « simples » permettant d'appréhender d'une part le sentiment d'exposition des individus interrogés, d'autre part leur capacité à imaginer une catastrophe industrielle à Mulhouse⁶.

L'exposition réelle des individus à l'aléa industriel n'a pas été prise en compte : les enquêtés travaillant ou résidant à l'extérieur d'un PPI n'ont pas été différenciés de ceux effectivement exposés à l'aléa industriel tel que notifié dans les études de dangers.

La représentation cartographique de l'indice nous a semblé une étape nécessaire pour comprendre l'influence de l'espace sur la représentation cognitive des individus.

Tout d'abord, les résultats ont été représentés pour chacune des personnes enquêtées (figure 4), afin de pouvoir identifier les représentations cognitives individuelles. A première vue, la distribution de l'indice semble aléatoire et sans lien réel avec l'espace. Dans certains quartiers, on observe une certaine hétérogénéité des valeurs d'indice (à l'est de Mulhouse). Pourtant, une analyse plus fine indique une plus forte proportion des individus caractérisés par un indice de représentation cognitive élevée (supérieur à 1,8) à l'intérieur des PPI (11,8%) par rapport à l'extérieur des PPI (7,5 %). De plus, aucun individu résidant ou travaillant à l'extérieur des PPI ne présente un indice égal à 3 (valeur maximale de l'indice) quand ils sont tout de même 3% dans le PPI. Ce résultat est confirmé par le résultat complémentaire : en effet, à l'inverse, une proportion plus grande d'individus de représentation cognitive nulle sont localisés à l'extérieur des PPI (46,2 % contre 43 % à l'intérieur).

	indices					total
	0 à 0,3	0,31 – 1,00	1,01 – 1,81	1,81 – 2,50	2,51 – 3,00	
hors PPI	46,2	37,7	8,4	7,5	0	100
in PPI	43,0	39,4	7,2	8,9	2,9	24
agglomération	43,7	37,9	7,5	8,9	2,2	76

Figure 4 : proportion des enquêtés par classe d'indice (en %)

6 Une perception est considérée « élevée » quand : « risque industriel » a été spontanément cité pour répondre à la question ouverte « à quels risques vous sentez-vous personnellement exposé(e) sur votre lieu de résidence / travail » ; le sentiment d'exposition au risque paraît élevé à l'enquêté à qui nous demandions (question fermée) de hiérarchiser l'importance de son exposition ressentie à 14 risques proposés ; l'enquêté indique (capacité d'imaginer) que la catastrophe considérée (industrielle) pourrait se produire dans un contexte local, l'agglomération mulhousienne.

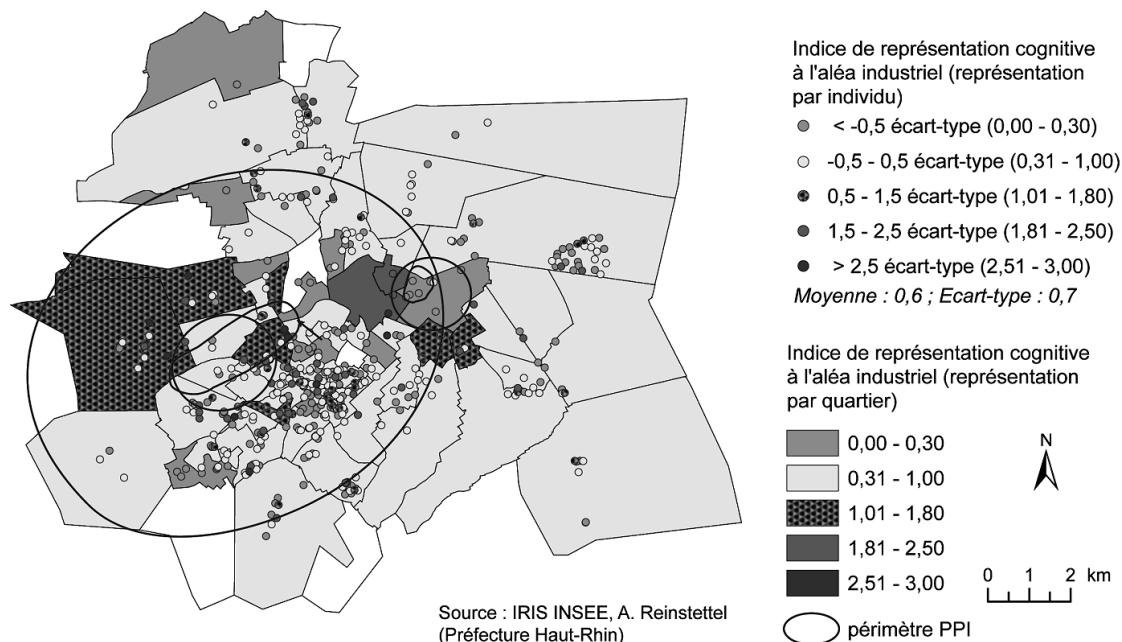
Cette observation sur une tendance spatiale nous a incité à opter pour une représentation par quartier, également, car une généralisation des résultats à l'ensemble de l'espace étudié peut avoir des incidences sur leur lisibilité et les applications qui pourraient en être faites (en termes opérationnels, par exemple)⁷. La région d'investigation a fait l'objet d'une sectorisation à partir de deux découpages préexistants : d'une part les IRIS (îlot regroupés pour l'information statistique, source INSEE, dans la perspective ultérieure d'utiliser ces données statistiques conjointement aux données de perception, afin de cartographier la vulnérabilité), d'autre part la caractérisation morpho-urbaine nous permettant de proposer des quartiers « homogènes », à partir d'une analyse sommaire par photo-interprétation, avec l'hypothèse sous-jacente que les caractéristiques morpho-urbaines coïncident avec des traits socio-économiques dominants dans la composition des habitants. L'homogénéité, ici, se fonde sur les caractéristiques du bâti : maisons ouvrières mitoyennes, centre ancien, quartier de « barres », etc.

A chaque quartier résultant de ce découpage a été affecté un indice correspondant à la moyenne des indices des individus localisés dans ce quartier (figure 5). La moyenne n'est certes pas un paramètre adapté pour qualifier un groupe d'individus aux valeurs dispersées et hétérogènes. Cependant, il permet de donner des indications sur la tendance générale de la représentation cognitive du risque industriel et de rendre plus lisible une information dispersée sous forme ponctuelle. Il faut ici souligner que le mode, pourtant plus pertinent, n'a pu être employé étant donné le nombre trop faible d'individus enquêtés dans certains quartiers.

Par la représentation cartographique des résultats, nous souhaitons démontrer l'influence des distances aux sources de danger industriel dans la représentation cognitive des risques. Notons que c'est la distance euclidienne qui est retenue ici en ce qui concerne la cartographie car d'autres distances caractérisant la familiarité avec les risques ou l'expérience de catastrophes par exemple ne sont pas généralisables.

La cartographie par quartier de l'indice de représentation cognitive à l'aléa industriel permet d'identifier une rupture entre l'espace localisé à l'extérieur des PPI et celui à l'intérieur des PPI. Très logiquement, des valeurs plus faibles sont observées dans les quartiers périphériques, là où les individus ne font pas l'objet d'une information spécifique sur le risque industriel. Les valeurs d'indices plus élevées (supérieures à 1,8) sont rencontrées quasiment exclusivement à l'intérieur des PPI.

⁷ Considérant que la représentation cognitive des risques ne constitue pas un phénomène continu dans l'espace, nous n'avons pas procédé à une interpolation des résultats.



La méthode de discrétisation est basée sur l'écart-type et la moyenne des indices des individus. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à l'échelle de l'individu et à celle du quartier, nous avons conservé les mêmes limites de classes.

Figure 5 : Représentation cognitive de l'aléa industriel. Représentation de l'indice à l'échelle de l'individu et par quartier.

On note également une discontinuité autour des sites d'EPM et de TYM où trois îlots représentatifs de hauts niveaux de perception (quasi tous les individus qui y résident ont le même haut niveau de perception) contrastent avec un îlot pourtant très proche de la source de risque mais dont les enquêtés y sont très peu sensibles. L'opposition des deux groupes d'individus qui donnent leur teinte aux îlots reposent sur diverses caractéristiques : les plus sensibilisés sont des **habitants** de toutes les classes d'âges, femmes et hommes vivant en couple et ayant des enfants. Les moins sensibles sont en majorité des **actifs**, jeunes hommes (entre 20 et 40 ans), célibataire et sans enfants, interrogés sur leur lieu de travail où, soulignons-le, l'information sur les risques technologiques n'est pas nécessairement donnée puisque le droit à l'information concerne, réglementairement, les habitants des périmètres concernés. Cette opposition est probablement assez représentative de la dichotomie socio-spatiale dans les représentations citadines des risques majeurs. Elle rend en tout cas bien compte de l'opposition entre les représentations des habitants et des actifs, qui renvoie à une quasi « schizophrénie » des citoyens face aux risques majeurs (car la plupart sont tour à tour habitants et actifs !).

La proximité spatiale à la source de danger, que nous avons mise en avant pour expliquer une perception accrue, est ici confirmée, à ceci près qu'elle ne fonctionne que pour les habitants, les actifs n'étant pas forcément destinataires de cette information qui concerne les populations riveraines. En tout état de cause, les « anomalies » qui sautent aux yeux de l'observateur soulignent que les facteurs à prendre en compte dans les représentations des

risques sont multiples. En outre, en fonction de la manière de calculer les indices, les résultats obtenus ne peuvent pas être interprétés de manière simple.

Si l'on s'en tient aux résultats affichés par le biais de cet indice, l'efficacité des campagnes d'information est mise en cause, en particulier, le fait que les actifs ne sont pas concernés par l'obligation réglementaire d'être informés des risques auxquels ils sont exposés est à interroger sérieusement. D'une part, la commune de Mulhouse a mis en place une campagne d'information sur les risques avec la diffusion massive, en avril 2004 (quelques semaines avant la passation de notre questionnaire), d'une plaquette d'information encore disponible sur le site internet de la commune. L'efficacité de ce document aurait pu transparaître si les Mulhousiens avaient montré une bonne connaissance des aléas auxquels ils sont exposés, or il n'en est rien. D'autre part, les plans particuliers d'intervention définissent les modalités de diffusion de l'information préventive. Les personnes résidant ou travaillant au sein de tels périmètres font l'objet d'une information spécifique sur les risques industriels, on aurait donc pu s'attendre à ce que davantage d'individus soient sensibilisés.

5 Conclusion

En partant du plus simple : l'importance des risques présents dans l'agglomération cités comme des phénomènes inquiétants, résultats statistiques ; pour se diriger vers une appréhension plus riche des représentations cognitives des risques majeurs, avec l'exemple du risque industriel et la construction d'un indice, nous avons pu montrer que la prise en compte de l'espace dans les perceptions était une piste intéressante bien que peu suivie jusqu'à présent. Cependant, les pistes de recherche proposées à toutes les étapes de l'exploration des représentations cognitives restent à poursuivre : depuis la mise en lumière de groupes types d'individus ou d'espaces homogènes dans leur appréhension et leur connaissance des risques majeurs jusqu'à la visualisation et la mise en forme cartographique des résultats (anamorphoses ? co-visibilité, introduction de la 3D) faisant apparaître les différenciations spatiales et l'influence de la morphologie urbaine (liée avec l'occupation socio-économique de la ville), il y a la place pour des travaux nombreux. Car, conscientes de la validité discutable des résultats obtenus lorsqu'un quartier ne comprend qu'un seul individu, nous ne retenons pas définitivement la représentation proposée ici mais posons la question de la spatialisation des résultats d'enquête. La mise en évidence du rôle de la distance dans les représentations cognitives des risques et dans la vulnérabilité socio-spatiale de manière générale pourrait probablement être améliorée en spatialisant les données suivant un gradient d'éloignement aux sources de risques. Toutefois, dans le cas présent, il nous semble que la prise en compte des périmètres de PPI en première approche aurait biaisé notre

connaissance en fondant tous les résultats sur ces limites préétablies. En outre, la distance euclidienne nous paraît insuffisante tant il nous est apparu que des phénomènes de co-sensibilité usine-habitants pouvaient jouer (visibilité de l'usine liée aussi au relief ou à la morphologie urbaine et émanations olfactives ou auditives, proximités sociologiques liées à l'appartenance d'un membre du foyer à l'usine, etc.) ainsi que, à l'inverse, l'interposition d'obstacles (barres d'immeubles...). Cette approche fondée sur le rôle de la distance implique également, pour des enquêtes complémentaires ou ultérieures, la mise en œuvre d'un échantillonnage spatial rigoureux nous permettant de vérifier et généraliser l'hypothèse du jeu de la proximité.

6 Éléments de bibliographie

- Beck E., Glatron S., Hiegel C., Sy I., 2004 : *La perception (et la conception) des risques urbains par la population : comparaison France/Afrique*, Programme Inter-axes, Rapport de recherche, Laboratoire Image et Ville, UMR 7011, Strasbourg, 63 p.
- Beck E., Glatron S., 2006a : *Comment la population de l'agglomération mulhousienne se représente les risques majeurs : enquête socio-spatiale*. Rapport de recherche, Image et ville, à paraître.
- Beck E., Glatron S., 2006b : La vulnérabilité socio-spatiale des citoyens aux risques majeurs. Risques industriels et risque sismique dans l'agglomération de Mulhouse. Actes de SAGEO 2006. *Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale. Recherches & Développements. Strasbourg, 11-13 septembre 2006*, 12 p.
- Beck U., 2001 : *La société du risque*, Aubier, coll. Alto, 521 p.
- Chardon A.-C., 1994 : Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels, *Revue de Géographie Alpine*, vol. LXXXII, n°4, p. 97-111.
- Chardon A.-C., Thouret J.-C., 1994 : Cartographie de la vulnérabilité d'une population citadine aux risques naturels : le cas de Manizales, *Mappemonde*, vol. 4/1994, p. 37-40
- Cutter S. L., 1993 : *Living with risk. The geography of technological hazards*, London, Edward Arnold Ed.
- Cutter S. L., Mitchell J. T., Scott S. M., 2000 : Revealing the vulnerability of people and places : a case study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90 n°4, p. 713-737.
- Denis H., 1998 : *Comprendre et gérer les risques sociotechnologiques majeurs*, Montréal, Editions de l'École Polytechnique de Montréal.
- D'Ercole R., 1996 : Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur), *Bull. Inst. fr. études andines*, vol. 25 n°3, p. 479-507.



« Hindenburg » : Lakehurst, 6 Mai 1937

L'approche interactionniste en traitement automatique des langues : une discontinuité épistémologique ?

Pierre Beust

GREYC CNRS UMR 6072 – ISLanD &
Pôle ModesCoS de la MRSH
Université de Caen - Basse Normandie
14032 Caen Cedex, France

pierre.beust@info.unicaen.fr

Résumé

Même si les interfaces ont beaucoup gagné en interactivité depuis les débuts de l'informatique, les chaînes de traitement où l'utilisateur est en bout de chaîne sont toujours fréquentes. De plus l'idée de calculer et de représenter du sens dans une chaîne de traitement est toujours plus que jamais répandue. Depuis plusieurs années nous défendons une approche interactionniste du sens qui va à l'encontre de cette vision. Cette approche trouve aujourd'hui un appui épistémologique nouveau avec la théorie de l'énonciation. Nous posons dans cet article la question de savoir si cela constitue une réelle discontinuité par rapport aux approches classiques en traitement automatique des langues.

Mots clés : Discontinuité, Informatique & linguistique, Sens, Interaction, Interprétation, Enaction.

1 Introduction

Le propos de cet article aborde le thème des journées de Rochebrune 2007, «Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières », sous l'angle de la question de la discontinuité, et plus précisément la discontinuité dans le cadre d'une activité scientifique. La discontinuité qui nous préoccupe et pour laquelle nous avons à l'heure actuelle plus de questions que de certitudes concerne l'évolution épistémologique de notre champ de recherche à l'intersection entre l'informatique et la linguistique, à savoir le Traitement Automatique des Langues (TAL).

Comme toutes les autres disciplines, l'informatique et la linguistique n'échappent pas à des effets d'école autour de certains travaux comme à certaines ruptures au cours de leurs évolutions. Par exemple, F. de Saussure a marqué une véritable discontinuité en linguistique en montrant qu'on peut étudier scientifiquement la langue comme un système de valeurs, à tel point qu'on dit aujourd'hui de lui qu'il est le père de la linguistique dite moderne. Dans le champ du TAL, un exemple de rupture brutale est le rapport ALPAC

(Automatic Language Processing Advisory Committee) en 1964 dont les conclusions trop négatives sur la traduction automatique ont conduit le gouvernement américain à ne plus financer d'études à ce sujet pendant plus de 10 ans.

En tant qu'activité humaine et sociale, la science n'avance finalement que par le fait d'allers et retours, de discontinuités et de ruptures. Certaines sont immédiatement sensibles (c'est le cas du rapport ALPAC) et d'autres demandent plus de temps pour être effectivement reconnues. C'est le cas en ce qui concerne le dialogue homme-machine dont on s'accorde à dire qu'il n'existe pas aujourd'hui de machine qui sache converser comme un humain alors que les chercheurs du domaine dans les années 1970 pensaient raisonnablement arriver à ce résultat dans un délai d'une trentaine d'années. Le chercheur à un moment de son activité n'a donc pas toujours les moyens de savoir si tel ou tel moment annonce une rupture dans son champ de recherche. Pourtant cela serait souhaitable de l'anticiper pour éventuellement éviter des écueils qui ne seraient pas « productifs » tels que des partitions de points de vue inutilement entretenues ou encore des champs d'investigation volontairement ignorés. La question est donc d'essayer de caractériser ce en quoi tels ou tels travaux nous apparaissent en discontinuité avec d'autres travaux au même moment.

C'est en tout cas ce que nous allons tenter de faire dans cet article en montrant qu'une approche dite interactionniste en TAL peut être ressentie comme une véritable discontinuité. Dans une première partie nous dresserons un bref état des lieux des rapports entre TAL et Interactions. Ensuite nous verrons en quoi le cadre émergent de la théorie de l'énaction peut nous aider à mieux cerner les différences de points de vue. Enfin nous monterons comment certains de nos travaux tirent profit de ces précisions épistémologiques en cherchant à mettre en place une « sémantique computationnelle énactive ».

2 Les rapports en TAL et Interactions

Depuis les années 1950 aux états unis, les premiers travaux à l'interface entre la linguistique et les débuts de l'informatique se sont majoritairement donné comme objectif de faire faire automatiquement par des machines ce que l'humain (en tant qu'individu) sait faire avec le langage. Cette façon de poser la problématique du langage en informatique a d'emblée repoussé au second plan la question des interactions puisque l'objectif premier n'est pas forcément de faire interagir par le langage les humains et les machines. Ceci est dû à plusieurs raisons d'ordre historique. Premièrement, le contexte de la guerre froide a fait que les premiers enjeux ont concerné la traduction automatique (majoritairement du russe vers l'anglais) car ils étaient financés par l'armée américaine dans le but de pouvoir intercepter et rendre lisible automatiquement (donc sans intervention humaine) des communications du bloc de l'est. Deuxièmement, le contexte scientifique de la fin des années 50 aux états unis est fortement influencé par des travaux tels que ceux de Noam

Chomsky et notamment son opposition entre la compétence et la performance ou encore ceux de Jerry Fodor et son hypothèse sur la modularité de l'esprit. Cela a certainement incité à considérer que le but consistait à automatiser cette fameuse compétence individuelle de chaque sujet en la « découpant » en un ensemble de modules, de traitements indépendants agissant en coopération. Il n'est pas étonnant dans ses conditions que, plus que la notion d'interaction, ce soit la notion de traitement qui ait été mise en avant (ce que l'on constate toujours aujourd'hui dans l'appellation consacrée et pourtant contestable *Traitement Automatique des Langues*).

Dans la suite, c'est-à-dire la fin du siècle, le devenir du TAL est très lié à l'essor de l'Intelligence Artificielle (IA). Alan Turing évidemment n'y est pas pour rien quand il propose avec le test qui depuis porte son nom d'évaluer l'intelligence d'une machine au regard de sa capacité à dialoguer avec un humain. On pourrait croire alors que la notion d'interaction langagière allait prendre de l'importance et pourtant ce n'est pas le cas car l'IA se focalise alors sur la question des connaissances et pas encore sur celle de l'interaction. C'est l'hypothèse de l'IA dite symbolique [14] qui postule (contrairement au test de Turing) que l'intelligence peut être décrite comme une suite d'opérations (donc des traitements) sur des structures symboliques, interprétables de façon propositionnelle. Cette hypothèse est aussi d'une certaine façon celle défendue par le *Knowledge Level* que propose Allen Newel [9] à la même époque pour sortir d'une vision purement algorithmique de l'informatique. Mais Newel allait plus loin que dire que l'intelligence est dans les connaissances. Il défendait que l'intelligence est dans les connaissances qui sont explicitées dans le cadre du couple humain/machine. Là encore, l'interaction est passée au second plan car en fait, il a surtout été retenu du *Knowledge Level* l'importance d'une nécessaire rationalité des connaissances.

Ainsi le TAL s'est principalement constitué dans la lignée de ce que François Rastier appelle la tradition logico-grammaticale¹, c'est-à-dire l'ensemble des travaux en sciences du langage qui privilégient les signes, la syntaxe et la compositionnalité. Il en découle un grand nombre de modèles et d'architectures d'analyse automatique en couches où différents traitements indépendants s'enchaînent relevant successivement des niveaux de la morphologie, de la syntaxe, de la sémantique et finalement de la pragmatique. Ces modèles où l'utilisateur n'est finalement qu'en bout de chaîne ne sont pas sans poser des problèmes d'explosion combinatoire car pris isolément chaque niveau génère un bon nombre d'ambiguïtés (et donc de faux résultats) que les niveaux suivants ne peuvent pas toujours dissocier des analyses correctes. Cela traduit une non prise en compte de deux spécificités importantes des

¹ Selon F. Rastier, le cognitivisme constitue l'aboutissement contemporain de cette tradition logique et grammaticale. Elle est à opposer à la tradition rhétorique et/ou herméneutique qui, quant-à-elle prend pour objet les textes et les discours dans leur production et leur interprétation.

langues naturelles : la détermination du global sur le local dans la contextualisation du sens [4] d'une part (c'est-à-dire le fait que la signification des mots n'est pas un *a priori* à leur utilisation en contexte mais le résultat d'une interprétation²), et l'apport de la dynamique des interactions langagières dans l'intercompréhension et la levée des ambiguïtés d'autre part. Par exemple, dans le dialogue suivant³ les deux interlocuteurs A et B précisent conjointement dans et par l'interaction la signification de « *poste à l'IUT* »

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

B : *non, poste à l'IUT, c'est le poste téléphonique*

A : *ahh le poste téléphonique ...*

L'interaction personne/machine, proposée par les systèmes de TAL qui se disent interactifs (typiquement les systèmes de correction orthographique par exemple) est en effet le plus souvent préemptive, ce qui signifie que la machine requiert une information de l'humain pour pouvoir continuer son analyse. Les travaux en TAL où l'interaction n'a pu, par nature, être complètement éludée sont ceux sur le Dialogue Homme-Machine (DHM). Cependant là encore on constate le plus souvent que l'interaction langagière telle qu'elle mise en place dans les modèles de DHM est souvent dénaturée et finalement perd l'essentiel de son intérêt. Par exemple, la plupart des applications de DHM depuis ELIZA [16] ont souvent consisté à mettre en place des échanges d'énoncés écrits (puisque tapés au clavier et affichés à l'écran) ce qui remet forcément en cause la production non préméditée des énoncés et la forme qu'ils prennent dans l'interaction (incluant des reprises ou encore des hésitations qui sont autant d'éléments significatifs pour l'intercompréhension). De même, l'enchaînement strict des tours de paroles (l'un bien après l'autre) est une forte contrainte qui fait que l'on est très éloigné de ce qu'est une conversation naturelle où les interlocuteurs parlent souvent au même moment ce qui consiste généralement en des procédures de régulation mutuelle et de co-construction d'un terrain commun. Enfin dans la plupart des systèmes de DHM (à l'exception notamment de COALA de J. Lehuen [8]), la machine n'est pas capable d'apprendre dans et par le dialogue lui-même et donc pas capable non plus de réagir aux erreurs et événements inattendus. La seule façon d'éviter ces désagréments consiste à contraindre l'interaction pour se prémunir des inattendus. On constate alors souvent que

² Par exemple, le mot *vol* peut être considéré localement comme ambigu dans l'énoncé « *10 vols par jours !* » (ce serait soit un vol dans le sens de larcin, soit un vol dans le sens vol d'avion). Pourtant s'il on donne avant tout le contexte global d'interprétation (un rapport de police ou bien une publicité pour une compagnie aérienne) l'ambiguïté locale devient artificielle et ne se pose plus.

³ Cette séquence de dialogue bien réelle a été recueillie lors d'une conversation enregistrée et retranscrite dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire, le projet PIC [10]. Dans le dialogue en question un concepteur de logiciel de gestion, une future utilisatrice du logiciel et un rédacteur de documentation technique ont discuté ensemble devant le logiciel lors d'une séance de travail de 2 heures de la structure et du contenu du futur manuel utilisateur qui devrait accompagner le logiciel.

l'interaction n'est plus qu'un pâle reflet du modèle qu'on s'est fait de la tâche en cours dans le dialogue (c'est le cas des architectures de DHM les plus courantes basés sur la planification du dialogue par la tâche). C'est par exemple particulièrement flagrant dans le prototype de DHM pour la réservation de billets de train de la SNCF (système ARISE en collaboration avec le LIMSI/CNRS⁴). Le relatif échec du DHM par rapport à ses objectifs initiaux doit certainement beaucoup à cette dénaturation de l'interaction⁵.

Force est donc de constater une relative pauvreté des travaux de TAL tournés vers une problématique des interactions. Comparativement, d'autres courants de l'informatique ont plus travaillé la question des interactions. C'est par exemple le cas des modélisations multi-agents relativement aux interactions entre agents logiciels ou encore celui des Interfaces Homme-Machine (IHM) relativement aux interactions entre un système et son utilisateur. Certaines tentatives de « croisement » avec le TAL de ces courants existent⁶ mais restent relativement isolés. On constate notamment que les communautés de chercheurs en IHM et en TAL ont une intersection très faible⁷ avec, par exemple, des revues et des conférences bien distinctes. Cela traduit de fait un positionnement épistémologique peu confortable en informatique pour l'étude des interactions langagières personnes-machines. Profitant de l'énorme évolution technologique des ordinateurs et de leurs capacités de calcul de plus en plus importantes, le courant des IHM s'est majoritairement orienté vers une problématique technique de réalisation d'interfaces. Ce faisant elle s'est beaucoup plus rapproché scientifiquement des travaux en ergonomie que des travaux en TAL. Cependant, suivant le point de vue de Michel Beaudoin-Lafon [1], cette façon de concevoir les IHM doit être aujourd'hui dépassée. La question principale n'est pas de proposer des interfaces toujours plus développées (mais finalement assez similaires aux premières interfaces graphiques au début des années 1980 car toujours basées sur les mêmes fonctionnalités : icônes, boutons, drag & drop ou encore copier/coller) mais de mettre en place des interactions avec l'utilisateur. Pour Beaudoin-Lafon, les interfaces doivent être aux IHM ce que les télescopes sont à l'astronomie, c'est-à-dire un moyen et non un but. Le but est l'interaction. L'interface idéale serait alors celle qui serait « invisible »

⁴ <http://www.limsi.fr/tlp/demos.html>

⁵ Cet échec a au moins l'intérêt d'inciter les chercheurs à étudier des vraies conversations pour savoir comment mieux les modéliser, d'où un bon nombre de travaux expérimentaux en DHM où la conception commence par la mise en place de simulations avec la technique du magicien d'Oz.

⁶ Cf. notamment la thèse de Thomas Lebarbé [7] qui proposait un modèle opératoire multi-agents pour l'analyse syntaxique.

⁷ Quelques tentatives de rapprochement de ces communautés sont pourtant initiées par certaines formations universitaires comme le master 2 professionnel ECIL (Ergonomie Cognitive et Ingénierie Linguistique) à l'Université de Toulouse Le Mirail destiné à des étudiants de sciences humaines ou encore le master 2 recherche en Informatique spécialisé "Interaction Homme-Machine" proposé à l'Université de Bretagne Sud.

laissant ainsi place à une interaction naturelle donnant notamment aux machines des capacités de résilience⁸ c'est-à-dire des capacités de gestion des imprévus (ce qui comme on l'a vu fait crucialement défaut aux modèles de DHM).

Dans la suite des travaux de Anne Nicolle et Jacques Coursil nous avons proposé une approche interactionniste du sens en TAL [3] qui fait un constat assez similaire à celui de Michel Beaudoin-Lafon sur le recours nécessaire à l'interaction. Dans cette approche le sens est considéré comme une activité sémiotique de co-référenciation et de co-construction au centre de l'interaction homme-machine. Cette approche interactionniste trouve aujourd'hui un écho dans un récent courant de pensée : l'énaction.

3 La théorie de l'énaction

La théorie de l'énaction a été proposée dans les années 1980 par le biologiste, neurologue et philosophe chilien Francesco Varela [15]. Varela propose le concept d'énaction (ou cognition incarnée) pour permettre d'appréhender l'action adaptative de tout organisme vivant à son environnement. En réaction au cognitivisme, l'énaction fait prédominer l'action et la boucle action-perception à la représentation. Ainsi la cognition, du point de vue de l'énaction, n'est pas la représentation d'un monde pré-donné mais l'avènement conjoint d'un monde et d'un être vivant à travers l'histoire des diverses actions et interactions accomplies dans le monde par cet être.

L'énaction est au départ une théorie du vivant mais cette théorie peut être réinvestie dans d'autres champs de recherche. Par exemple en systémique, il découlerait de l'énaction qu'un système autonome n'est jamais un système isolé car il est nécessairement couplé à un milieu ambiant et que dans ce milieu il maintient et fait évoluer continuellement son organisation en dépit des perturbations occasionnées par le milieu. Au sein des sciences cognitives l'énaction constitue un nouveau paradigme scientifique non plus inspiré par la métaphore de l'ordinateur comme dans le cognitivisme classique, mais inspiré par celle des organismes vivants. Ce paradigme unificateur des sciences cognitives qui vise la constitution d'une nouvelle communauté scientifique avec une réelle cohérence intellectuelle est en ce moment en pleine émergence. Ainsi en témoigne clairement la récente école thématique du CNRS organisée par l'ARCo (Association pour la Recherche Cognitive) du 29 mai au 3 juin 2006 à Ile d'Oléron (France) et intitulée « Constructivisme et énaction - Un nouveau paradigme pour les sciences cognitives »⁹.

⁸ La résilience est un concept défini en écologie pour exprimer la capacité d'un écosystème ou d'une espèce à récupérer un fonctionnement et/ou un développement normal après avoir subi un traumatisme.

⁹ <http://liris.cnrs.fr/enaction/>

Par rapport à l'informatique et plus précisément par rapport à la communauté TAL, nous défendons le point de vue que prendre en compte les idées de la théorie de l'énaction marque une nette discontinuité par rapport à la façon classique de travailler en TAL. Ceci principalement pour deux raisons : premièrement une remise en cause du statut des représentations et, deuxièmement, un tournant obligé vers la question des interactions dans le couplage personne/système.

Concernant les représentations, adopter l'énaction ne doit être compris comme rejeter complètement le concept même de représentation. Force est de constater qu'en informatique ce serait de plus particulièrement difficile à soutenir et tout aussi abusif que de penser le contraire à savoir qu'une machine représente tout ce qu'elle traite (à ce sujet l'exemple des réseaux connexionnistes montre bien des processus de catégorisation qui ne représentent pas les catégories en tant que telles). La représentation relativement à l'énaction ne revient pas à une correspondance entre ce qui se passe à l'intérieur du système et un certain état du monde extérieur, mais elle renvoie plutôt à une certaine cohérence du système dans la façon dont il maintient continuellement son identité. C'est-à-dire que l'énaction amène à reconsidérer le statut de ce qu'est une représentation dans le sens où une représentation est individuelle, située et liée à une expérience du monde qui n'a pas de fin prévisible. La représentation n'a donc pas vocation à être objectivée, universalisée ou encore formalisée de façon figée ce qui relativement à l'informatique symbolique marque tout de même un net changement de point de vue.

Concernant le couplage personne/système, l'énaction conduit à examiner particulièrement la question des usages et des contournements d'usage dans l'interaction. Le contournement des usages par les utilisateurs n'est par principe jamais anticipé dans la conception des logiciels car seul ce pour quoi le logiciel est prévu est considéré. Pourtant l'informatique est depuis toujours un « lieu » de contournement d'usages par excellence car après tout les machines initialement conçues pour calculer servent aujourd'hui bien plus souvent à communiquer. Par ailleurs les logiciels qui par leurs fonctionnalités permettent de faire évoluer les usages pour lesquels ils sont prévus rencontrent en général un grand succès. C'est par exemple le cas des traitements de textes. Aujourd'hui, on écrit plus de la même façon avec les traitements de texte qu'avec un crayon et une feuille de papier car on tape souvent partiellement des bouts de texte que l'on complète, que l'on déplace, que l'on met en forme ou que l'on reformule en plusieurs étapes. Cette nouvelle façon de rédiger n'est pas explicitement prévue par le logiciel, elle est induite de ses fonctionnalités par les utilisateurs. Cela veut dire qu'elle s'inscrit dans des interactions et dans un couplage personne/système. Un autre exemple est celui des moteurs de recherche sur Internet que l'on peut tout à

fait contourner pour vérifier si une expression se dit ou pas¹⁰ ou encore si une traduction est bonne ou pas¹¹. Cette idée que l'interaction personne/système amène à re-concevoir les logiciels est celle recherchée dans ce qu'on appelle les *interfaces énaactives* pour lesquelles il existe maintenant un réseau¹² de chercheurs et une conférence internationale¹³ spécifiquement dédiée.

Sur les bases de ce double constat quant au statut des représentations et à la question des interactions, la théorie de l'énaaction nous offre un positionnement épistémologique nouveau pour l'approche interactionniste qui est la nôtre. Il découle alors de nos travaux, comme nous allons le montrer dans la partie suivante, une nouvelle façon d'aborder la sémantique en TAL, ce que l'on peut appeler une « sémantique computationnelle énaactive ».

4 Vers une sémantique computationnelle énaactive

L'idée au centre de ce que nous appelons ici une Sémantique Computationnelle Énaactive (SCE) est une certaine façon de considérer ce qu'est le sens dans des interactions homme-machine (que ce soit le sens d'un énoncé, d'une phrase, d'un texte, d'une collection de documents ...). Premièrement, le sens est le fait d'une interprétation. On se place ici dans la suite des travaux de Jacques Coursil [5] qui montre que le sens est du côté de l'interprétant plus que du côté du sujet parlant. Ainsi c'est parce que le sujet parlant est aussi le premier interprétant de ce qu'il dit, au moment où il le dit, qu'il peut donner forme à sa parole. C'est le principe de non préméditation de la chaîne parlée. On se place également ici dans la lignée des travaux en sémantique interprétative [12] où le sens est vu comme une perception sémantique, perception forcément individuelle, dont toute tentative d'objectivation est une sommation incomplète de points de vue. La SCE conduit donc à adopter une approche individu-centrée où l'on a tout à gagner à subjectiver le plus possible les ressources et processus mis en œuvre. Ainsi la priorité est donnée aux spécificités socio-linguistiques des utilisateurs (par exemple leurs centres d'intérêt, leurs habitudes terminologiques, leurs parcours interprétatifs). Deuxièmement, le sens ne se réduit pas à une représentation et encore moins à une formalisation. Ce n'est pas le résultat d'un calcul, c'est une activité (activité qui de plus n'est pas forcément finalisée dans le temps) au centre d'une interaction. Ainsi, sans jouer sur les mots, on remet en cause l'idée que quelque chose ait du sens (ou non) pour

¹⁰ Expérience faite sur Google le 22/8/06 : si on cherche l'expression "tirer avec des boulets rouges" on a 0 réponses alors que "tirer à boulet rouge" ramène 527 réponses. On sait alors quelle est la bonne expression.

¹¹ Expérience faite sur Google le 22/8/06 : si on veut retrouver que la bonne traduction en anglais de traitement automatique des langues est Natural Language Processing, il suffit de comparer différentes recherches : "natural language processing" (4 910 000 réponses) et "natural language computation" (279 réponses).

¹² <https://www.enactivenetwork.org/>

¹³ <http://www.enactive2006.org/>

défendre plutôt l'idée qu'il y a des choses qui font sens (ou pas). La SCE amène donc à préférer l'instrumentation interactive du sens à la construction du sens.

En matière de recherche d'information et d'ingénierie documentaire sur Internet la tendance actuelle est de faire du Web une vaste base de connaissances pour un plus grand nombre d'utilisateurs. C'est la démarche considérée dans le projet du Web Sémantique où l'objectif annoncé par T. Berners-Lee [2], initiateur du projet et directeur du W3C, est d'enrichir (notamment au moyen des technologies développées autour du langage XML) les documents (à l'aide d'ontologies normalisées, soit automatiquement, soit en assistant leur auteurs) avec des informations sur leur propre sémantique qui soit directement interprétables par des agents logiciels sans la supervision d'une interprétation humaine. Ceci fait l'hypothèse que la valeur sémantique d'un passage de document est le fait de son auteur. Notre idée de SCE se situe comme on le voit à l'opposé de celles défendues dans le cadre du Web Sémantique. En cela c'est une vraie rupture. Là où le Web Sémantique cherche à rendre le plus possible partagées de vastes ontologies qui normalisent et synthétisent une connaissance pensée comme objective et devant convenir à tous les utilisateurs¹⁴, nous préférons manipuler des ressources propres à un utilisateur ou un petit groupe d'utilisateurs. Il en découle une certaine *légèreté* de ces ressources, au sens de [11], dans la mesure où elles ne représentent que ce qui est pertinent du point de vue de l'utilisateur et restent ainsi de taille raisonnable (par exemple une centaine de termes) ce qui les rend moins complexes à construire, à maintenir et à enrichir.

De plus, si d'un point de vue énonciatif, on considère que le sens d'un texte provient de l'expérience de l'interprétant face à ce texte alors rien n'oblige des sujets différents à déceler le même sens étant donné que leurs expériences sont différentes (on le constate effectivement fréquemment). Suivant cette remarque, on peut tout à fait considérer que « l'expérience » qu'une machine fait d'un document par exemple dans une tâche de cartographie ou d'indexation est une certaine forme de sens au même titre que le sujet humain. Ce sont pour nous deux formes différentes d'interprétation : une interprétation computationnelle et une interprétation humaine. Ces deux formes d'interprétation ne sont pas en concurrence car l'une n'a en aucun cas le but de supplanter l'autre. Au contraire, nous les pensons comme complémentaires dans le sens où une interprétation computationnelle a pour objectif de produire dans l'interaction des traces qui vont participer aux interprétations humaines du ou des utilisateurs. Aller enrichir des documents avec une formalisation du sens comme le propose le Web sémantique en supposant que

¹⁴ D'un point de vue très pratique, force est de constater que des ressources très généralistes, valables pour tout type de traitement envisagé ainsi qu'à destination de tout utilisateur potentiel, ne sont pas facilement disponibles (sous forme électronique pour des traitements automatiques) et encore moins gratuites.

les machines n'ont pas accès au sens est donc paradoxal vu que les machines peuvent produire une forme d'interprétation qui leur est propre.

Dans une approche éactive de l'interprétation des documents électroniques il convient de penser différemment les systèmes à concevoir. Plutôt que de viser un usage particulier, il semble préférable ne pas contraindre au préalable des besoins et des finalités des utilisateurs car justement, de manière éactive, ils se définissent dans l'interaction et c'est en partie cela qu'il est particulièrement intéressant d'observer et d'étudier de manière pluridisciplinaire. Nous rejoignons ici l'idée de [6] qui consiste à caractériser des « processus logiciels » impliqués dans des « processus expérientiels », eux-mêmes impliquant des « processus cognitifs ».

Les travaux que nous menons actuellement dans le cadre de la thèse de Thibault Roy¹⁵ sur la cartographie thématique personnalisée de corpus sont des exemples de mise en pratique de la SCE. Ils mettent particulièrement en évidence l'intérêt des visualisations interactives dans des tâches d'analyse synchro-diachroniques de corpus de documents électroniques. Le logiciel d'étude (ProxiDocs¹⁶) développé par Thibault Roy, a déjà permis plusieurs expérimentations [4] traduisant l'intérêt d'une bonne prise en compte de différents paliers de l'intertextualité dans l'interprétation d'une collection de documents. Notamment à travers certaines de ces expérimentations nous avons pu observer des résultats et des usages de la cartographie thématique qui, de manière éactive, émergeaient des interactions sans être explicitement recherchés. Cela a été le cas lors d'une expérience (réalisée dans le cadre du projet ISOMETA avec Stéphane Ferrari) où nous cherchions à visualiser la répartition thématique d'emplois de métaphores conventionnelles au sein d'un corpus d'articles de presse¹⁷. En utilisant ProxiDocs, nous avons construit une carte de notre corpus en cherchant à visualiser les emplois des domaines sources de métaphore que nous avons retenus : la guerre, la météo et la santé. Nous avons pu observer expérimentalement (cf. figure 1 ci dessous) que la carte permettait de distinguer assez clairement plusieurs zones de documents, certaines où l'on ne trouve quasiment aucun emploi métaphorique et d'autres au contraire où ces emplois sont très variés. Nous avons aussi pu caractériser de manière empirique à partir de la carte produite des différences de figement¹⁸ des expressions métaphoriques [13]. Ce résultat n'était absolument pas prévisible a priori. Il nous est apparu en naviguant interactivement entre la carte globale du corpus et les emplois métaphoriques visualisés automatiquement au sein des documents (et accessibles via des liens présents dans la carte). Cela nous inciterait à dresser d'autres cartographies en

¹⁵ <http://users.info.unicaen.fr/~troy/these/>

¹⁶ disponible en Open Source sur <http://users.info.unicaen.fr/~troy/proxidocs/>

¹⁷ en l'occurrence la santé boursière, la météorologie boursière et la guerre économique des dans articles d'actualité boursière du journal *Le Monde*.

¹⁸ Une métaphore est dite figée lorsqu'elle est lexicalisée ou qu'elle est une expressions idiomatiques, c'est-à-dire qu'à la différence d'une métaphore dite vive on ne s'aperçoit quasiment plus que c'est une métaphore (ex : les *pieds* d'une table).

caractérisant plus explicitement cette notion de figement. Il en résulterait sans doute, une fois de plus de manière énaactive, d'autres aspects sémantiques des emplois métaphoriques dans les articles de presse.

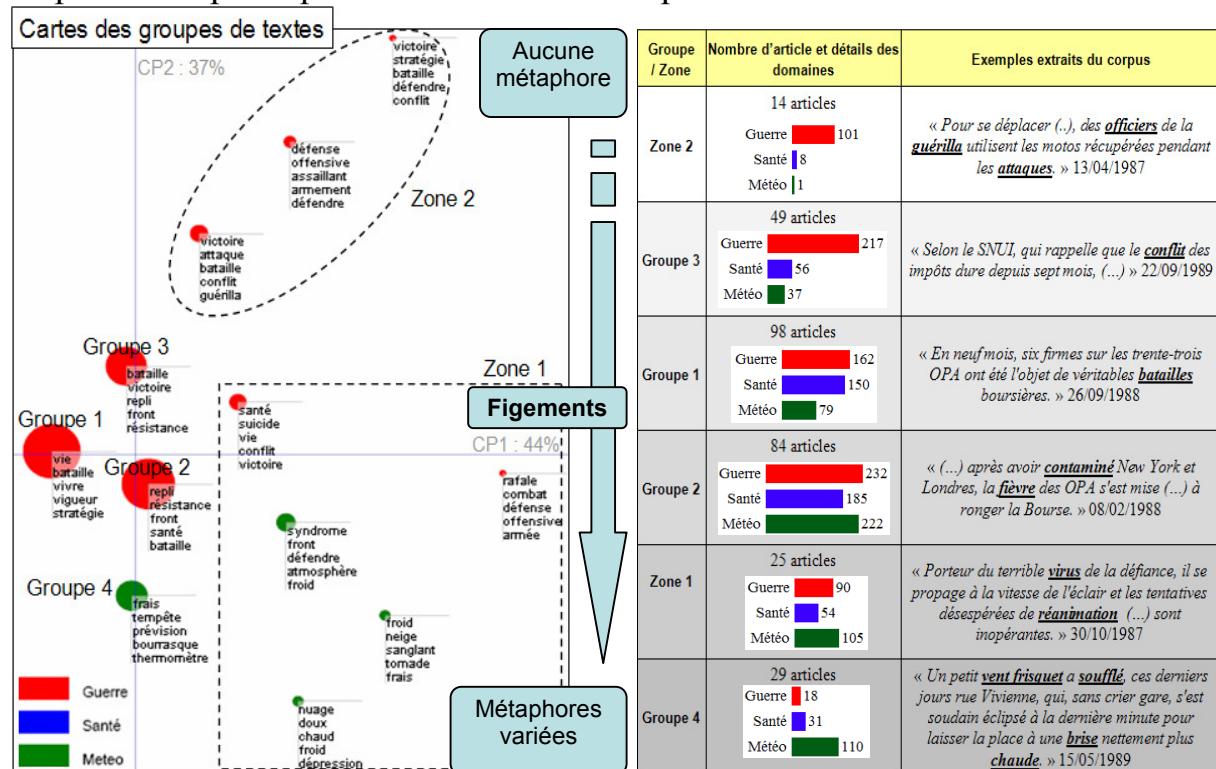


Figure 1

5 Conclusion

Comme on l'a vu dans cet article une approche interactionniste du sens en TAL marque une différence de point de vue avec les méthodes compositionnelles classiques. L'approche énaactive amène à souligner encore plus cette différence et elle nous incite également à continuer à travailler les questions de sens et signification dans une réelle pluridisciplinarité. A défaut de rupture, il nous semble possible de parler ici d'une discontinuité épistémologique. Cette discontinuité a des conséquences sur les méthodes de travail en favorisant une démarche scientifique réellement expérimentale. Ainsi plutôt que de considérer une conduite de projets de recherche en TAL sur le schéma classique « modélisation -> implémentation > tests -> évaluations comparatives » nous préférons mettre en avant l'expérimentation comme une boucle de conception où la modélisation n'est pas une étape initiale, pas plus que les évaluations (non nécessairement comparatives) sont des étapes finales. L'objectif ici n'est pas de chercher à faire mieux certaines tâches déjà réalisées avec des méthodes éprouvées mais il est question plutôt de chercher à inventer de nouveaux usages du TAL dans les IHM ainsi que de nouvelles façons d'utiliser des ordinateurs dans des recherches sur le langage. C'est très probablement de cette façon que le constat de la discontinuité peut

être dépassé de sorte à en faire quelque chose de stimulant et scientifiquement productif.

6 Références

- [1] Beaudouin-Lafon M., 2004, *Designing Interaction, not Interfaces*, Proceeding of the working conference on Advanced Visual Interfaces, May 25-28.
- [2] Berners-Lee T., 1998, *What the Semantic Web can represent ?* W3C, <http://www.w3.org/designissues/rdfnot.html>
- [3] Beust P., 1998, *Contribution à un modèle interactionniste du sens*, Thèse de doctorat en Informatique de l'université de Caen Basse-Normandie.
- [4] Beust P., Roy T., 2006, *Prendre en compte la dimension globale d'un corpus dans la contextualisation du sens : expérimentations en informatique linguistique*, revue GLOTTOPOL (Université de Rouen) ISSN : 1769-7425, volume n° 8 « Traitements automatisés des corpus spécialisés : contextes et sens », p. 52-72.
- [5] Coursil J., 2000, *La fonction muette du langage*, Ibis Rouge Editions, Presses Universitaires Créoles.
- [6] Dionisi D., Labiche J., 2006, *Enaction et informatique : les enjeux de l'opérationnalisation technologique d'une théorie de la cognition*, in Actes du colloque ARCo 2006, 6 au 8 Décembre 2006 – Bordeaux, à paraître.
- [7] Lebarbé T., 2002, *Hiérarchie inclusive des unités linguistiques en analyse syntaxique coopérative ; Un "segment" entre chunk et phrase dans le traitement linguistique par système multi-agents*, Thèse de doctorat en Informatique de l'Université de Caen Basse-Normandie.
- [8] Lehuen J., 1997, *Un modèle de dialogue dynamique et générique intégrant l'acquisition de la compétence linguistique*, Thèse de doctorat en Informatique de l'université de Caen Basse-Normandie.
- [9] Newel A., 1982, *The Knowledge Level*, Artificial Intelligenen Vol. 18, p. 87-127
- [10] Nicolle A., Saint-Dizier De Almeida V., Beust P., Jacquet D., Brassac C., *Étude des Processus d'Interaction en Conception Distribuée*, revue RIHM vol. 4, n°2, 2003, p. 9-40.
- [11] Perlerin V., 2004, *Sémantique légère pour le document*, Thèse de doctorat en Informatique de l'université de Caen Basse-Normandie.
- [12] Rastier F., 1987, *Sémantique interprétative*. Collection Formes Sémiotiques, Presses Universitaires de France, Paris.
- [13] Roy T., Ferrari S., Beust P., 2006, *Étude de métaphores conceptuelles à l'aide de vues globales et temporelles sur un corpus*, in Actes de TALN 2006, Leuven (Belgique), avril 2006, Volume 1, p. 580-590.
- [14] Smith B.C., 1982, *Reflection and Semantics in a Procedural Language*, Tech. Report LCS/TR-272, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- [15] Varela F., 1996, *Invitation aux sciences cognitives*, Editions du Seuil.
- [16] Weizenbaum J., 1966, *ELIZA - a computer program for the study of natural language communication between man and machine*, In : Communication of the ACM, n. 9, pp. 26-45. <http://i5.nyu.edu/~mm64/x52.9265/january1966.html>

Qu'est-ce qu'un effet pervers ?

Des limites de la loi et de l'action publique

Danièle Bourcier

Centre Marc Bloch, CNRS, Berlin
bda@cmb.hu-berlin.de

Le sociologue des sciences R. K. Merton publia en 1936 un article fondamental sur un phénomène bien connu: les conséquences inattendues, non prévues, voire contreproductives des actions et des décisions humaines¹. Dans cet article, il déplorait que ce phénomène n'ait fait l'objet d'aucune analyse approfondie alors qu'il est apparu sous des thèmes aussi variés que le problème du mal, de la responsabilité, de la prédestination, du fatalisme, ou le principe de plaisir et de réalité, ou dans le chapitre interminable des "catastrophes" collectives. Bien que rarement abordé dans la sociologie des sciences, ce phénomène concerne aussi la politique et le droit.

En français, on appelle *effets pervers* ce type de phénomène, terme dont la paternité revient à R. Boudon². La science politique américaine parle de *perverse incentives*³.

D'un côté en effet, sans qu'il y ait eu véritablement décision, des comportements isolés peuvent déclencher des mouvements collectifs dont l'ampleur n'était pas prévisible. Ces actes individuels peuvent être à la source de nouvelles décisions politiques. L'attitude de Rosa Parks qui refusa spontanément un soir de s'asseoir dans un bus et entraîna l'abolition des lois de ségrégation raciales aux Etats unis en est un exemple.

Inversement, l'action publique, organisée pour prévenir un risque sur une population d'acteurs peut déclencher des effets inattendus, en tout cas imprévus par les décideurs eux-mêmes. Dans les années 60 par exemple, des ingénieurs du Bangladesh ont construit de gigantesques structures off shore pour protéger les zones côtières de l'érosion provoquée par des marées hautes et des catastrophes naturelles. Malheureusement les constructions donnèrent un tel sentiment de sécurité que des habitants s'y installèrent dans des habitats de fortune. Quand un cyclone arriva sur la région en 1970, des millions de

1 R. K. Merton, 'The unanticipated consequences of purposive social action', *American Sociological Review*, 1936, 1, 894-904.

2 R. Boudon, *Effets pervers et ordre social*, Presses universitaires de France, Paris, 1977.

3 D. A. Stone, *Policy paradox, The art of political decision making*, Norton, New York, p. 296.

gens périrent. Ainsi les efforts de protection du gouvernement eurent des conséquences inattendues et désastreuses.⁴

Comment caractériser le phénomène des effets pervers? Sont-ils le résultat d'une erreur? Comment a-t-on cherché à le circonvenir? Y a-t-il des modèles de représentation de ce phénomène?

Nous limiterons notre analyse aux effets pervers des décisions politiques et de l'application des lois. A partir de cas puisés dans l'action publique de ces dernières années, je proposerai quelques pistes d'analyse avant de solliciter votre expérience et votre imagination d'acteurs interagissant dans des sociétés complexes.

1 Les effets pervers : comment les caractériser?

Dire que ce phénomène n'a pas été déjà étudié serait excessif. Ces dernières années en France par exemple, des rencontres interdisciplinaires, à visée empirique ou théorique, ont été organisées par des décideurs, des sociologues, et des économistes⁵. La méthode d'analyse relève souvent de la casuistique c'est-à-dire de l'énumération d'exemples que les acteurs ont rencontrés dans leur discipline et qu'il est difficile de classer de façon transversale. Les juristes et chercheurs en science politique ont commencé à aborder cette question du point de vue de la décision publique et de ce qu'on a appelé la *sérendipité législative* c'est-à-dire des effets incidents d'une norme.

On partira de la définition de Merton en ajoutant quelques précisions. On dira ainsi qu'une décision a des effets pervers lorsqu'elle produit des effets inattendus, imprévisibles, inversés par rapport aux objectifs visés par l'acteur initial. Ces effets sont le résultat de décisions prises par des agents qui communiquent, interprètent, s'adaptent ou se coordonnent face à une situation donnée, en suivant des intérêts différents implicites ou non dits voire contradictoires. Reprenons ces différents termes.

D'abord une décision - même irrationnelle - peut provoquer des effets directs, attendus et souhaités. Elle est une *décision réussie* du point de vue de la finalité des acteurs. On peut trouver un autre cas de figure : une décision peut ne pas produire d'effets parce qu'elle est simplement inefficace. Ce problème est classique. Vous prévoyez un règlement plus sévère dans une institution et le règlement est si mal adapté que personne ne le suit. C'est une *décision ineffective*.

Avec les effets pervers, on se trouve confronté moins à la décision elle-même qu'à ses conséquences *indirectes, conséquences* qui en tant que telles vont avoir des effets amplificateurs et inattendus dans un système de

⁴ Royer von Oech, *Expect the unexpected* (or you won't find it). A Creativity Tool based on the Ancient Wisdom of Heraclitus, The Free Press, New York, London, etc., 2001, p. 36-7.

⁵J-P Révillard, J. Oudot, A Morgon, *Les Effets pervers dans la communication humaine*, Presses universitaires de Lyon, 1984 et J-P Révillard, J. Oudot, A Morgon, *L'erreur*, Presses universitaires de Lyon, 1982.

communication entre acteurs. Les effets peuvent être *non intentionnels* - c'est le fondement de l'individualisme méthodologique - avec des conséquences négatives ou positives pour les acteurs, suivant le côté où l'on se place⁶. Les effets peuvent aussi être *volontairement* détournés au profit d'un acteur ou d'une catégorie d'acteurs: ainsi les comptables sont sollicités pour *interpréter* la règle fiscale avec le maximum de bénéfices pour le contribuable. Le contribuable est à la limite de la légalité et les avantages fiscaux pourront ne pas profiter à l'Etat qui en avait prévu le dispositif. Dans ce cas, les effets sont voulus par une catégorie d'acteurs mais pas par ceux qui les gouvernent.

Dans la définition ci-dessus, on retiendra aussi que ces agents communiquent et adaptent leur action ou leur interprétation à leur observation et compréhension de la situation. La norme est un message, qui, selon son écriture et son contexte, permet des interprétations divergentes et convergentes entre les acteurs. Ces interprétations sont l'essence de la communication.

Les effets pervers sont aussi appelés *effets de composition* parce qu'ils se présentent "comme un décalage entre deux niveaux d'action, celui de l'individu et celui du groupe"⁷. R. Boudon cite un exemple tiré de l'économie: "En période d'inflation j'ai intérêt à acheter aujourd'hui un produit dont j'aurai l'usage le mois prochain car je suis sûr que son prix sera plus élevé. Ce faisant je contribue à la perpétuation de l'inflation". C'est pour cette raison que Boudon a créé le programme de l'individualisme méthodologique : c'est une méthode qui consiste à analyser les phénomènes sociaux comme le produit d'actions individuelles agrégées. Partant de l'hypothèse que la place du désordre était fondamentale dans le changement social, il recommande de chercher le sens de l'action pour le sujet en partant de sa propre situation et dans la valeur adaptative de l'action qu'il va entreprendre.

Les effets pervers sont souvent rapprochés de ce qu'on appelle l'*effet Cournot*, ou du *concours de circonstances*, caractérisé par la coïncidence fortuite d'évènements complètement indépendants les uns des autres (c'est aussi la définition du hasard). C'est l'exemple classique de la tuile qui tombe sur la tête d'un passant. La chute de la tuile et la présence du passant appartiennent à des séries causales indépendantes. On parle de hasard comme le produit de son ignorance. Pour Boudon le hasard est une structure et non un évènement.

6 C'est ce qui explique pourquoi le programme des théories du changement social (comme le cercle vicieux de la pauvreté, l'éclatement de la famille versus l'industrialisation, etc.) ont connu des échecs et des anomalies. Ces théories s'avèrent partielles, locales et simplistes. Boudon a critiqué ces théories en parlant de l'incohérence des tendances partielles. Pour lui il est impossible de rechercher les causes du changement social. Ce changement ne peut être perçu que comme le produit de l'agrégation d'actions individuelles.

7 R. Boudon, Effets pervers et ordre social, Presses universitaires de France, Paris, 1977.

2 Pourquoi de tels effets ?

Une première explication réside dans la notion de « décalage » dans les niveaux d'analyse. Il existe un décalage parce qu'on ne prend en compte qu'une partie de l'analyse, et non la réaction de l'ensemble du système. Les frontières d'un système ne sont pas une *donnée naturelle*. Les dysfonctions peuvent produire des réactions correctives ou des rééquilibrages. L'effet apparaît "pervers" que parce que la globalité du phénomène a été réduite à un sous-ensemble d'actions. Si l'on change de niveau d'observation, le rééquilibrage se fait. Ce qui fait dire à Dumouchel⁸, que ces effets ont en réalité des fonctions de stabilisation. Il prend l'exemple de la régulation par le marché. Si on achète une maison, on intervient sur le marché et on fait monter les prix. Au contraire si vous vendez, vous faites baisser les prix. On peut dire qu'il s'agit d'effets pervers mais en réalité le mécanisme qui se met en jeu stabilise la société même si ce mécanisme repose sur les conséquences non intentionnelles des actions des agents. Ces effets sont complexes et paradoxaux car ils supposent "leurs résultats pour être en jeu".

La théorie des jeux donne des exemples de problèmes de ce type : des individus rationnels cherchent à trouver une bonne stratégie - la meilleure - dans toutes les circonstances c'est-à-dire quelle que soit la stratégie de l'adversaire. Du point de vue des acteurs, le raisonnement est bon. Les gains seront maximum. On parle d'effets pervers du point de vue de l'observateur extérieur qui, en observant les relations entre acteurs, se dit qu'ils vont obtenir moins que ce qu'ils pourraient obtenir. Ou dans le cas du législateur que les interactions entre les agents et la loi vont les conduire à obtenir des avantages individuels qui vont contredire le projet global initial.

Une autre explication de ces effets inattendus repose sur un défaut de communication. Pour P. Aunac⁹, l'effet pervers implique la déformation d'un message ce qui a pour conséquence de provoquer chez celui qui le reçoit des effets opposés aux intentions de celui qui l'émet. Ces effets proviennent de confusions, qui peuvent être sémantiques par exemple entre inflation de la monnaie et inflation de prix, ou de marges d'interprétation comme dans le cas des classifications. Aux Etats-Unis, la catégorie de « handicapé », qu'une loi anti-discriminatoire au travail protégeait particulièrement, a précipité un certain nombre de personnes à aller devant la cour en invoquant l'obésité, la petite taille et même le transsexualisme.¹⁰

Mais l'effet pervers peut aussi être vu comme un résultat collectif indépendant de la volonté des acteurs individuels, une certaine forme d'émergence. La logique collective en effet n'est pas toujours le *résultat de logiques individuelles*. Elle échappe aux acteurs particulièrement si l'on prend

8 Paul Dumouchel, « Les effets pervers et le principe de rationalité », Les effets pervers..., op. cit. pp. 127-134.

9 P. Aunac, « Les effets pervers en économie », Les effets pervers, op. cit., p. 135 et ss.

10 M. Rothstein, Medical screening and the employee Health Cost Crisis (Washington DC, Bureau of National Affairs, 1989) pp. 144-159 cité par D. Stone, op. cit. p. 285.

en compte des phénomènes macro-sociaux où la spécularité n'est pas éclairée par des intuitions locales. De même, parce que les individus oeuvrent souvent au mépris des intérêts collectifs, l'agrégation des volontés individuelles peut provoquer des effets pervers. Parfois ces volontés individuelles sont considérées comme produisant une harmonie sociale : Adam Smith fait appel à la notion de "main invisible" pour comprendre l'effet providentiel sur les agrégations individuelles. Le marché, pour les économistes libéraux, est cette main "divine". Mais la coordination nécessite que soit en jeu des préférences justifiables. Dans le domaine du droit, le choix arbitraire d'une norme de coordination, comme l'est la priorité à droite, ne peut être fait qu'avec des procédures formelles et autoritaires. Combien de temps aurait-il fallu aux automobilistes pour se mettre d'accord sur cette règle ?

On a dit aussi que les effets pervers peuvent être le produit d'une "erreur créatrice" ou d'une *prophétie anticipatoire*. J P Dupuy¹¹ montre qu'une prévision peut devenir vraie par le fait que les actions engendrées la réalisent. Il reprend l'exemple de Merton. Après la seconde guerre mondiale, les ouvriers blancs américains considéraient que les ouvriers noirs étaient des "briseurs de grève". En effet les noirs étaient exclus des syndicats : au chômage, ils n'avaient pas d'autres solutions que de remplacer leurs collègues en grève. Mais la question était de savoir si les noirs étaient briseurs de grève parce qu'ils étaient exclus des syndicats ou, au contraire étaient-ils exclus parce qu'ils étaient briseurs de grève? La réponse de Dupuy est la suivante: "Il n'y a pas de réalité sociale indépendante des représentations, des anticipations, des prédictions, des significations en général que les hommes se forgent à son sujet. Une représentation, une prédiction peut devenir "vraie" par le simple fait que les actions et réactions qu'elle engendre la réalisent".

Enfin, pour aborder ce phénomène, on peut en effet faire appel au modèle de la *sérendipité*. La sérendipité recouvre l'art de faire de trouvailles c'est-à-dire de faire une inférence réussie à partir d'une observation surprenante. Dans le cas des effets *sérendips* des décisions publiques, un acteur, à partir de sa propre situation, peut faire une observation surprenante qui lui permet de trouver une solution réussie non prévue par les décideurs politiques.

L'instrument ou le moyen choisi pour obtenir une fin visée par un agent peut être "détourné" au profit d'une autre fin par d'autres agents. Les effets secondaires des médicaments sont un cas de sérendipité. J. Jacques¹² a donné l'exemple de la *Thalidomide*. Tout le monde se souvient encore du drame des malformations qu'elle provoqua. En 1956, le *phtaléimido-glutarimide* (ce n'est que son nom chimique) avait été introduit en thérapeutique comme sédatif et hypnotique. Dans sa conception, la thalidomide, suivant un processus logique qui inspire classiquement la recherche de nouveaux

11 J. P Dupuy, « Les paradoxes de l'erreur créatrice » in L'erreur, op. cit. pp. 165-166.

12 J. Jacques, *L'imprévu ou la science des objets trouvés*, Editions Odile Jacob, Paris, 1990, p. 197.

médicaments, associe deux molécules reconnues ayant chacune des activités biologiques intéressantes, hypnotiques et anti-épileptiques. Personne n'attendait évidemment les effets secondaires catastrophiques de ce calmant utilisé par les femmes enceintes. Des essais sur les animaux de laboratoires n'auraient permis de trouver les malformations qu'il provoque chez les foetus que si on avait pensé à les chercher. Dans un autre domaine, on a remarqué que les « tours d'abandon » qui permettaient aux mères d'abandonner leurs nouveau-nés dans de meilleures conditions aux portes des hospices a multiplié les abandons d'enfants.

Dans presque tous les cas, les effets pervers ne peuvent être observés que dans des univers où les agents, humains ou logiciels communiquent c'est-à-dire ont la possibilité d'interpréter des signes plus ou moins élaborés, textes ou messages. Pour illustrer de façon concrète notre propos, nous analyserons un type particulier d'effets pervers, ceux qui interviennent dans l'univers de la communication politique.

3 Des recettes de gouvernement à la sérendipité législative

Gouverner c'est prévoir mais surtout décider dans un univers incertain, où on ne connaît ni le contexte des actions futures ni l'ensemble des interactions possibles entre les agents eux-mêmes.

Dans l'art de réussir, depuis la Chine ancienne à la cour de rois de France, bouffons ou musiciens, historiographes et astrologues, diplomates ou militaires ont été conviés par les souverains pour les conseiller. En Chine, deux mots résument ces recettes : *chou* (recettes, méthodes, artifices) et *che* (conditions, forces, influences). Pour Granet¹³, *che* est proche du mot chance. Les situations de temps et de lieu cachent des occasions dont il faut savoir capter l'influence pour risquer le sort avec le maximum de chances. L'art de gouverner consiste à "*utiliser le destin en le tentant*". Le folklore politique chinois décrit ces moyens appropriés comme des recettes de gouvernement : l'intérêt du moment est alors glorifié au mépris des traditions, de la parole, de la loi ou du plan à plus ou moins long terme. Le *kairos*, petit dieu grec du moment juste, correspond à cette image de la chance saisie par les cheveux.

La loi est une autre façon de conduire l'art politique: elle oblige les gens les organisations et les gouvernements à agir d'une certaine façon pour une période donnée. Les règles édictées par les lois et les règlements sont des ordres indirects qui fonctionnent dans le temps. En effet elles s'adressent à des classes de personnes plutôt qu'à des individus particuliers dans chaque situation couverte. Cela signifie aussi que leur application dépend souvent du contexte. La règle peut toujours avoir des effets pervers possibles car on peut avoir de multiples interprétations d'un fait, d'une règle ou d'un contexte. Prenons le panneau posé au bord d'une belle plage déserte "il est interdit de

¹³ M. Granet, *La pensée chinoise*, Paris, Albin Michel, 1950 p. 430.

se baigner" : que signifie cet ordre? Si on se baigne à côté du panneau, à quelle distance est-il permis de se baigner? S'il s'agit de se baigner, à partir de quelle profondeur d'eau, je suis considérée comme *prenant un bain*?

Un nouveau type de loi tend à se généraliser : elle n'induit pas la contrainte - obligation de faire assortie de la sanction - elle est fondée sur l'incitation (*incentive*). Les citoyens sont considérés comme des acteurs capables de calculer ce qui est le meilleur pour eux. L'art du gouvernement passe alors par le partage avec les citoyens de l'art de saisir l'opportunité et d'utiliser l'occasion favorable non d'échapper au châtement mais d'obtenir un avantage substantiel.

Dans les deux cas, la règle garde son pouvoir d'exclure, de diviser et d'unir car elle place les individus, les objets et les situations dans diverses catégories. Elle incite donc les individus mais aussi le juge ou le décideur en général à manipuler les frontières de la règle.

Revenons sur ces deux types de règles : règles normatives, règles incitatives. La règle est une interface entre un collectif institutionnel qui doit avoir un objectif acceptable et justifié (motifs de la loi) et un ensemble d'acteurs à qui elle s'applique. La loi et le décret peuvent ne pas produire les résultats escomptés et cela pour différentes raisons: écriture du texte ne couvrant pas toutes les situations, complexité des liens entre les articles visés ou les autres instruments en vigueur... Mais surtout ce même instrument peut susciter des usages parfaitement imprévisibles.

Indépendamment du fait que l'instrument est inefficace ou franchement mal rédigé, c'est la façon dont les destinataires du texte vont interpréter la norme pour en induire des comportements non prévus qui retiendra notre attention. En effet puisque les règles ont pour but de faire faire aux gens ce qu'ils n'auraient autrement pas choisi de faire ou de les empêcher de faire des choses qu'ils auraient autrement choisies de faire, il existe toujours une pression sur les règles, du contournement à la désobéissance.

Les lois d'incitation sont particulièrement propices à aux effets pervers : « Ces incitations sont inscrites dans une norme pour la renforcer de telle façon qu'elles créent des nouveaux problèmes ou exacerbent les problèmes même ceux que la règle était censée résoudre »¹⁴.

Les économies planifiées sont l'occasion la plus propice à de tels effets. Pendant la planification soviétique de 1930, les industries textiles avaient des objectifs en termes de mètres de tissus : pour entrer plus facilement dans les normes, les dirigeants d'entreprises de textiles réduisirent la largeur des métiers à tisser et favorisèrent la production de rubans.

Les mêmes excès se retrouvent dans les économies libérales. Aux Etats-Unis, des règles remboursaient les dépenses des hôpitaux sur la base de la durée moyenne et des traitements par catégories de maladie. Beaucoup d'hôpitaux réagirent à cette règle de calcul de la façon suivante : ils enregistrèrent les cas réels sous la catégorie des maladies les plus graves ou sur des maladies plus

¹⁴ D. Stone, *op.cit.* p. 296 et ss.

coûteuses. Pire, ils renvoyaient le patient dès qu'il avait utilisé le montant du remboursement escompté.¹⁵

Des règles plus ou moins sévères existent suivant les systèmes juridiques. Le droit est applicable sur un territoire. Depuis qu'Internet existe sans considération des frontières territoriales, les fraudeurs voire les criminels utilisent les différences de législation entre états pour se prémunir de poursuites les plus graves. Ce qui est vrai au niveau des Etats est vrai aussi dans les états fédéraux ou même au niveau européen. Stone¹⁶ cite le premier exemple d'application élargie de la loi fédérale américaine de 1994. Une attaque à main armée avait été menée en Iowa dans un magasin. Avant cette loi, l'homme aurait été accusé de crime suivant la législation de son état. Un procureur fédéral utilisa la loi fédérale pour faire du prévenu un criminel à vie. Il demanda au jury de qualifier l'infraction de crime d'état (*federal offense*) en les convainquant de se fonder sur l'argument que le magasin faisait partie d'une chaîne de magasins dispersés sur tout le territoire

Les contrôles eux-mêmes, ou les lois correctrices, peuvent créer d'autres problèmes. Les inspecteurs de sécurité par exemple peuvent contrôler des règlements avec une liste standard (check-list) et ne pas lister les problèmes non prévus dans les textes qui pourtant sont sous leurs yeux.

Les administrations ont pour mission de planifier les effets des politiques publiques. Or des règles notamment dans les politiques en matière sociale subissent des déformations d'interprétation, des détournements de pouvoirs et de procédures. Les résultats de ces politiques sont souvent inattendus voire contreproductifs.

La plupart des pays occidentaux ont par exemple prévu des prestations sociales garantissant un revenu minimal aux personnes dont les ressources sont insuffisantes. En Belgique, cette prestation s'appelle le *Minimex*, en Allemagne *Hilfe zum Lebensunterhalt*, aux Pays-bas, *Algemene Bijstandswet* en France, Revenu minimal d'insertion (RMI). Toutes ces allocations ont produit des effets inattendus qui illustrent les problèmes rencontrés dans la conception des aides sociales. Pour Alain Anciaux¹⁷, ces effets *sérendips* devraient à leur tour permettre de réfléchir à des nouveaux dispositifs, plus performants. Voici quelques-uns des effets, positifs ou négatifs de contagion d'une action sociale, qu'il a repérés, associés au *Minimex* ou au RMI :

Effet analyseur (une action conduit à de nouveaux problèmes et de nouveaux enjeux)

¹⁵ R. Stern & A. Epstein, "Institutional responses to prospective payment based on diagnosis-related groups", *New England Journal of Medicine*, 312, n° 10 (March 7, 1985, pp. 621-627.

¹⁶ D. Stone, *op.cit.* p. 285.

¹⁷ Alain Anciaux, Les résultats inattendus (effets sérendips) du RMI et du *Minimex*, Journée d'étude sur l'insertion - Conseil général - Département du Nord, Conseil départemental d'insertion, 22 février 1995 <http://www.ilb.ac.be/project/feerie/AA27.html>

Effet Boule de neige (une action sociale en entraîne une autre)
 Effet Janus (une action positive peut cacher une facette négative)
 Effet Sésame (une nouvelle idée peut débloquent un problème)
 Effet Kaléidoscope (un même fait social peut être perçu de façon différente)
 Effet Ténardier (certaines personnes peuvent feindre un besoin pour bénéficier d'avantages)
 Effet Charybde et Scylla (tomber d'un problème social dans un autre problème social)
 Effet Gabriel (comme l'Archange Gabriel annonça une « heureuse nouvelle » et disparut)
 Effet Synergétique (l'action de plusieurs organisations est plus importante que celle de ces d'organisations agissant de façon séparée)
 Effet Don Quichotte (l'action se heurte à des problèmes démesurés)
 Effet tabou (certains éléments font peur et freinent une action sociale)
 Effet Basaglia (une action sociale marginalise un certain nombre de personnes)
 Effet de l'Arlésienne (fait social dont on parle mais qu'on n'évalue jamais)
 Effet Zorro (la société civile va intervenir pour pallier les défaillances des pouvoirs publics)
 Effet de Halo (contamination affective qui freine ou facilite une action sociale comme l'Abbé Pierre)
 Effet Uchronique (fait ou règle dépassés que le public croit toujours en vigueur).
 Effet Tribu (une action va être facilitée par un dénominateur commun qui unit un certain nombre de personnes).

Tous ces effets ne sont pas « pervers » au sens strict : si l'on prend l'Effet Analyse par exemple, on s'aperçoit qu'une des conséquences non prévues du lancement du RMI a été de réévaluer en un an le chiffre des ayants droit (de 500.000 à un million).

La liste des « Effets sérendips » peut être étendue : l'Effet Transversal par exemple. Ainsi en France les dispositifs peuvent être très cloisonnés et suivre des logiques propres : une recherche sur la représentation intégrée de plusieurs allocations a montré que la condition de ressources était impossible à appliquer de façon homogène¹⁸. De même l'Effet Temporel montre que les prestations sont imbriquées les unes dans les autres et que l'ordre de demande des prestations (dont certaines sont prioritaires) peut donner par exemple des résultats différents.

L'analyse détaillée de ces effets inattendus devrait conduire à réfléchir à des recommandations générales de conception de politiques publiques ou de règles d'application mais aussi à étendre cette réflexion dans la préparation, la mise en œuvre et l'évaluation de la politique poursuivie. Une

18 V. Fierens-Vialar, 'L'analyse modulaire du droit et ses limites', in Lire le droit, Langue Texte Cognition, D. Bourcier & P. Mackay, LGDJ, 1992, p. 293-306.

des recommandations pourra être par exemple d'éviter les marquages sociaux des politiques en matière d'action sociale (par le biais des catégorisations notamment), une conséquence qui n'est pas prévisible *a priori*. On a pu en conclure qu'une approche pluraliste, qui garantit une place à la personne confrontée à des dispositifs sociaux complexes, peut réduire les effets sérendips négatifs et de faire une synergie des effets sérendips positifs.

C'est d'ailleurs la mise en relation de divers dispositifs sociaux dans un système unique (système informatique) qui a montré que, pour gérer la complexité de dispositifs qui s'emboîtaient les uns dans les autres, il fallait une approche où le dispositif - et non l'individu - s'adapte aux événements, aux parcours, aux priorités de cet individu. Les effets sérendips montrent que nous sommes dans des systèmes complexes dynamiques c'est-à-dire des systèmes ramifiés, réticulés et qu'il est difficile d'avoir une attitude conséquentialiste « à un coup ». A ce titre, les travaux de recherche sur l'anticipation des coups aux échecs sont particulièrement utiles pour systématiser cette approche.

J. Carbonnier a analysé de façon plus générale le phénomène d'incidence de la façon suivante: "Ne peut-il arriver que les textes, tout en ayant effet, aient un autre effet que celui que leur auteur aurait voulu? C'est le *problème de l'incidence*. L'incidence est une effectivité qui est tout de même une ineffectivité; une retombée de la loi en dehors de la cible"¹⁹.

Le phénomène est bien connu en droit fiscal: en visant le fabricant de sucre, on peut viser l'amateur de confitures. Cependant le droit fiscal n'est pas le seul concerné.

L'évolution du régime de la responsabilité pour les accidents du travail ou les accidents d'automobile est significative de cette théorie de l'incidence. La jurisprudence a d'abord désigné les patrons et les gardiens de la chose comme responsables des accidents, suivant le principe classique de la justice distributive (celui qui est le plus solvable doit assumer plus de risques). Mais ceux-ci se sont dégagés de la charge financière de cette responsabilité par les mécanismes de l'assurance. Au bout du compte, les primes d'assurance sont en général incluses dans les prix et ce sont les clients qui "indemnisent" les victimes.

Un autre cas d'incidence est pris dans le domaine du droit des biens. Pour développer la petite propriété rurale et empêcher la concentration du patrimoine aux mains d'un seul héritier, le Code napoléon avait limité la liberté testamentaire des pères de famille. Ce n'était plus dans les seules mains de l'aîné que devait être transmise la terre. Pour éviter la division du patrimoine, les fermiers réduisirent simplement leur progéniture, si bien que l'aîné resta le seul héritier; ce phénomène de dénatalité en milieu rural fut particulièrement observé dans la paysannerie du Sud de la France.

19 J. Carbonnier, *Flexible droit*, LGDJ Paris, 1988 (6ème édit.) pp. 138-143.

4 Les effets pervers : une remise en cause de la décision « rationnelle »

L'action aux objectifs clairs et bien pesés est un cas particulier de la façon dont nous prenons nos décisions. Partant de là, la rationalité n'a plus le même impact dans l'explication de ce qui arrive. Les déviations sont plus fréquentes que la chaîne des raisons. S'intéresser aux déviations plutôt qu'aux résultats prévus est un nouveau champ d'exploration. L'idéalisation de la rationalité humaine a été un des fondements de la théorie économique moderne. Elle se fondait sur les décisions optimales où un système s'adapte pour réaliser ses buts. Les acteurs construiraient leurs anticipations de façon rationnelle.

Cette vision a été remise en cause par des économistes - comme Simon²⁰ - qui considèrent que notre compréhension des systèmes économiques mais aussi de l'environnement est imparfaite. Nos capacités cognitives comme celles des ordinateurs sont limitées. Rationalité limitée, rationalité interne, *satisfying* ou "assez bonne" comme le traduit JL Le Moigne. Comme le signale Merton "un but peut être atteint par une action qui, sur la base de la connaissance disponible pour l'acteur, est irrationnelle".²¹ En terme de politique cette question est fondamentale: jusqu'où la surpopulation des prisons accroît-elle la délinquance? En quoi telle cause produit tel effet? En quoi la situation des enfants d'immigrés des peuples colonisés a-t-elle influencée la crise des banlieues? En quoi les experts influencent les jugent? Des conséquences voulues aux causes imputées, la sociologie a été au coeur de ces questions. Les politiques publiques qui s'appuient sur des analyses de causes échouent aussi parce que cette image des déterminations peut être déformée, pour différentes raisons, simplifications, voire justifications. C'est cette question que Pareto avait traitée sous le terme de "chance".²² Plus l'intervalle de temps est grand entre une action et ses conséquences, plus la probabilité que ces circonstances désirées arrivent est grande. Ce sont les constructions préférées des hommes politiques qui indiquent un retour de la prospérité ou la décroissance du chômage.

Le rôle de la connaissance intervient directement dans ce processus. Si on savait tout, il n'y aurait pas de découverte inattendue. Si Colombus avait su que c'était un continent qui s'appellera l'Amérique qu'il cherchait, il n'y aurait pas eu "découverte inattendue". Mais le continuum entre intuition et savoir ne peut se construire qu'*ex post*. Avoir l'intuition d'un événement positif ou d'un événement négatif signifie toujours que la conséquence était sinon connue mais attendue. La sérendipité pourrait être alors la preuve de l'intuition. L'inattendu n'est pas de l'ordre de la connaissance mais de l'action. Derrière la sérendipité, c'est le réel dans la dimension du temps et de l'espace qui est visé. La spéculation en serait la démarche opposée. Pourquoi

20 H. Simon, Les sciences de l'artificiel, p. 85-86.

21 R. K. Merton, ASR, p. 896.

22 Pareto, Théorie de sociologie générale, Paris, Payot, 1917, II, par. 1977.

ne savait-on pas avant? Parce que ce n'était pas le même état du monde, parce que le phénomène n'était pas advenu. Pourquoi n'anticipe-t-on pas correctement? Les statistiques ne sont alors d'aucun secours car même si des classes de situations sont établies, elles ne peuvent couvrir tous les événements possibles car les classes ne sont pas homogènes entre elles.

Les systèmes dynamiques décrivent cette hypothèse depuis Poincaré, hypothèse qu'a repris la théorie du chaos par exemple : "De petites différences dans les conditions initiales en produisent de très grandes dans le phénomène final". Mais nous passons notre vie à agir en condition d'ignorance et de non-anticipation. Cette situation est la plus courante. Pourquoi dans ce cas n'est-ce pas d'abord le phénomène de conséquences dans une situation d'ignorance qui a été privilégié? Que fait-on quand on ne sait pas? On agit.

C'est le rôle de l'expérience dans tous les sens du terme.

5 Les effets pervers : des cas particuliers de sérendipité.

Les effets pervers ne sont pas toujours dus à des erreurs mais l'effet pervers comme l'erreur peut être fécond. Christophe Colomb a découvert l'Amérique par erreur mais sa théorie était bonne : la terre est bien ronde. Les données au départ ne sont pas fausses mais des données nouvelles surgissent et qu'il faut alors des théories plus larges ou des normes plus générales pour les intégrer comme le signalait Kuhn. Mais surtout l'erreur crée des effets pervers quand on oublie les déterminants sociaux ou stratégiques. Il peut y avoir erreur sur la nature de l'autre. Edgar Morin parle des grands conquérants comme les Persans qui ont hésité à traverser le Bosphore mais qui ont par contrecoup permis à la démocratie de naître en Grèce. Face à Hitler, Munich pouvait être une bonne stratégie dans l'abstrait mais les gouvernements français et anglais ont accru les risques de guerre qu'ils voulaient éviter. Un autre exemple classique est celui de la Révolution française : ce sont les aristocrates qui convoquèrent les Etats généraux mais ils finirent par se suicider en tant que classe.

Beaucoup d'auteurs ont réfléchi sur ce thème par exemple Machiavel, Vico, Adam Smith (et quelques autres économistes classiques), Marx, Engels, Wundt, Pareto, Max Weber, mais ils lui ont donné des noms différents. La notion en français d'effets pervers n'est pas très heureuse: elle implique un résultat négatif. Il existe d'autres termes pour désigner les effets pervers : Providence (immanente ou transcendantale), forces sociales, *Heterogonie der Zwecke* (hétérogénéité des fins chez Wilhelm Wundt), *Paradoxie der Folgen* (le paradoxe des suites chez Max Weber), la causalité immanente, le mouvement dialectique, la synthèse créative et le principe d'émergence.²³

23 American Sociological Review, Vol. 1, No. 6, Dec., 1936, pp. 894-904.

Engels, dans son texte sur Feuerbach, défend la thèse suivant laquelle les hommes ne font leur propre histoire et l'Histoire collective que par accidents ou suite d'accidents, le plus souvent imprévisibles. Cependant, à la différence de beaucoup d'auteurs, il considère que ce mécanisme n'est pas marginal mais essentiel :

« C'est rarement que se réalise le dessein voulu ; dans la majorité des cas, les buts poursuivis s'entrecroisent et se contredisent... C'est ainsi que les conflits des innombrables volontés et actions individuelles créent dans le domaine de l'histoire une situation tout à fait analogue à celle qui règne dans la nature inconsciente. Les buts et les actions sont voulus mais les résultats qui suivent réellement ces actions ne le sont pas ou s'ils semblent au début correspondre au but poursuivi, ils ont finalement des conséquences tout autres que celles qui ont été voulues. Ainsi les événements historiques apparaissent en gros comme dominés par le hasard »²⁴.

Analysons plus précisément cette thèse de Engels. Chez un auteur marxiste pour lequel le déterminisme est un moteur de l'histoire, on pourrait être étonné : en réalité il se démarque d'une approche simpliste de ce déterminisme en proposant une autre logique sociale sous forme de paradoxe. Les hommes font leur histoire mais pas celle qu'ils pensaient mettre en place. A cause de la rationalisation des forces de production, les systèmes d'interaction ont changé au début du XX^{ème} siècle : les rapports entre patrons et ouvriers deviennent distants et disparaissent. Cette massification du travail amène l'apparition de la figure du « prolétaire ». Ces salariés vont se regrouper pour former des syndicats : la logique du capitalisme est alors de développer des conflits majeurs. L'effet pervers est que le système d'interaction remet en cause les relations entre entreprise capitaliste et ouvriers en créant de conflits sociaux. Dans une optique systémique, on peut dire que ces effets pervers sont négatifs du point de vue de l'idéal capitaliste du rendement mais en en corrigeant l'appauvrissement tendanciel pour les salariés, il devient positif pour les ouvriers qui, à leur tour, maintiennent en vie le système capitaliste... Cet effet de « conflit » développé par R. Boudon est aussi expliqué par A. Lemoyne pour qui effets pervers et effets providentiels sont un « paradigme universel ». On retrouve dans le discours de ceux qui défendent la démocratie comme le moins « pire des régimes », la même attitude pragmatique. Seul un régime capable de s'auto-corriger est susceptible de « perdurer » avec le moins de désordre, ou tout au moins de s'adapter aux évolutions imprévisibles de l'Histoire.

L'affaire Rosa Parks illustre aussi la réflexion d'Engels car elle montre en quoi les événements historiques sont dus au hasard de comportements individuels imprévisibles.

Rosa Parks une femme noire, refusa de se lever pour un passager blanc et de s'asseoir à l'arrière du bus alors que c'était obligatoire pour tout

(Voir : <http://www.jstor.org/>).

24 F. Engels, Le matérialisme historique, édit. Sociales.

passager noir en décembre 1955 à Montgomery - dans le sud-ouest des États-Unis. Elle fut poursuivie par les lois ségrégationnistes. Cette histoire frappa les imaginations. Le refus de Parks provoqua un boycott de la compagnie de transports de 381 jours. A partir de cette manifestation spontanée Martin Luther King forgea un mouvement de masse pour les droits civils. En novembre la Cour suprême décida que la ségrégation des races était contraire à la Constitution, et la Compagnie de transport fut forcée d'arrêter la ségrégation raciale dans les bus. Le boycott et la grève s'étendirent à d'autres villes. En 1963 à Washington, une grande marche de protestation contre la discrimination raciale fut le moment suprême du mouvement. Et en 1964, une loi fut adoptée qui interdit la discrimination dans les bâtiments publics et les écoles.

Naturellement Rosa Parks n'a jamais prévu les conséquences de son refus. Personne n'aurait pu prédire ce qui est arrivé après Montgomery. Son acte apparaît comme un noyau de cristallisation, un catalyseur dans un contexte de tension extrême. A l'âge de 77 ans, la couturière d'Alabama, désignée comme 'mère du mouvement des droits de l'homme', déclara : 'Je veux être vue comme quelqu'un qui est intéressée par la liberté, l'égalité, la justice et la prospérité pour tout le monde.' Elle voulait simplement minimiser la portée individuelle de son geste dans le déclenchement d'une Révolution sociale majeure qui lui échappa, *juste* après ce geste-là.

6 Conclusion : Anticiper les effets pervers ?

Merton espérait consacrer une monographie à l'histoire et l'analyse de ce problème, ce qu'il ne l'a jamais fait. Il décrit trois facteurs importants qui limitent une anticipation correcte des conséquences d'une action :

Un manque de connaissance adéquate;
L'erreur, dans chaque phase de l'action voulue;
L'intérêt immédiat de l'acteur, excluant la considération des conséquences plus éloignées.

1- Le manque de connaissance

Les effets pervers de la législation sont de plus en plus repérables dans une société qui ne peut analyser toutes les conséquences de ses lois surtout quand elle interfère avec des sources variées et des niveaux multiples (pluralisme des normes) d'imbrications.

Plusieurs solutions sont proposées pour mieux éclairer la décision. Certaines sont fondées sur la nécessité d'avoir plus de connaissances et de prévisions dans l'édiction de normes collectives : elles relèvent de *l'attitude rationnelle du décideur*. Les études d'impact par exemple, deviennent obligatoires pour aider le Parlement à comprendre les conséquences en chaîne des textes qu'il vote. La sociologie législative a aussi été développée pour éclairer, par des enquêtes préliminaires, les effets possibles des régimes

juridiques que le législateur veut changer. On peut en effet prévoir que si une loi sur le divorce vient à supprimer les pensions alimentaires pour les femmes, celles-ci iront chercher du travail pour compenser une perte de niveau de vie. Le changement d'un régime matrimonial peut avoir pour but une finalité économique. Ce faisant on voit que les effets vont modifier tout un ensemble de comportements (baisse des divorces) qui n'ont rien à voir avec l'évolution (ou non) du marché du travail.

Enfin, des *simulations* sont aussi mises en oeuvre au niveau macro-économique avec le maximum d'indicateurs pour chiffrer le coût de réforme et la redistribution des charges.

2- L'erreur successive

L'historien hollandais Jan Romein définit le phénomène comme 'la loi des conséquences involontaires ou même contreproductives' dans son chapitre 'Pensées sur le progrès' de *Carillion der tijden*²⁵ illustrés par quelques exemples historiques.

Tous ses exemples montrent que lorsqu'une nouvelle intervention commence, les conséquences surprenantes, non voulues et/ou contre-productives ne peuvent être anticipées. Cela arrive plus tard, *post hoc* : les conséquences apparaissent souvent contre-intuitives et de toute façon il est déjà trop tard pour les prévenir ou les réparer. L'écrivain Matthijs van Boxsel donna un exemple particulièrement clair de ce phénomène. Les habitants de l'île de Pâques ont coupé des arbres pendant huit siècles pour ériger sur la côte des sculptures en pierre de leurs ancêtres, qui devaient protéger leur civilisation contre le mal de l'extérieur. On connaît la suite : l'île perdit tous ses arbres en 1600. Plus de canoës à construire, ni de bois à brûler, les thons et les tortues de mer - les sources les plus importants de protéine animale - disparurent de leur menu. Le cannibalisme fut la suite normale de cette pénurie radicale.

On peut augmenter sa connaissance mais on ne peut tout prévoir car la direction elle-même de ces changements ne peut être anticipée. L'impossibilité d'anticiper n'a rien à voir avec l'ignorance. Une opinion erronée classique est de penser que des actions qui ont conduit à des résultats voulus conduiront toujours aux mêmes résultats. Les circonstances doivent être distinguées pour permettre des comparaisons sous certaines conditions. Dewey appelait ce phénomène 'les erreurs philosophiques'. La main invisible appartient à ce même type d'exemple. L'*homo economicus* serait particulièrement soumis à ce genre d'effets car la réalisation des valeurs peut conduire à leur renonciation (le protestantisme). John Venn a utilisé le terme de « prophéties suicidaires »²⁶.

3- L'intérêt immédiat et la « courte vue »

25 Querido, Amsterdam, 1953, p. 12-40 (traduit pour cet article par Pek van Andel)

26 John Venn, *Logic of chance*, London, 1888, pp. 225-6

Merton cite enfin « l'impérieuse immédiateté des intérêts à satisfaire » comme erreur classique qui doit être prise en compte par les agents ou par les observateurs. Il semble que cette troisième source d'effets pervers soit particulièrement partagée par les gouvernants et les gouvernés. Dans le cas du droit, cette observation explique pourquoi ce phénomène est particulièrement fréquent dans le domaine de la fiscalité et du droit patrimonial en général

Depuis quelques années, le législateur adopte des solutions qui intègrent l'incertitude des effets de la norme. Ces solutions relèvent de la *prise de décision pragmatique en univers incertain*. Les lois par exemple seront élaborées pour une durée *limitée* de façon à permettre des évaluations et des corrections périodiques : c'est le principe des lois expérimentales. Appartiennent à cette catégorie la loi sur l'Interruption Volontaire de Grossesse, les lois bioéthiques en général, mais aussi les lois sociales comme celle sur le RMI. Autre solution : les *sunset laws* qui sont des lois vouées à disparaître dès qu'elles ont rempli leurs objectifs. Les méthodes d'élaboration des lois sont, elles aussi, en train de changer: grâce à des *forums participatifs*, ou des *conférences de citoyens*, ouverts au maximum d'acteurs, les destinataires de la loi peuvent exposer leurs objections et leurs opinions sur l'applicabilité de la règle à venir (loi sur l'économie numérique) : cela s'appelle la démocratie participative, que les élections présidentielles en France ont remis au cœur des débats.

L'observation que la plupart des conséquences de nos décisions ne peuvent être prévues, est très ancienne. On terminera par un exemple littéraire. Un vieux conte chinois raconte qu'un paysan sage avait perdu son cheval. Quand ses voisins vinrent pour le consoler, il demanda : « Comment savez-vous que c'est la *malchance*? ». Quelques jours après en effet, le cheval revint avec des chevaux sauvages. Les paysans félicitèrent alors le vieil homme qui s'exclama: « Comment savez-vous que c'est de la (*bonne*) *chance*? ». Quelques jours plus tard en effet son fils tomba d'un cheval. Mais ce n'était pas de la *malchance* parce qu'il ne fut pas obligé d'aller à la guerre qui commença peu après...

Berlin, décembre 2006

Limites et ruptures dans la catégorisation des objets

Jérôme Cardot

Université de Bretagne Occidentale – Brest

(cardot@univ-brest.fr)

Résumé

Nous proposons d’aborder ici, à travers un modèle de la catégorisation et des liens entre objets réels et catégories, deux types de problèmes aux limites : limites des catégories elles-mêmes d’une part, où la frontière entre « *être membre de la catégorie* » et « *être en dehors de la catégorie* » doit être examinée de près, limite dans la description des objets d’autre part, qui ne peut être réalisée avec une précision infinie.

Nous montrerons alors comment les limitations inhérentes aux systèmes de catégorisation, par exemple aux hiérarchies de catégories, conduisent à des réorganisations, que l’on peut voir comme des catastrophes ou des ruptures opérant sur le système.

Mots clés

Catégorisation, objets, limites, rupture, frontière, évolution.

Position du problème

La volonté d’organiser les objets du monde en des catégories ou en classes d’objets partageant des propriétés communes est constitutive de notre rapport à ces objets et au monde, en ce qu’elle nous permet d’abstraire certaines différences jugées mineures, pour se concentrer sur les propriétés communes aux objets que l’on a regroupés dans une même classe.

Dès l’origine du questionnement philosophique, catégories et objets sont des notions fondatrices ; ainsi la tradition occidentale se réfère-t-elle à l’idéalisme platonicien ou au *traité des Catégories*, classiquement présenté comme ouvrant l’*Organon* d’Aristote.

Le point qui nous intéresse ici est fondé sur une description des catégories d'objets, aussi bien que des objets, à partir de propriétés caractéristiques qui constituent la base d'un formalisme commun. Divers systèmes formels (logiques de description, logique de détermination d'objet, ontologies...) dans le détail desquels nous n'entrerons pas ici permettent ainsi de décrire des objets ou des catégories d'objets à partir d'un ensemble de concepts.

L'idée n'est pas toute récente puisqu'Avicenne développe la notion de *définition descriptive* (parfois attribuée à Galien) :

« lorsque la chose est portée à la connaissance par un énoncé composé des accidents et des propres dont le total la caractérise par leur ensemble. Par exemple dire de l'homme qu'il est un animal marchant sur deux jambes, aux ongles plats, naturellement capable de rire.¹ Une telle description doit se baser sur des accidents manifestes : qui ferait connaître le triangle en disant la figure dont les angles sont égaux à deux droits n'en donnerait une description qu'aux géomètres. »²

Nous voulons ici explorer ces notions de catégories et de description des objets en nous intéressant aux limites des espaces qu'elles permettent de constituer (limites des catégories, limites dans la description des objets) et aux transformations du système même des catégories qui peuvent résulter de la transgression de ces limites.

1 Catégorisation et description des objets

Au sein d'un système de catégories tel que nous l'envisageons ici, on considérera des relations ensemblistes (principalement d'inclusion) entre les catégories. Ces relations entre catégories sont souvent représentées sous forme d'*arbre*, et par analogie avec les arbres généalogiques, on emploiera si nécessaire un vocabulaire tel que *catégorie parente* ou *filie* d'une autre. Sur un exemple très classique de classification des être vivants, on dirait par exemple que la classe des mammifères est parente de celle des chevaux.

Par ailleurs, on envisage parmi les objets ceux que nous observons dans le monde, aussi bien que des représentants abstraits d'une catégorie, à partir desquels on pourra construire d'autres objets en apportant une précision supplémentaire sur les propriétés vérifiées par l'objet. L'idée est ici de permettre

¹ Avicenne renvoie aux Topiques V 5 134 b5 sur la nécessité de ce *naturellement* pour régler le cas de l'unijambiste.

²(Avicenne 1951, p.106 : directive sur la définition descriptive).

entre ces objets des relations que l'on pourra paraphraser en « *l'objet A est un B qui vérifie la propriété f* ». On peut voir dans (Arnauld et Nicole 1662) et (Leśniewski 1929) les origines de l'étude de ce type de relations entre objets. Port-Royal étudie ainsi l'opération de *détermination*, et Leśniewski construit (entre autres) un système qu'il baptise *ontologie*, centré sur la notion d'objet plutôt que sur celle de classe.

La figure 1 illustre alors des déterminations successives construites à partir d'un objet, noté ici τf , représentant d'une catégorie.

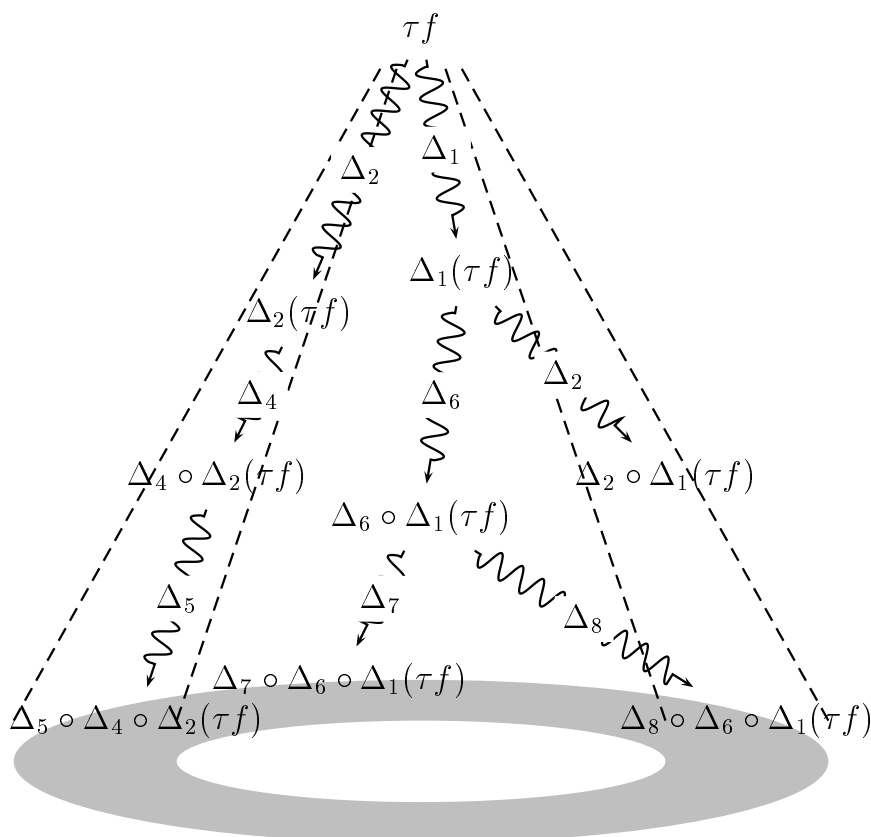


FIG. 1 – Déterminations d'un objet

Sur cette figure, les objets construits à partir de τf sont représentés sous la forme d'un cône, dont τf occupe le sommet, les déterminations sont représentées par les Δ_i et plus un objet est déterminé, c'est-à-dire porteur de propriétés particulières, plus il est situé bas dans le cône.

Notons encore qu'ici rien n'interdit qu'un même objet soit atteint par deux chaînes de déterminations différentes.

2 Face à l'objet réel

Confronter l'objet réel au système de catégories mis en place peut se faire de deux manières : nous visons tout d'abord à décrire un objet réel au moyen de catégories et des concepts qui les différencient, à l'aide d'opérations de détermination ou de description ; dans un second temps nous chercherons la meilleure place pour l'objet dans un système de catégories donné.

L'objet réel parmi les objets construits

Le point de vue adopté ici est constructiviste : on veut construire à l'aide d'un langage formalisé une représentation d'un objet du monde. Sur la figure 1, on cherche à placer les objets réels à la base du cône (là où la détermination ne peut être poussée plus avant).

À l'aide d'un nombre fini de concepts et de déterminations, mis à part les objets déjà construits au sein de domaines formalisés, il est possible que certains objets réels ne reçoivent que des représentations approximatives ou parcellaires. Par exemple quelle description serait assez fine pour distinguer entre deux stylos du même modèle, sans faire appel à des propriétés purement contingentes comme « *celui de droite* » ou « *le stylo de Luc* » ?

On peut alors envisager que l'objet n'est pas atteint par sa description, mais seulement par un passage à la limite dans une famille de descriptions de plus en plus fines. Bien entendu il conviendrait formellement de bien préciser le sens de ce « *passage à la limite* », éventuellement en dotant les descriptions d'une topologie adaptée.

Reconnaissons toutefois que pour l'usage courant il est bien suffisant de considérer que l'on dispose d'objets semblables que l'on ne cherche pas à différencier, et pour lesquels on se contente d'une description approximative commune (ce qui est à l'origine même de l'intérêt des notions de classes, d'ensembles ...)

Notons bien que si rien ne s'oppose en théorie à l'utilisation d'une infinité, même non dénombrable, de déterminations, il nous faudra bien pouvoir nommer les objets en un nombre fini de mots³.

Une façon détournée d'enrichir, potentiellement à l'infini, l'ensemble des déterminations possibles, est d'admettre des déterminations paramétrées, par exemple en faisant intervenir un système de coordonnées spatio-temporelles.

³Cette exigence déjà est établie par exemple dans (Poincaré 1909).

C'est alors sur la précision de la mesure qu'est reporté le passage à la limite, s'il est nécessaire.

Classification d'un objet réel

Le système des catégories étant posé, vient le problème d'intégrer à ce système un objet réel donné.

L'approche descendante est naturelle ici : une fois identifiée une catégorie très générale à laquelle se rattache l'objet, on procédera par raffinements successifs en tenant compte de propriétés de l'objet à classer qui permettent de choisir l'une d'entre les catégories filles de la catégorie courante, puis on itère le processus jusqu'à ce que les propriétés connues de l'objet ne permettent plus d'identifier une meilleure catégorie fille.

Dans les cas favorables, c'est-à-dire si l'objet à classer a bien une place de le système de catégories envisagé, on trouvera cette place. Il peut cependant arriver que l'objet considéré, soit n'ait pas de place convenable, soit ait une place... qui ne soit pas vraiment la bonne.

(Eco 1999) rappelle plusieurs exemples de ce type de problème. Si l'*ornithorynque* est l'exemple le plus fameux, lui qui présente à la fois des caractères marqués du mammifère (pelage, allaitement...) et de l'oiseau (bec, ovi-parité...), d'autres plus anecdotiques montrent l'universalité du problème à travers les âges.

Ainsi Marco Polo aurait-il été confronté au cours de ses voyages à un animal qu'il n'avait jamais vu, mais que son système de catégorisation lui a toutefois permis de reconnaître comme une licorne : il s'agissait d'un mammifère dont le museau s'ornait d'une longue corne. Les détails complémentaires de la description qu'en donne Marco Polo permettent aujourd'hui de reconnaître un rhinocéros, espèce qui ne faisait pas partie du système de catégories du voyageur vénitien (ce qui est bien au-delà d'en ignorer l'existence, et l'on peut bien supposer qu'avant d'en voir une, Marco Polo ignorait l'existence des licornes).

3 Aux frontières de la catégorie

Même lorsqu'un objet trouve sa place dans une catégorie donnée, ou lorsqu'il est obtenu, par construction, au sein de la catégorie comme détermination d'un objet s'y trouvant lui-même, il arrivera que l'objet sera vu comme un mauvais représentant de la catégorie considérée, parce qu'il manquera d'une

propriété qui, sans être essentielle pour l'appartenance à ladite catégorie, lui est cependant intimement associée.

On retrouve là la problématique classique des *exceptions* d'une classe. L'exemple canonique est ici l'autruche qui, au sein de la catégorie des oiseaux, manque d'une propriété importante, *savoir voler*. S'il n'est pas aisé de donner, pour définir la catégorie des oiseaux, un ensemble de propriétés nécessaires et suffisantes, on s'accordera généralement à dire que les oiseaux sont des animaux dotés d'ailes, d'un bec, de plumes, qui chantent, qui pondent des œufs, qui volent, qui construisent des nids... Certes, parmi ces propriétés, certaines ne sont pas vraies de tous les oiseaux ; elles sont néanmoins vraies des oiseaux *en général*, et à ce titre un oiseau dépourvu de l'une d'entre elles sera vu comme *atypique* de la catégorie des oiseaux.

Si, comme le proposent (Rosch 1973) ou (Kleiber 1990), on représente les objets les plus typiques, les « *meilleurs représentants* » ou « *prototypes* », au centre de la catégorie, les objets atypiques se trouveront alors relégués « *aux marges* », « *aux limites* » ou « *aux frontières* » de la catégorie.

Ceci conduit à représenter des catégories dotées d'une *frontière épaisse*, comme dans la figure 2, et dans notre figure 1 c'est toute la surface conique qui doit être vue comme une frontière épaisse où se situent les objets atypiques de la catégorie.

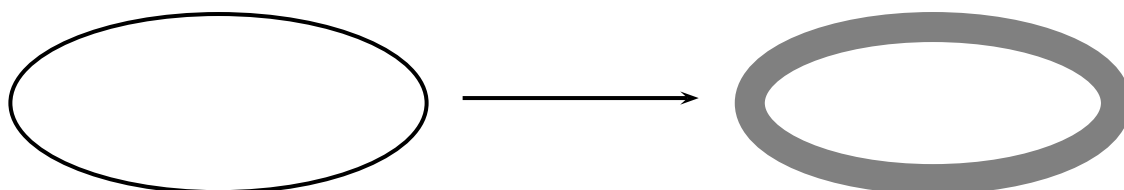


FIG. 2 – Frontière épaisse

Au lieu d'une bipartition des objets, entre « *ceux qui sont dans la catégorie* » et « *ceux qui ne sont pas dans la catégorie* », on réalise une tripartition, la frontière épaisse représentant « *ceux qui ne sont ni tout-à-fait dedans, ni tout-à-fait dehors* ». Ici, les objets atypiques ont malgré tout bien des points communs avec les objets typiques de la catégorie, et il ne serait ni intuitif ni économique de créer une catégorie à part pour ces objets atypiques. En effet, dans l'exploitation des connaissances, bon nombre de raisonnements sont menés de la même façon pour les tous les objets de la catégorie, et l'efficacité du système repose sur un nombre de catégories convenable, les extrêmes

(tout ranger dans une catégorie unique, ou créer autant de catégories que d'objets) étant aussi inefficaces l'un que l'autre.

La rupture qui survient avec l'apparition de cette frontière épaisse est apparentée aux remises en cause du statut de la négation. Il n'est donc pas étonnant que les théories logiques alternatives à la logique classique fondées sur une remise en cause des propriétés habituelles de la négation aient donné lieu à des développements dans ce sens.

Par exemple, la *logique intuitionniste*⁴ est fondée sur la remise en cause du *principe du tiers exclu*, selon lequel « *une propriété est soit vraie, soit fausse* », et le refus de ce principe conduit à une position constructiviste, où une preuve d'existence d'un objet n'est acceptée que si elle permet de construire l'objet en question. (Stell and Worboys 1997) ont développé, sur la base de la logique intuitionniste, une topologie adaptée au traitement de catégories dotées d'un noyau central et d'une périphérie aux propriétés affaiblies.

En remettant en cause un autre principe de la négation, le *principe de non-contradiction*, (da Costa 1963) a développé les *logiques paraconsistantes*, qui admettent la possibilité de proposition contradictoires, mais interdisent la propagation de la contradiction⁵ à l'ensemble du système logique. Sur cette base, (da Costa, Béziau, et Bueno 1995) développent une théorie paraconsistante des ensembles, ce qui permet de maîtriser localement les contradictions résultant du traitement logique des exceptions.

4 Réorganisation... en catastrophe

Seuls quelques domaines suffisamment formalisés, et bien sûr des domaines artificiels, permettent de construire une catégorisation définitive. C'est le cas par exemple de l'étude des transformations géométriques qui conduisent aux groupes de symétries, dont l'étude peut servir de cadre à une classification des particules en physique quantique. C'est aussi le cas de domaines où la combinatoire offre un support convenable à la classification : ainsi les ouvertures du jeu d'échecs sont-elles d'abord simplement classées selon les premiers coups joués.

Dans la plupart des cas cependant, le domaine étudié ne peut prétendre à un état définitif de la classification des objets qui le constituent. Et un nouvel

⁴(Brouwer 1912).

⁵Dans le cadre de la logique classique, la présence de deux propositions contradictoires permet de prouver toute autre proposition.

objet du monde peut ne pas entrer dans un système de classification construit sans le connaître, ce qui peut entraîner soit une erreur à propos de l'objet, que l'on cherche à faire entrer dans un système de catégories où il n'a pas sa place, soit la remise en cause du système des catégories constituées.

Un système de catégorisation doit donc être pensé comme système *en devenir*, en construction, et non comme achevé. La catégorisation est un processus, qui doit pouvoir se poursuivre et se montrer capable d'accueillir les objets « *inclassables* ».

Se pose alors la question de l'importance de l'ajustement dans la réorganisation du système de catégories, lorsque celui-ci est nécessaire. Dans le cas des classifications hiérarchiques, où la relation d'inclusion munit le système de catégories d'une relation d'ordre, on pourra comparer l'effet de cet ajustement sur la relation d'ordre. On pourra ainsi distinguer :

- le simple ajout d'une catégorie, pour prendre en compte un aspect qui était négligé dans l'état précédent du système ; la relation d'ordre entre les catégories est alors plus fine ; de la même façon, un affinement du système de catégories qui consiste à ajouter des catégories d'une manière compatible avec l'ordre précédent, s'il correspond à une amélioration de la qualité de l'information, ne remet pas en cause la pertinence de l'état précédent du système.

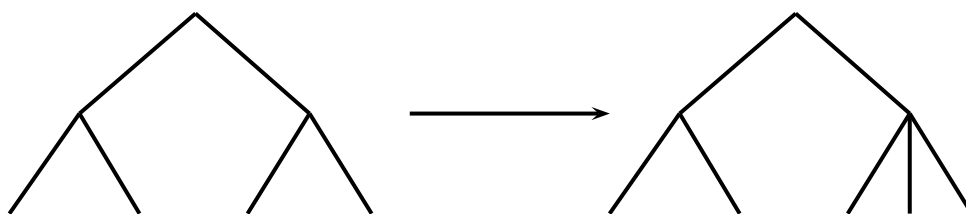


FIG. 3 – Ajout d'une catégorie-feuille

- l'ajout de catégories intermédiaires peut sembler plus important, même s'il est analogue dans son effet sur la structure d'ordre catégoriel. On pense ici, pour reprendre l'exemple des classifications d'êtres vivants, à l'introduction de sous-ordres comme les *ongulés* entre l'ordre des mammifères et les espèces qui le composent. Après une telle modification, la distance entre deux espèces, observée sur un graphe représentant le système de catégories pourra être modifiée.
- le déplacement d'une catégorie dans le système des catégories est une réorganisation plus profonde ; on peut cependant distinguer entre déplacer une catégorie finale (une feuille de l'arbre) et déplacer toute

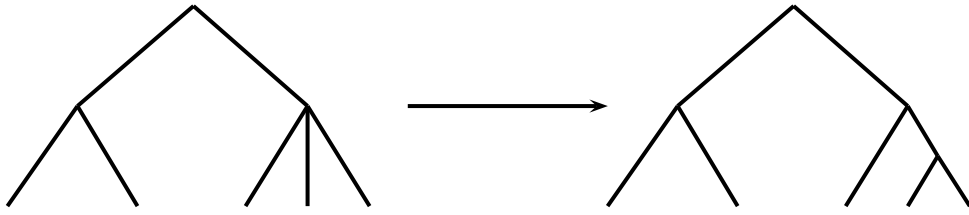


FIG. 4 – Ajout d'une catégorie intermédiaire

une branche. Plus encore, si le système de catégories est muni d'un *ordre gradué*, c'est-à-dire si chaque catégorie est dotée d'un niveau d'importance (pour les êtres vivants, les *ordres*, *sous-ordres*, *genres*, *espèces*...), le déplacement d'une branche à un autre niveau que son niveau initial (par exemple faire d'un sous-ordre un ordre) est une remise en cause importante du système précédent.

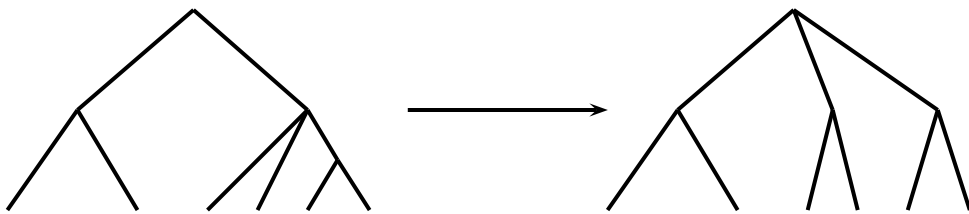


FIG. 5 – Changement de niveau

- on a jusqu'ici envisagé uniquement des systèmes hiérarchiques de catégories, c'est-à-dire correspondant à des arbres, où un seul chemin mène d'une grande catégorie à une plus petite (et même un seul chemin mène d'une catégorie quelconque à une autre). On introduira une modification structurelle plus importante si l'on envisage d'identifier des catégories obtenues par des chemins différents.

À titre d'exemple, lorsqu'on envisage les débuts de parties d'un jeu comme les échecs ou le go, il est nécessaire d'identifier une position obtenue après quelques coups, indépendamment de l'ordre dans lequel les coups ont été joués. Si l'on reconnaît, à partir d'un début donné, une position habituelle dans un autre début, on parle de transposition dans cet autre début.

Le simple fait de tolérer une telle identification oblige à abandonner la structure d'arbre pour représenter les catégories, au profit d'une structure de *treillis*, et exige des manipulations de la nouvelle structure qui

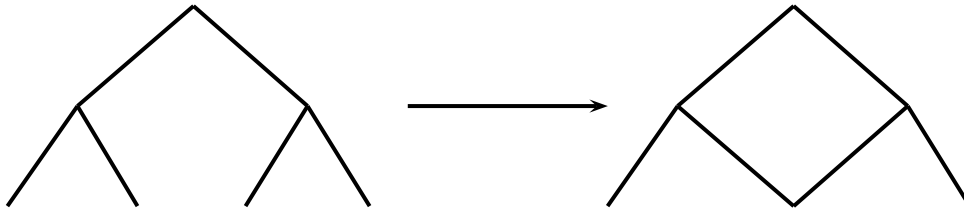


FIG. 6 – Réorganisation structurelle : de l'arbre au treillis

étaient sans objet dans l'ancienne. On obtient bien là une remise en cause de l'ordre de la rupture, ou de la catastrophe.

Conclusion

Partant d'une situation bien banale, les relations entre catégories et objets d'un domaine, nous nous trouvons confrontés de toutes parts aux limites, aux frontières et, plus encore, au besoin d'évolution du système qui décrit ces catégories et ces objets.

Là intervient la réorganisation du système, qui peut souvent être réalisée d'une façon douce, préservant une certaine continuité entre deux états du système, mais peut aussi nécessiter une rupture plus franche, et jusqu'à une complète remise en cause de la structure d'ordre sous-jacente.

Ainsi, si un système de catégories sous forme d'arbre permet une exploitation de l'information efficace, à l'aide d'algorithmes éprouvés – on peut même, sans préjuger de la pertinence cognitive de cette opération, vouloir organiser des arbres binaires équilibrés pour optimiser certains temps de calcul – la structure d'arbre ne peut être suffisante ; la gestion des exceptions comme membres des catégories obligera à de nombreuses vérifications dans les raisonnements, du fait de la remise en cause possible de conclusions tirées du cas général.

Quant à l'émergence d'une structure autre que l'arbre, ici le treillis, qui intervient de façon naturelle lorsqu'on cherche un cadre apte à représenter plusieurs points de vues (d'un même observateur ou de plusieurs observateurs différents), elle introduit des problèmes d'un autre ordre :

- identification de deux objets ;
- recherche de l'ensemble des chaînes de détermination d'un objet ;
- cohérence des inférences menées à partir de deux chaînes de déterminations d'un objet ;

- pluralité des représentations, et éventuellement recherche d’une « *meilleure* » représentation d’un objet.

Autant de problèmes qui font ici appel à des méthodes ensemblistes, là où les ensembles étaient réduits à des chemins uniques dans le cas des systèmes de catégories sous forme d’arbre.

Références

- Arnauld, A. et P. Nicole (1662). *La logique ou l’art de penser* (1993 ed.). Paris : Vrin.
- Avicenne, I. S. (1951). *Livre des directives et remarques*. Beyrouth, Paris : UNESCO, Vrin. Version française par A. M. Goichon.
- Brouwer, L. E. J. (1912). Intuitionism en formalism. Groningue. Version française dans (Largeault 1992) pages 39-53.
- da Costa, N. (1963). Calculs propositionnels pour les systèmes formels inconsistants. *CRASP* 257, 3790–3793.
- da Costa, N., J.-Y. Béziau, et O. Bueno (1995). Aspects of paraconsistent logic. *Bulletin of the IGPL* 3(4), 597–614.
- Eco, U. (1999). *Kant et l’ornithorynque*. Paris : Grasset.
- Kleiber, G. (1990). *La sémantique du prototype ; Catégories et sens lexical*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Largeault, J. (1992). *Intuitionnisme et théorie de la démonstration*. Paris : Vrin.
- Leśniewski, S. (1929). Grundzüge eines neuen Systems der Grundlagen der Mathematik. *Fundamenta Mathematicae* 14.
- Poincaré, H. (1909). La logique de l’infini. *Revue de métaphysique et de morale* (17), 461–482. Reproduction partielle dans (Rivenc et de Rouilhan 1992) pages 393-414.
- Rivenc, F. et P. de Rouilhan (1992). *Logique et fondements des mathématiques - Anthologie (1850-1914)*. Paris : Payot.
- Rosch, E. (1973). Natural categories. *Cognitive Psychology* (4), 328–350.
- Stell, J. and M. Worboys (1997). The algebraic structure of sets and regions. *Lecture Notes in Computer Science* 1329, 163–174.



Faille de St. Andreas, Californie, 1906. En attendant « The Big One » ?

Continu et discontinu dans l'espace géographique,

Enseignements d'une coupe botanique et paysagère à travers les Alpes, de la vallée du Rhône à la vallée du Pô

Marianne Cohen et Frédéric Alexandre
(UMR Ladyss-Université Paris 7)

1 Introduction

Notre proposition se situe résolument dans le champ de l'appréhension spatiale des discontinuités. Il s'agit de montrer la fécondité d'une analyse spatiale qui met en regard, sans *a priori*, les phénomènes continus et discontinus (Alexandre & Génin *dir.*, s.p.). Ces discontinuités spatiales sont-elles pour autant toujours assimilables à des catastrophes, conséquences de crises ? Sans doute pas au sens commun de ces deux termes ; sur ce point, nous rejoignons davantage la position de Brunet (du moins telle qu'il l'exprimait en 1963) que celle de François (s.d.). En revanche, la mise en lumière de ces formes d'organisation spatiale nous informe sur les processus à l'œuvre et sur les mutations qu'ils impliquent dans l'espace géographique. Ceci est manifeste dans les massifs montagneux en particulier pour ce qui est des relations tissées entre les sociétés et les milieux bio-physiques et, à l'échelle globale, des impacts attendus du changement climatique. Dans ce qui suit, nous ferons l'hypothèse que le changement climatique représente une discontinuité temporelle, assimilable à une « catastrophe » à l'échelle de la mise en valeur par les sociétés humaines de ces espaces. Cela correspond d'ailleurs aussi bien à la définition populaire du terme, qu'à celle retenue pour le colloque, donnée par Thom (1977) : « phénomène discontinu pouvant émerger, en quelque sorte spontanément, d'un milieu continu ». Une telle définition peut en effet s'appliquer aux conséquences spatiales d'une hausse, même minime, des températures. Notre objectif est donc de réinterroger les catégories de continuité, discontinuité et de catastrophe, à partir des enseignements d'un travail empirique. Cela vise moins à établir un modèle qu'à tenter de traduire la complexité de la distribution spatiale des végétaux et de sa signification.

La notion d'espace géographique utilisée ici est porteuse à la fois d'une analyse des morphologies spatiales et des relations entre les sociétés et les milieux bio-physiques dans lesquels elles s'inscrivent. On peut considérer que

tout lieu se définit par 3 logiques en interaction, en ajustement mutuel, permanent et évolutif :

1. Une relation verticale entre le monde bio-physique et les sociétés qui l'habitent et le transforment,
2. Des faits de spatialisation liés aux sociétés : relations latérales, distances, espacements (Pinchemel, 1988),
3. Des faits de spatialisation liés au monde bio-physique : relations latérales, distances, gradients et seuils (Cohen, *in* Alexandre & Génin, s.p.).

L'apport de la géographie à la question posée (Alexandre, Grasland & Gay, 2002) pourrait consister à jouer sur ces trois logiques, y compris sur leur dimension dynamique. Cependant, malgré les proximités possibles en terme d'analyse des formes spatiales (Grasland, *in* Alexandre & Génin, s.p.), les pratiques scientifiques restent segmentées à l'intérieur de la discipline, privilégiant l'une ou l'autre de ces logiques. Nous montrerons dans ce qui suit comment une telle définition permet de mettre en lumière, à différentes échelles, ce qui relève du continu et du discontinu dans l'espace géographique et l'interprétation de ces coexistences ou de ces dominances dans les logiques spatiales.

2 Continu, discontinu d'un espace montagneux, une approche pluriscale

Cette réflexion s'appuie sur les résultats d'une recherche menée en équipe sur l'organisation spatiale de la fraction ligneuse de la flore à l'échelle du massif alpin (Lecompte *et al.*, 2002) ; elle s'appuie sur une méthode expérimentée auparavant sur la question des limites du domaine bioclimatique méditerranéen (Alexandre *et al.*, 1998). Comme souvent, les enseignements tirés d'une recherche de terrain ne se limitent pas aux objectifs attendus. Il s'agissait ici de vérifier dans quelle mesure l'organisation spatiale de la flore permettait de repérer (ou non) une variation spatiale du climat, que l'on sait plus sec à l'intérieur du massif que sur ses marges recevant les flux humides d'ouest, par la mise en œuvre d'un cheminement botanique continu d'ouest en est (fig. 1). Les données obtenues sont la liste des espèces ligneuses et pérennantes présentes dans chaque segment de 500 m du long transect ainsi parcouru.

Dans ce qui suit, nous nous appuyons essentiellement sur des relevés floristiques en présence/absence, exploités statistiquement, et éclairés par des observations de terrain. Un premier traitement repose sur la classique analyse factorielle des correspondances sur un tableau présence-absence. Une approche complémentaire, non présentée ici, mobilise des calculs de quantité d'information (information mutuelle entre espèces, apparition/disparition des espèces le long du transect, information mutuelle espèces/variables du milieu, évaluation de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité du système, Daget & Godron 1982). Des traitements d'image Spot ont en outre été tentés sur ce

même espace, afin de tester dans quelle mesure l'organisation spatiale de la flore pouvait être détectée par les paysages saisis par l'image multispectrale. Les deux organisations sont apparues discordantes, le paysage détecté par les images satellites étant beaucoup plus simple que l'organisation spatiale de la flore (Lambert, 2000).

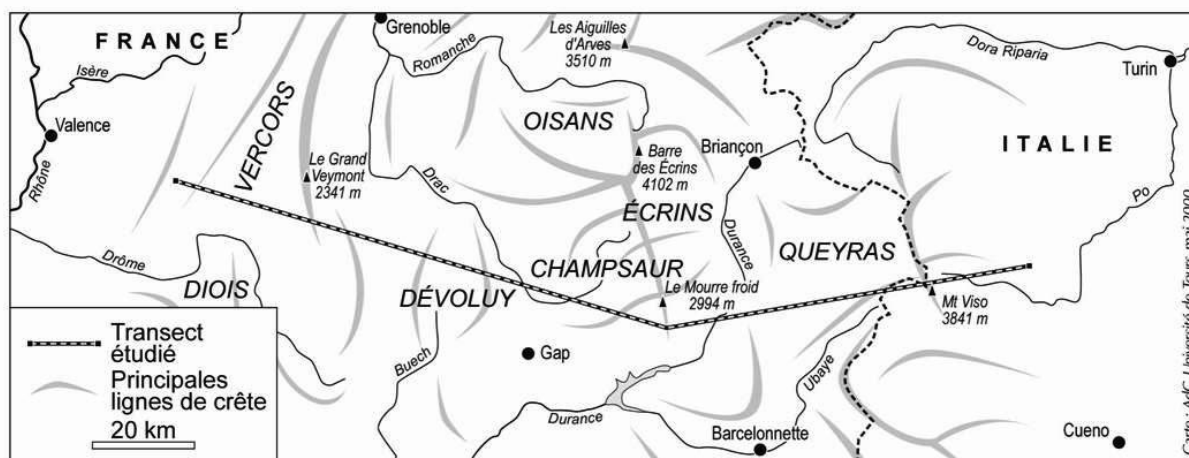


Figure n°1 : Zone d'étude et cheminement principal dans le massif alpin, entre Rhône et Pô

3 L'échelle du massif alpin

A l'échelle régionale, la mise en parallèle, par un graphique, de l'altitude moyenne en mètres des segments de 500 m de ce cheminement (trait gris gras, fig.2) et de leurs coordonnées dans le premier axe de l'analyse factorielle des correspondances (trait fin noir) montre une symétrie inverse (fig.2). Aux altitudes les plus élevées, correspondent des relevés présentant des coordonnées négatives sur l'axe 1. Entre Rhône et Pô, le rôle de l'altitude, et donc du facteur thermique, apparaît donc déterminant dans l'organisation de la flore. L'assèchement relatif du climat dans les Alpes internes ne se traduit guère sur la flore, les pluies dépassant un seuil de satisfaction hydrique pour les végétaux de la flore atlantique (à basse et moyenne altitude) et orophile (à haute altitude) rencontrée au long de ce cheminement. Le schéma apparaît même parfois inversé pour des raisons édaphiques : à l'ouest, les massifs subalpins bien arrosés où dominent les roches carbonatées possèdent un cortège parfois plus xérophile que celui des massifs internes cristallins.

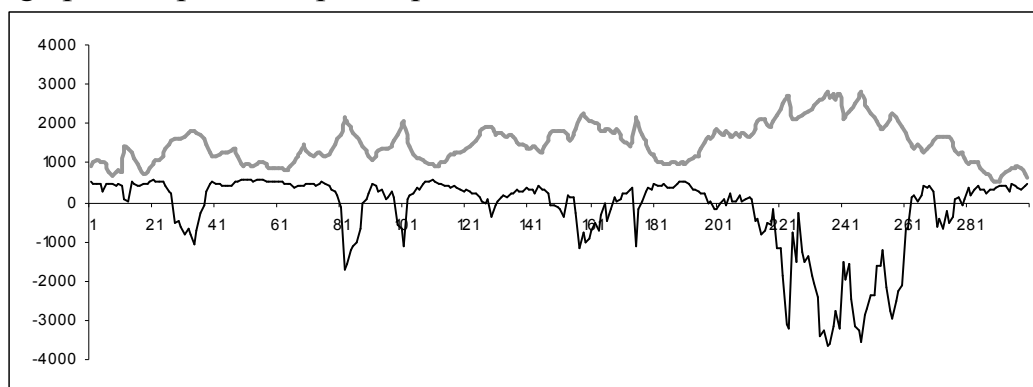


Figure n°2 : Altitude des segments de transect Rhône-Pô et coordonnées sur le premier axe de l'analyse factorielle des correspondances

Cette prépondérance du facteur thermique rend probable des conséquences du réchauffement climatique sur l'organisation future de la flore ligneuse. Selon Badeau *et al.* (Programme Carbofor, 2004), une « remontée » à la fois en altitude et en latitude des espèces forestières thermiquement plus exigeantes au-dessus de leurs limites actuelles, liée à l'augmentation des températures, est prévisible. La distribution spatiale actuelle, où les espèces défilent le long d'un *continuum* altitudinal en fonction du gradient thermique, pourrait ainsi subir une translation vers le haut, conséquence de cette discontinuité temporelle forte pour les végétaux. Au vrai, les conséquences de cette « catastrophe » qu'est le réchauffement climatique, seront plutôt indirectes pour cette structure floristique, dotée d'une certaine résilience face à un tel phénomène. La hausse des températures n'est, en effet, pas limitante pour les végétaux. Elle permet seulement à certains d'entre eux de s'élever plus haut en altitude et d'entrer en compétition avec les espèces plus résistantes au froid. Certaines d'entre elles pourraient s'en trouver éliminées. Le temps de réponse de la végétation reste, sur ce point, à préciser.

Une autre présentation des résultats permet de visualiser dans ce *continuum* botanique altitudinal deux ruptures de pente, correspondant à deux seuils. Ainsi, si l'on classe les relevés, non plus par ordre géographique d'ouest en est, mais par classes d'altitude (trait gris gras, fig. 3), leurs coordonnées sur le premier axe de l'analyse factorielle des correspondances dessinent une courbe marquée par deux ruptures de pente (et secondairement par des oscillations, sur lesquelles nous reviendrons, trait noir fin, fig. 3). A partir de 1300 m, la courbe s'infléchit une première fois, traduisant la disparition des espèces des altitudes moins tolérantes au froid, une à une, celles-ci atteignent là leur seuil thermique supérieur. Autour de 2300 m, la pente de la courbe s'accroît une deuxième fois, lorsque toutes les espèces végétales rencontrées y compris en plaine ont disparu et l'installation des espèces orophiles strictes. Ce changement est généralement perceptible dans le paysage car il correspond souvent à la limite supérieure des formations forestières : ce n'est pourtant pas une règle absolue comme nous le verrons ci-dessous.

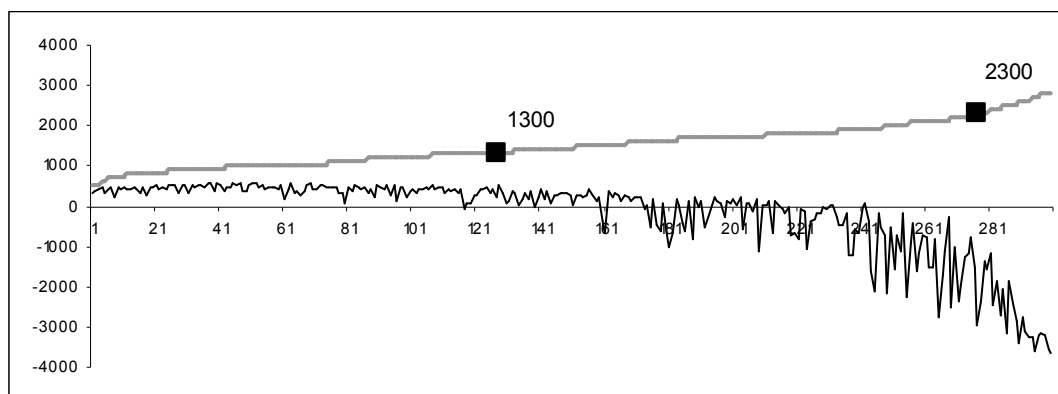


Figure n°3 : Segments classés selon l'altitude, et leurs coordonnées sur l'axe 1 de l'analyse factorielle des correspondances.

Ceci nuance et précise le résultat précédent : le gradient climatique altitudinal se traduit sur la flore de façon certes graduelle, mais avec des accélérations autour de seuils biologiques concernant des lots d'espèces ayant des exigences thermiques proches. Ces changements de rythme dans la vitesse de défilement de la flore correspondent, si l'on veut, à des discontinuités, d'une nature il est vrai toute différente des classiques limites d'étages (Alexandre, 2003). L'hypothèse peut dès lors être faite que les effets attendus du réchauffement climatique se marqueront plus fortement autour de ces altitudes « clés », la « catastrophe » n'aurait donc pas une traduction spatiale homogène. Cette hypothèse n'est pas sans intérêt pour les populations locales, dont les systèmes de production s'appuient largement sur les espèces spontanées herbacées (pour le pâturage) et arborées (pour la sylviculture) et sur les paysages qu'elles composent (tourisme). Notre approche néglige en revanche les espèces cultivées et introduites, et les espaces agricoles associés, ce qui limite bien sûr la possibilité de vérifier complètement l'hypothèse.

4 L'échelle d'une petite région, le Queyras

A l'échelle de la petite région du Queyras, le même type de traitement des données recueillies (analyse factorielle des correspondances), montre une interpénétration entre le gradient altitudinal et d'autres facteurs, précédemment masqués, tels l'occupation humaine ou la lithologie (Alexandre *et al.*, 1999). Ces derniers présentent une fréquence de variation spatiale plus courte que celle du climat régional, et avec des changements plus brutaux. Dans l'organisation paysagère, leur influence se traduit par un effet de mosaïque, présentant des discontinuités visibles. Les oscillations des courbes précédemment analysées (fig. 2 et 3) s'expliquent par cette coexistence spatiale entre formations végétales forestières, préforestières et prairiales, faisant alterner flore d'ombre et de lumière. Aux hautes altitudes, seules subsistent les pelouses alpines (les oscillations s'estompent alors sur la courbe).

L'analyse des résultats de l'analyse factorielle des correspondances permet de repérer le rôle des facteurs organisateurs de la flore de type continu et discontinu. L'axe 1 de l'AFC oppose ainsi les cortèges floristiques des paysages forestiers d'une part et asylvatiques d'autre part, ces derniers étant ordonnés en fonction du caractère orophile plus ou moins marqué de la flore herbacée. Ce premier facteur peut donc être interprété à la fois comme la traduction du gradient thermique (continu), combiné avec une opposition lisible dans le paysage entre deux types d'occupation du sol (pâtures et forêts : discontinu).

L'axe 2 trie les cortèges forestiers selon leur caractère plus ou moins montagnard ou méridional, en fonction de l'altitude, facteur thermique continu renforcé par la lithologie (sols et roches plus ou moins filtrants et/ou aptes à un certain échauffement : facteur discontinu). Cette organisation générale peut correspondre à trois types de gestion forestière repérables au

sein d'un parcellaire net sur le terrain : absence d'exploitation des forêts autour de Ceillac, forêts jardinées de résineux montagnards de Guillestre, bois de pins sylvestres sur le versant anciennement parcouru de drailles au-dessus de Guillestre (fig. 4). On peut rattacher ce type d'organisation spatiale complexe au modèle du *continuum à facettes* (Lecompte 1986), variante du modèle en écailles imbriquées (Godron 1967) ; il serait utile de l'interpréter en complément en termes d'écologie du paysage (Forman & Godron, 1986).

L'axe 3, non représenté, décrit plus particulièrement les relevés en voie de recolonisation forestière suite à la déprise pastorale, c'est-à-dire des paysages en transition (situés au centre du premier plan factoriel, fig. 4), correspondant à un stade pré-forestier de la succession végétale (Lepart & Escarré, 1983).

Le recours à des données complémentaires, telles que les cadastres, les statistiques économiques et démographiques montrent une autre lecture possible de l'hétérogénéité de cet espace, en fonction d'une discontinuité territoriale entre le pays du Guillestrois à l'ouest et celui du Queyras à l'est (fig. 4). Le premier a conservé une vocation agro-pastorale et sylvicole, alors que le second s'est aujourd'hui plus résolument tourné vers le tourisme, ce qui se traduit sur les paysages et leur contenu floristique (Grech, 2000).

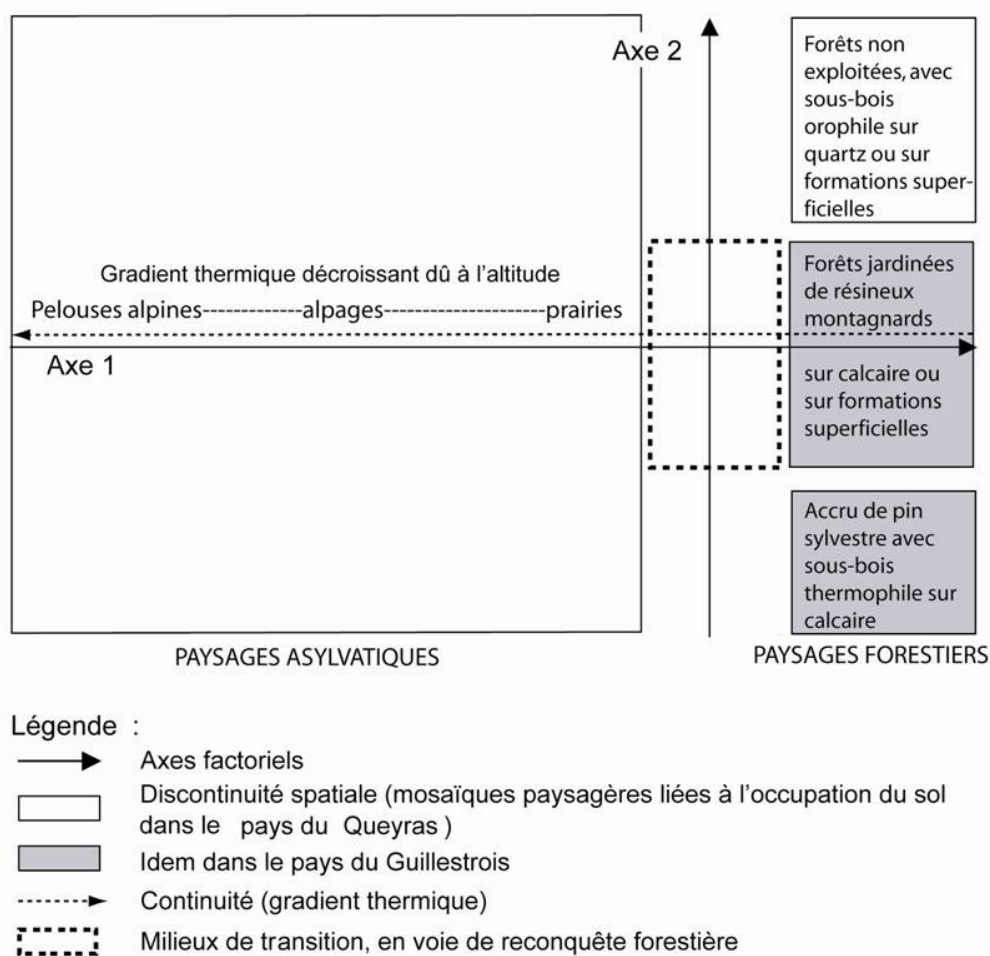


Figure n° 4 : Représentation schématique de l'organisation spatiale de la flore dans le massif du Queyras d'après le premier plan de l'analyse factorielle des correspondances

Cette bivalence de l'espace traduit en quelque sorte un basculement, un « point critique » dans l'exploitation de ces territoires par les sociétés locales, confrontées aujourd'hui au choix entre un espace productif et un espace patrimonial. Le premier maintient les mosaïques paysagères, alors que le deuxième permet une perméabilité entre leurs frontières, qui deviennent floues et mobiles. Cette bivalence continu/discontinu s'exprimait autrement à l'échelle régionale (*continuum* irrégulier), où le rôle des facteurs sociaux était gommé, sinon indirectement à travers le phénomène global du réchauffement climatique induit par les activités humaines.

5 L'échelle du versant

L'observation de deux versants localisés dans le pays du Queyras permet d'affiner encore l'analyse et d'interpréter la bivalence de l'espace.

Sur un versant d'adret (fig. n°5) de la haute vallée du Cristillan, les discontinuités spatiales sont particulièrement nettes là où l'emprise de l'homme est encore forte (zones cultivées autour du noyau d'habitat), alors qu'à distance des maisons, les frontières entre types de paysages deviennent plus floues, avec des écotones entre paysages forestiers et prairiaux tels que décrits par l'axe 3 de l'analyse factorielle des correspondances. La reconquête forestière est principalement le fait du mélèze, une essence pionnière héliophile dont les semences sont dispersées par le vent à partir de petits bois localisés en bas du versant, souvent sur les pentes les plus fortes. La remontée de la limite respective de la forêt et de l'arbre qu'elle implique pourrait être, à cette échelle spatiale et sur ce territoire, imputable à la déprise pastorale tout autant qu'au réchauffement climatique. Ces deux facteurs explicatifs jouent dans le même sens, et les hiérarchiser exigerait de disposer d'autres données : rappelons, à ce propos, le manque de postes de mesures climatiques en haute altitude. Les indications livrées par la végétation peuvent ainsi difficilement pallier ce manque. A titre indicatif, la dynamique forestière a été observée à des altitudes dépassant de 300 à 400 mètres la limite des formations forestières (par exemple aux environs immédiats du Col Agnel à 2770 m d'altitude), empiétant largement sur des secteurs interprétés comme des pelouses de l'étage alpin de « zonation thermique » dans la carte dressée par Archiloque *et al.* il y a une vingtaine d'années (1983).

Sur un versant d'ubac de la même vallée (fig. 6), les étages de végétation (Gausson 1938, Ozenda 1985, 2002) sont là encore difficiles à distinguer, du fait de fortes interactions spatiales entre la cembraie, cantonnée il y a peu à quelques refuges rocheux en haut de versant, et le mélèzein exploité par l'homme. Ce boisement, aujourd'hui quasiment abandonné, ne se renouvelle plus guère sauf dans les couloirs d'avalanche : le Mélèze, espèce héliophile, se régénère difficilement sous son propre couvert. C'est le Pin arolle, dispersé par un oiseau, le Casse-noix moucheté (Crocq 2000), qui repousse aujourd'hui sous l'ombre des mélèzes (Arezki & Lecompte, 2003).



Figure n°5 : Sur un versant d'adret, la lecture du paysage montre la co-existence de frontières nettes et d'autres plus floues (remontée de la limite forestière) (Cliché F. Alexandre)

On assiste donc ici à une « redescente » d'une espèce résistante au froid, qui reprend probablement sa place, autrefois rognée par l'extension par l'homme du mélèze. Cette formation végétale permettait un usage à la fois sylvicole (le bois de mélèze est de bonne qualité) et pastoral (la caducité des aiguilles et les éclaircies pratiquées dans les peuplements permettaient le développement d'une strate herbacée).

Cette fois-ci, le réchauffement climatique et la déprise sylvo-pastorale jouent en sens inverse, et les structures forestières observées accrédi teraient l'hypothèse d'une dynamique plus rapide induite par l'abandon sylvopastoral. L'âge non négligeable des jeunes pins arolle (entre 10 et 20 ans) sous le mélezein laisse à penser que cette dynamique ne pourrait être inversée à moyen terme par le réchauffement climatique. Un tel raisonnement s'appuie notamment sur la longévité du Pin arolle et sa biologie d'espèce dryade (Rameau *et al.*, 1989). Ainsi, pour les changements touchant la végétation, l'hystérésis liée au réchauffement climatique est-elle plus longue que celle qui suit l'abandon sylvo-pastoral. Dans ces secteurs où le retrait de la société montagnarde traditionnelle est forte (au fond, sur l'ensemble du massif alpin), il devient dès lors hasardeux de s'appuyer sur la flore comme indicatrice des changements climatiques ainsi que l'ont espéré certains auteurs (Grabherr *et al.*, 1994).

6 Conclusion

Cette analyse progressive de l'espace géographique, appréhendé à trois échelles spatiales emboîtées, montre que l'induction sociale des formes apparaît nettement et directement aux échelles locales, de façon plus indirecte à l'échelle régionale. A cette échelle, le résultat attendu était une translation vers de plus hautes altitudes des discontinuités, celles-ci étant liées à des seuils biologiques (en montagne d'origine essentiellement thermique). Cette hypothèse est difficilement vérifiable, tant le déterminisme anthropique sur les écosystèmes apparaît important.



Figure n°6 : Sur un versant d'ubac, l'abandon du mélèzein (teinte claire) se traduit par une progression vers l'aval du Pin arolle (teinte foncée, cliché : F. Alexandre)

Les discontinuités et continuités spatiales sont porteuses de sens quant aux ruptures prévisibles ou déjà observables dans les relations entre les sociétés et leurs milieux naturels. Les changements paysagers, bien visibles à l'observateur, sont-ils dus à de simples translations des frontières entre les éléments de la mosaïque, ou sont-ils porteurs de changements de propriétés du système ? En réalité, la nature des contacts change : d'une relative étanchéité, liée aux choix différents des propriétaires des parcelles, l'on passe à une perméabilité, et à des interactions spatiales, supposant une remise en contact des éléments biologiques constitutifs de ces mosaïques (fig.7).

La diversité des combinatoires observées, de la hiérarchie des facteurs explicatifs, des ruptures ou « catastrophes » possibles, selon les échelles

d'observation, n'est pas pour surprendre (fig. 7). Il était moins attendu qu'elles présentent des contradictions, notamment en ce qui concerne les relations entre ces organisations spatiales et les effets possibles du changement climatique.

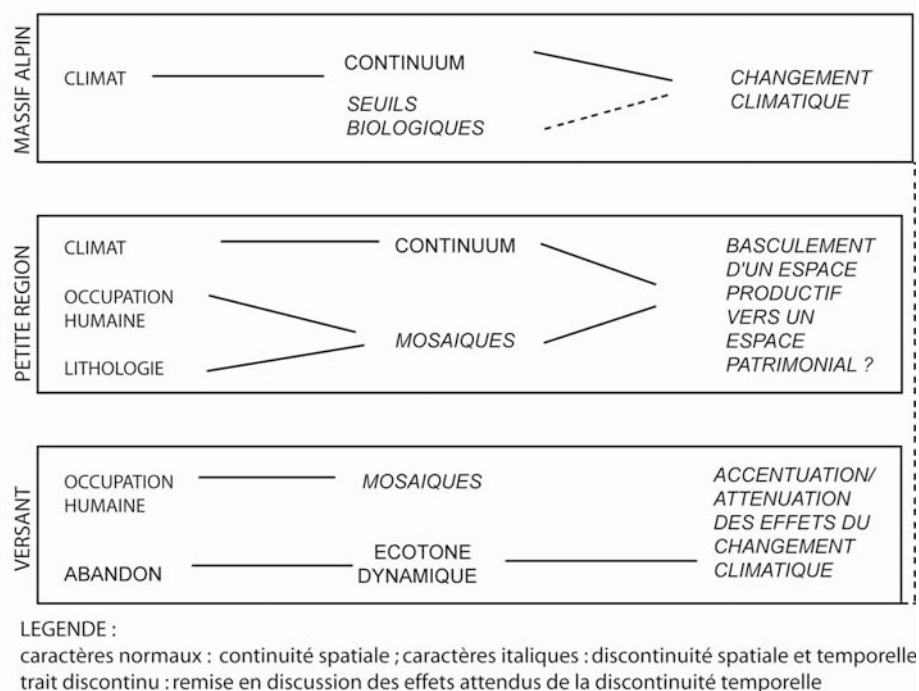


Figure n°7 : Facteurs explicatifs des continuités et discontinuités spatiales et temporelles, à l'échelle du massif alpin, de la petite région et du versant

Les méthodes employées permettent d'expliquer ces contradictions. Nos travaux s'appuient sur des inventaires floristiques, complétés par une analyse rapide des dynamiques forestières, le long d'un cheminement continu (Gounot 1969, Frontier 1983). Ceux prévoyant les effets du changement climatique (Badeau *et al.*, 2004) utilisent les inventaires des essences, réalisées dans un réseau de parcelles forestières, alors que l'on sait que la distribution de ces essences est décidée par les forestiers et (de moins en moins) par les sociétés montagnardes. Les uns et les autres prennent, certes, en compte l'écologie des espèces, mais ils doivent répondre à bien d'autres objectifs. Les dimensions dynamique et floristique de la végétation sont ainsi mal traduites par la géographie de ces essences. Nos résultats obtenus à l'échelle du massif n'infirmes pas, du fait de la prééminence du facteur thermique comme organisateur de la flore, l'hypothèse d'un effet du réchauffement climatique sur la végétation, mais ils invitent à aller rechercher cet effet aux altitudes où les changements floristiques, liés à des seuils de nature biologique, ont été notés ; les résultats obtenus aux échelles locales montrent que cet effet peut être contrebalancé ou renforcé par celui de la déprise agro-sylvo-pastorale qui touche ces secteurs montagneux.

Le géographe doit être à même de saisir les informations spatiales, à une échelle donnée, sans que des modèles *a priori* viennent filtrer ou interférer, la

complexité du réel. Une telle analyse spatiale montre sa pertinence pour la compréhension des phénomènes dynamiques, qu'il s'agisse d'évolutions progressives ou au contraire plus rapides, marquant des discontinuités.

7 Bibliographie

ALEXANDRE F., 2003. « L'étagement de la végétation en montagne : un modèle à revisiter », *L'Information géographique*, 67-1 : 45-59.

ALEXANDRE F., COHEN M., GÉNIN A., LECOMPTE M., 2002. « Essai phytogéographique dans les Alpes occidentales, entre Rhône et Pô », *Espace géographique*, 31 (2), 153-162.

ALEXANDRE F., COHEN M., GÉNIN A., LECOMPTE M., SAADI N., 1999. « Etude des variations spatiales de la végétation le long d'une coupe botanique à travers le Queyras ». *Revue de Géographie Alpine*, 4, 87, 4-24.

ALEXANDRE F., GÉNIN A., *Continu et discontinu de l'espace géographique*, Ed. MSV Tours, Actes du colloque de Tours (sous presse).

ALEXANDRE F., GÉNIN A., LECOMPTE M., 1998. « Seuils biologiques et limites climatiques en Méditerranée occidentale », *Revue de géographie de Lyon, Géocarrefour*, 73 (1), 33-43.

ALEXANDRE F., GRASLAND C. & GAY J.C., 2002. « Limites et discontinuités et leurs implications spatiales », *Bibliographie question d'agrégation. Historiens et Géographes*, 379, 317-328.

AREZKI H., LECOMPTE M. (2003) : « Aperçu sur la dynamique de la forêt d'altitude du Queyras, compétition entre l'Arolle et le Mélèze », *Naturalia Maroccana*, 1(2) : 221-233.

BADEAU V., CLUZEAU C., DUPOUEY J. L., DRAPIER J., LE BAS C., 2004, *Impact du réchauffement climatique sur la répartition des essences forestières françaises*, www.nancy.inra.fr/extranet/com/carbofor/.

BRUNET R., 1965, *Les phénomènes de discontinuité en géographie* - Thèse complémentaire de Doctorat d'Etat, Université de Toulouse, 304 p.

CROCQ C. (2000) : *Le pin arole*. Arles : Actes Sud, 91 p.

DAGET Ph., GODRON M. (1982) : *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Paris : Masson, 163 p.

FORMAN R.T.T., GODRON M., 1986, *Landscape ecology*, New York, John Wiley and Sons, 619 p.

FRANÇOIS JC, Hypergé (http://hypergeo.free.fr/article.php3?id_article=53)

FRONTIER S., 1983, *Stratégies d'échantillonnage en écologie*, Paris, Masson, 494 p.

GAUSSEN H., 1938. « Etages et zones de végétation en France », *Annales de Géographie*, 47 : 463-487.

GODRON M., 1967. « Les groupes écologiques imbriqués en écailles », *OEcol. plant.*, 2 : 217-226

GOUNOT M., 1969. *Méthodes d'étude quantitatives de la végétation*, Paris, Masson, 314 p.

GRABHERR G, GOTTFRIED M, PAULI H , 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*, **369**, 448.

GRECH G., 2000, *L'impact de l'action anthropique sur l'évolution et la diversité des paysages végétaux du Queyras*, Mémoire de maîtrise, UFR GHSS, Université Paris 7, 110 p.

LAMBERT N. (2000) : *Organisation spatiale de la végétation dans le Champsaur et le Queyras*. Université Paris 7 – Denis Diderot, Mémoire de maîtrise de géographie, 112 p

LECOMPTE M., 1986. *Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen-Atlas central*. Paris, C.N.R.S. (Mémoires et Documents de Géographie), 202 p.

LEPART J., ESCARRÉ J., 1983, « La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique », *Bull. Ecol.* T. 14, 3 : 133-178.

OZENDA P., 1985. *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*, Paris, Masson, 330 p.

OZENDA P., 2002. *Perspectives pour une géobiologie des montagnes*. PU Polytechniques.

RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G., 1989. *Flore forestière française, Guide écologique illustré*, Tome 1 : *Plaines et collines*, Tome 2 : *Montagnes*, Paris, Ed. IDF, 2421 p.

Documents consultés :

- ARCHILOQUE et al., 1983, Carte phytoécologique du Parc régional du Queyras
- BRGM, Carte géologique au 1 :50 000 du Queyras.

VOL AFR 4590

Roger F. Cozien

email : roger_cozien@yahoo.fr

Résumé

Le crash du Concorde en juillet 2000, demeurera une tragédie sans égal dans l'histoire de l'aéronautique moderne. Aux portes de Paris, un important dispositif anti-incendie et de secours fut très rapidement déployé. Malheureusement, une fois les feux éteints on ne compta aucun rescapé. C'est alors le début de la funeste entreprise d'identification des victimes. Dans une catastrophe de cette ampleur plusieurs services de l'État collaborèrent, dont l'Unité Gendarmerie d'Identification des Victimes de Catastrophes. Outre l'enquête judiciaire, il se met également en place des enquêtes administratives et techniques. Grâce aux investigations des experts du BEA, il semble que le scénario de cette catastrophe soit maintenant élucidé.

Mots clés : gendarmerie, criminalistique, forensic, police scientifique, catastrophe aérienne, Concorde.

1 Introduction

La gendarmerie est une des grandes institutions nationales qui a le plus évolué tout au long de sa longue histoire de près de huit siècles. Cependant, crises, catastrophes et gendarmerie ont toujours été étroitement et fortement liées. Les grands ancêtres de la gendarmerie que furent la *connétablie* et la *maréchaussée* furent dès le milieu du 14^{ème} siècle associées à ce fléau majeur qu'était la guerre. En effet, à l'époque les concepts de soldat, militaire et d'armée régulière n'étaient pas ceux de maintenant. Lorsque le roi ou le seigneur local déclaraient la guerre au voisin, ils levaient une armée *de circonstance*.

Comme très souvent, les caisses royales étaient moins remplies que nécessaire mais comme il fallait quand même payer les enrôlés, les

troupes se payaient directement chez le vaincu : pillages, vols, viols et destructions en tout genre. Le risque était qu'en cas de défaite des «armées» françaises, les troupes revenaient dans le royaume sans avoir été payées et, de fait, voulaient quand même être dédommagées. Ainsi, le royaume se trouvait avec des soldats «débandés» qui se livraient au pillage sur le sol français. Dans les textes fondateurs de la maréchaussée se trouvait la célèbre phrase : «[les maréchaussées sont constituées] de gens de guerre disciplinés, chargés de contrôler et de surveiller d'autres gens de guerre débandés et pillards».

Un des textes fondateurs de l'action légale et quotidienne de la gendarmerie, mais surtout fondateur de l'identité gendarmesque, est le décret organique de 1903. L'article 302 de ce décret édicte explicitement que «la gendarmerie doit assistance à toute personne qui réclame son secours dans un moment de danger». Par conséquent, au fur et à mesure de son histoire et de ses évolutions, la gendarmerie s'est-elle organisée de façon à assurer la protection des biens et des personnes sur l'ensemble du territoire. Cette mission trouvant sa forme la plus extrême lorsque survient une catastrophe d'ampleur nationale. Il ne faut pas oublier également, qu'à cette mission d'assistance vient se conjuguer celle de police judiciaire. Ainsi, dans notre société, une catastrophe, autre que naturelle (et encore ...), ne saurait rester sans responsable. Porter assistance veut aussi dire déployer des moyens et de méthodes préservant la possibilité l'identification des responsables.

La gendarmerie est une force de police militaire et, de fait, dotée d'une organisation et de schéma d'action militaires. Elle est en charge de l'ordre et de la sécurité publique sur 95% du territoire national : de nombreuses catastrophes majeures ont lieu en ZGN (zone gendarmerie nationale). Nous allons dans cet article nous pencher sur la façon dont la gendarmerie a pris en charge la catastrophe du crash du Concorde le 25 juillet 2000. Il s'agissait du vol Air France AFR 4590 qui en s'écrasant au lieu dit «la patte d'oie de Gonesse» (95), fit 113 victimes et provoqua un profond traumatisme dans la conscience collective.

2 Plan rouge

Dans notre pays, un «*plan rouge*» est un plan d'urgence, déclenché par le préfet, destiné à prendre un charge un grand nombre de victimes dans un même lieu et à organiser l'ensemble des moyens de secours. Il

se distingue du «*plan blanc*», qui lui, permet d'éviter l'engorgement des services hospitaliers. Lors des grandes catastrophes ces deux plans sont souvent activés simultanément. Le plan rouge date de 1978 et fut créé par la Brigade des Sapeurs Pompiers de Paris suite à des explosions et des incendies ayant fait treize morts et de très nombreux blessés.

Le plan rouge suit quatre objectifs principaux :

1. rapidement, mettre en place des moyens ;
2. organiser rationnellement le commandement ;
3. employer des moyens suffisants et adaptés ;
4. coordonner le déploiement de ces moyens dont la régulation médicale.

De ces objectifs prioritaires, il en découle quatre axes d'action majeurs autour desquels le plan rouge s'articule :

1. Mettre en place une double chaîne. La première sera chargée de la gestion d'ensemble de la zone du sinistre, l'autre de la prise en compte des victimes ;
2. Installer un poste médical avancé puis un hôpital de campagne à proximité de la catastrophe ;
3. Activer un double commandement : le premier sur le site, en charge de la gestion des opérations de secours, le deuxième, distant, en charge des renforts et de la logistique ;
4. L'organisation rationnelle des moyens : hiérarchiser les mesures d'urgence ainsi que les victimes à traiter. Faire en sorte que les secours ne se gênent pas mutuellement, garder des réserves de secours en cas d'aggravation de la situation, optimiser l'action des différents intervenants.

La figure 1 montre le *schéma d'alerte général*. Nous y voyons les relations entre les différents acteurs du plan rouge, ainsi que la façon dont est transmise l'alerte. De la même façon, la figure 2 montre la façon dont sont catégorisées et évacuées les victimes.

Il existe de nombreuses raisons de déclencher un plan rouge : catastrophe naturelle, catastrophe industrielle, incendie, accident de la route majeur, catastrophe aérienne, prise d'otage, etc. Le dénominateur commun est le grand nombre de victimes ou, la perspective d'un grand nombre de victimes. Selon le type de catastrophe, le nombre de victime est apprécié différemment. Par exemple, si la présence de

quinze victimes provoque habituellement le déclenchement du plan rouge, dans le cas d'un incendie, six à huit victimes auront le même effet.

Tout au long des opérations de secours, il existe une hiérarchie complète de fonctions et d'acteurs. Retenons principalement le Commandant des Opérations de Secours (COS), assisté par le Directeur des Secours Incendie et Sauvetage (DSIS) et, par le Directeur des Secours Médicaux (DSM). La chaîne médicale comporte un dispositif essentiel qui est le Poste Médical Avancé (PMA). Ce poste est à proximité de la catastrophe et toutes les victimes sont orientées par lui. Le PMA les prend en charge, les catégorise et les dirige vers les centres hospitaliers

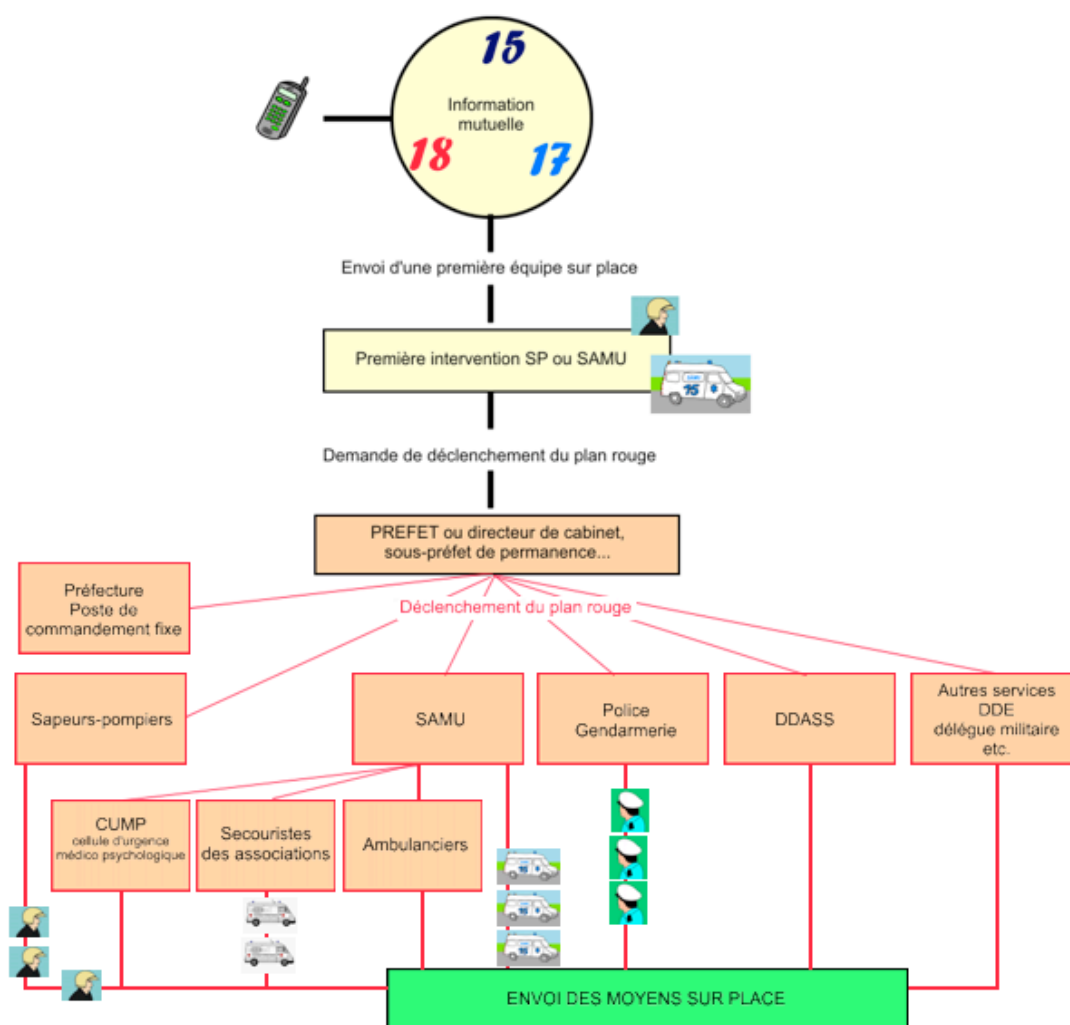


FIG. 1 – Schéma d'alerte générale du plan rouge

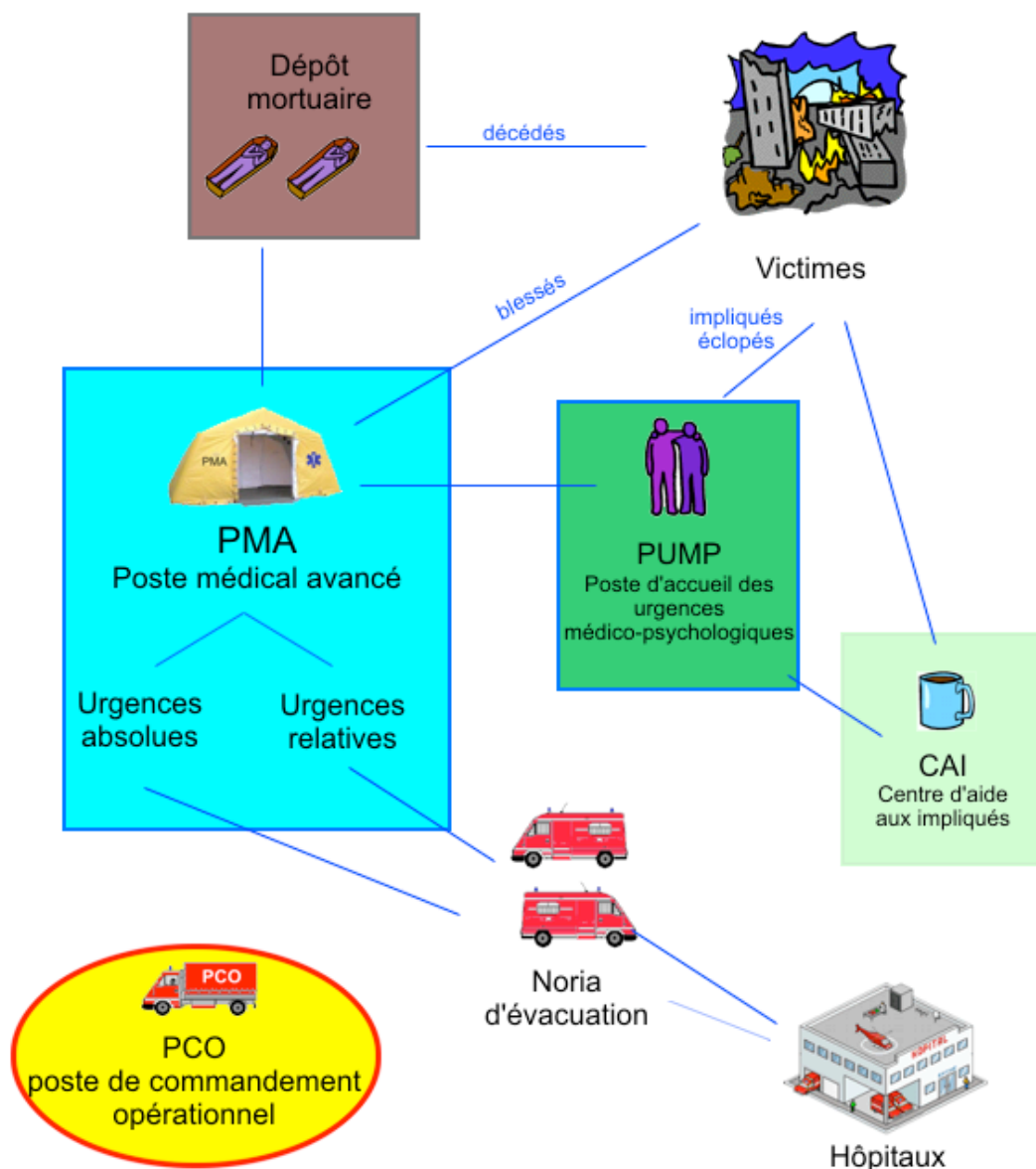


FIG. 2 – Schéma de prise en charge des victimes

les mieux adaptés. Enfin, et même si cela peut sembler trivial, il faut souligner la mise en place d'un périmètre de sécurité. Ce dispositif permet d'éviter la commission de délits divers dont le pillage. Il permet également de préserver les indices utiles tant pour l'identification des victimes, que pour l'enquête judiciaire.

Sources

fr.wikipedia.org/wiki/Plan_rouge
www.secourisme.net/article169.html
www.anena.org/jurisque/thesaurus/texte/planrou.htm
http://ifsi.ch-hyeres.fr/IMG/pdf/plan_rouge_marseille.pdf
www.legifrance.gouv.fr/texteconsolide/UQHIO.htm

3 IRCGN et UGIVC

Dans notre pays et comme dans tous les pays démocratiques, la recherche des auteurs d'infractions pénales et, plus généralement, la recherche des responsabilités, est dévolue à des services spécialisés placés sous le contrôle permanent de la justice. Ces services sont dits de « police judiciaire » et relèvent principalement en France, de la Gendarmerie Nationale et de la Police Nationale.

La « preuve » a toujours été au centre des préoccupations de la police judiciaire. Historiquement, les éléments de preuve *humains*, tels les aveux ou les témoignages, ont été pendant longtemps les piliers de l'opinion des enquêteurs et de la justice. Il en est de même pour les éléments matériels de premier degré ou, plus exactement, les éléments ayant un rapport de causalité de premier degré comme un couteau ensanglanté à côté d'un cadavre, etc. L'évolution du droit et de la pratique judiciaire font qu'aujourd'hui, l'exercice de la police scientifique impose un recours massif aux techniques d'investigation scientifique : il s'agit de la *criminalistique*.

Pour la Gendarmerie, depuis 1987, le laboratoire d'investigations scientifiques est l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) à Rosny sous Bois (93). Très synthétiquement, l'IRCGN a reçu quatre missions principales :

1. Effectuer, à la demande des unités et des magistrats, les examens scientifiques ou les expertises nécessaires aux enquêtes judiciaires ;
2. Apporter en cas de besoin aux directeurs d'enquêtes, le soutien nécessaire au bon déroulement des constatations, principalement par la mise à leur disposition de personnel hautement qualifié disposant de matériels adaptés et spécialisés ;
3. Concourir directement à la formation des techniciens en identification criminelle et à l'information des enquêteurs ;

4. Poursuivre dans tous les domaines de la criminalistique les recherches nécessaires au développement des matériels et des techniques d'investigation criminelle.

Parmi les grandes missions qui incombent à l'IRCGN, l'une d'elles consiste à apporter une assistance technique aux enquêteurs dans les cas de scènes de crimes complexes ou, lors de catastrophes majeures comme celles du tunnel du Mont Blanc, ou après le Tsunami en Asie du Sud-Est. En 1991, à l'image de ce qui existait dans quelques pays étrangers, il est suggéré de créer une unité très spécialisée, capable de se transporter sur les sites des catastrophes et d'organiser les opérations d'identification des victimes, en collaboration avec les enquêteurs, les magistrats et les médecins légistes locaux.

C'est malheureusement une catastrophe aérienne, celle du mont Saint Odile en 1992, qui va présider à la création d'une unité permanente chargée de l'identification des victimes. En novembre 2000, cette unité prend le nom d'Unité Gendarmerie d'Identification des Victimes de Catastrophes (UGIVC). Elle sera rattachée à l'IRCGN et basée à Rosny sous Bois. Elle est disponible 24 heures sur 24 et peut être mise en route dans un délai d'une à deux heures. Les personnels qui la composent sont tous gendarmes ou du service de santé des armées, avec un noyau permanent de quinze spécialistes en entomologie, thanatologie, anthropologie et odontologie. Selon la nature des catastrophes, des spécialistes d'autres domaines peuvent être associés : véhicules, incendies, empreintes digitales, etc.

La catastrophe est par essence, imprévue et irrépressible. Elle survient souvent lorsque les conditions d'environnement sont les plus défavorables. Si l'on parle de catastrophe c'est parce qu'en général elle implique de nombreuses victimes et provoque une émotion collective importante. Autre difficulté de taille : elle implique un très grand nombre de services de secours et d'enquête. De plus, elle attirera nécessairement les médias et d'autres curieux. Enfin, il faudra prendre en charge les familles qui ne manqueront de vouloir se rendre sur les lieux de la disparition de leurs proches.

Les opérations de secours sont toujours prioritaires. Cette phase dure tant que la dernière des victimes, vivante ou décédée, n'aura pas été évacuée de la zone. Ensuite, vient le temps de l'enquête et des investigations. Une très forte pression s'exerce alors sur les magistrats et les enquêteurs. Cette pression vient de toutes les directions, judiciaire en

premier lieu, médiatique sans aucun doute, mais aussi et surtout, humaine. Les familles, voire une communauté entière, a besoin de savoir, de comprendre. Pour toutes ces raisons, l'identification des victimes est primordiale et prioritaire dans la phase d'enquête. Pour des raisons légales et judiciaires, humaines, mais aussi morales et éthiques, elle doit prétendre à un sans faute absolu. Ainsi, de nombreuses techniques et technologies seront déployées dans l'unique but de mettre un nom sur des cadavres, sur des restes humains. C'est aider les familles et les proches à accomplir leur deuil, c'est accomplir un acte profondément humain et moral qui consiste à affirmer que les victimes, profanées dans leur corps par la catastrophe, restent des personnes humaines, puisqu'elles ont un nom.

L'UGIVC intervient en deux équipes : *ante-mortem* et *post-mortem*. La première équipe est chargée de prendre contact avec les familles des personnes présumées victimes de la catastrophe. L'objectif est de réunir un maximum d'informations discriminantes : description physique, vêtements, bijoux, bagages, etc. Cette équipe prend également contact avec les médecins traitants ainsi que les dentistes afin d'obtenir les dossiers médicaux.

Pendant ce temps, l'équipe *post-mortem* s'occupe du relevage des corps et de leur analyse. Les opérations d'autopsie se font systématiquement en présence d'un officier de police judiciaire et d'un technicien en identification criminelle. L'ensemble des objets personnels trouvés sur la zone de catastrophe sont répertoriés et placés sous scellé. Cette exploration minutieuse et systématique de la zone de catastrophe suit des protocoles extrêmement précis et formels. Nous détaillerons ces opérations dans la section suivante.

Enfin, le rapprochement des données collectées par les deux équipes permet d'établir une «synthèse comparative» afin d'établir l'identité formelle de la victime. Dans les cas extrêmes où il est impossible de reconnaître physiquement le corps, y compris odontologiquement, les experts utilisent un profil génétique. Ceci suppose cependant de disposer de matériel génétique de référence prélevé sur les objets personnels fournis par les proches de la victime. L'identification formelle est prononcée par confrontation puis convergence des méthodes d'identification. C'est uniquement lorsque l'identification est définitive qu'un certificat de décès est établi. Si le magistrat mandant et instructeur est d'accord, le corps est alors rendu à la famille.

4 25 juillet 2000 - 14h44

Une catastrophe est qualifiée de majeure d'un point de vue technocratique et administratif, bien souvent, par le nombre de victimes qu'elle a provoquées. Elle demeurera majeure dans l'imaginaire et la mémoire collective pour d'autres raisons. Si le nombre de victimes demeure dans tous les cas un critère essentiel, avec le temps, nos concitoyens lui donneront le statut de *catastrophe majeure* lorsque d'autres éléments seront venus frapper l'imaginaire collectif de façon durable. Ainsi, la nature des victimes, la brutalité de la catastrophe et des forces mises en présence, la cruauté des éléments ou des humains responsables, l'inexorabilité des événements, le nombre de survivants ainsi que des récits incroyables sur ces mêmes survivants, etc. sont autant de facteurs qui vont habiller des événements catastrophiques des atours de la catastrophe majeure. Un autre élément essentiel à l'appropriation de la catastrophe par la collectivité, est la possibilité pour tout un chacun de se mettre à la place des victimes, à vivre intérieurement la catastrophe et se dire «j'aurais pu être parmi les victimes».

Ce jour du 25 juillet de l'an 2000, la chute tragique du vol AFR 4590 présentait tous les aspects d'une catastrophe majeure. L'administration, par ses services de secours et d'enquête, a mobilisé des moyens hors du commun et, les esprits, dans le monde entier, ont été fortement frappés par la chute d'un fleuron de l'aéronautique. Nous allons maintenant décrire cette catastrophe et détailler les moyens de secours, d'enquête et d'identification des victimes.

4.1 Synopsis d'une tragédie

Le mardi 25 juillet 2000, le Concorde immatriculé F-BTSC, aux couleurs de la compagnie AIR FRANCE, va décoller de l'aéroport Charles de Gaulle en vue d'opérer le vol AFR 4590 à destination de New York. Il embarque à son bord neuf membres d'équipage et cent passagers. Au moment du décollage, il pèse 282 tonnes, dont 95 tonnes de carburant.

À 13H58 et 27 secondes, l'équipage contacte la tour de contrôle et demande la piste 26 droite sur toute sa longueur pour un décollage à

14H30. À 14H34 et 38 secondes, le contrôleur sol donne l'autorisation de rouler vers le point d'arrêt de la piste 26 droite en empruntant la voie de circulation Roméo. À 14H42 et 17 secondes le contrôleur sol autorise le vol AFR 4590 à décoller. À 14H42 et 31 secondes, le *pilote en fonction* ou PF (celui des deux pilotes à bord, commandant de bord ou co-pilote, qui est réellement aux commandes de l'avion) annonce le top décollage. 14H42 et 54 secondes, le *pilote non en fonction* ou PNF, annonce 100 noeuds de vitesse, puis $V1^1$ neuf secondes plus tard.

Quelques secondes plus tard, le pneu avant droit du train principal gauche se détruit, vraisemblablement pour être passé sur une pièce métallique. Cette destruction provoque la projection de gros morceaux de caoutchouc et l'endommagement de certaines parties de l'avion. À 14H43 et 13 secondes, alors que le PF débute la rotation, le contrôleur signale la présence de flammes derrière l'avion. Le PNF collationne puis, l'Officier Mécanicien Navigant (OMN) annonce la panne du moteur 2. Les paramètres enregistrés montrent également une baisse de puissance momentanée du moteur 1, non mentionnée par l'équipage. Huit secondes plus tard, l'alarme feu retentit et l'OMN signale qu'il coupe le moteur 2. L'alarme feu s'arrête. Le PNF attire l'attention du PF sur la vitesse. À 14H43 et 30 secondes, le PF demande la rentrée du train. Le contrôleur confirme la présence de fortes flammes derrière l'avion. À 14H43 et 42 secondes, l'alarme feu retentit à nouveau. À 14H43 et 56 secondes, le PNF constate que le train ne rentre pas. Il fait plusieurs annonces concernant la vitesse.

À 14H43 et 59 secondes, plusieurs alarmes GPWS (Ground Proximity Warning System ou avertisseur de proximité du sol) retentissent. Le pilote informe le contrôle qu'il essaye l'aérodrome du Bourget. Les paramètres enregistrés montrent une chute de la puissance du moteur 1. Quelques secondes plus tard, l'avion s'écrase sur un hôtel au lieu dit «La Patte d'Oie de Gonesse» à l'intersection des routes D902 et N17.

L'avion est entièrement détruit ainsi que l'hôtel qu'il percuta lors du crash. Les neuf membres de l'équipage sont tués ainsi que les cent

¹La vitesse dite $V1$ est la limite jusqu'à laquelle la survenance d'une anomalie grave conduit le pilote à interrompre la phase de décollage et, l'autorise encore à stopper l'aéronef avant la fin de la piste. La vitesse $V2$ est la vitesse à partir de laquelle l'avion peut décoller. Il en résulte que toute avarie grave entre ces deux vitesses aura des conséquences critiques puisque, d'une part, il ne sera pas possible de stopper l'avion avant la fin de la piste et, d'autre part, la vitesse n'est pas suffisante pour qu'il décolle. Heureusement, les grands aéroports internationaux ont des pistes si longues que bien souvent $V1 = V2$.



FIG. 3 – Le Concorde F-BTSC quitte la piste 26

passagers et quatre personnes au sol. La figure 3 est une photographie du Concorde au moment où il quitte la piste. La figure 4 montre la trajectoire du Concorde F-BTSC, du roulage sur la piste 26 au point de crash. On y devine que le pilote avait commencé un virage par la gauche afin de, vraisemblablement, tenter de regagner l'aéroport du Bourget.

4.2 Organisation des secours

Dans toute la région survolée par le Concorde, de nombreux témoins aperçurent l'avion en feu les survoler une dernière fois. Parmi ces très nombreux témoins, se trouvent les pompiers et secouristes du centre de secours de Gonesse (CS), distant de seulement 600 mètres du lieu du crash. S'ils étaient habitués au passage quotidien et bruyant du Concorde, ils ont tous remarqué ce jour-là, la très forte et anormale



FIG. 4 – Trajectoire du Concorde F-BTSC

intensité du bruit des réacteurs. Les hommes du centre de secours attendirent quelques secondes afin de déterminer, grâce au panache de fumée, la direction suivie par l'avion. Un des responsables d'intervention du centre envoie un premier message de compte rendu : *«Message urgent. Nous nous engageons pour chute d'avion à priori située entre Gonesse et Le Thillay. Nombreux appels au CS. Faisons route vers la D902, avons la fumée en visibilité directe»*. Un autre pompier déclara par la suite, une fois arrivé sur les lieux du crash *«Nous étions face à un front de flammes de 70 mètres de long sur 30 mètres de haut. Nous pouvions distinguer dans le brasier les débris de l'appareil ainsi que les ruines de l'hôtel de quarante chambres qui était entièrement embrasé»* (Cf. figure 5).

Ce qui suit est l'adaptation du témoignage d'un pompier du centre de secours de Gonesse. L'ensemble de la zone sinistrée s'étend sur une superficie d'environ 3000 m^2 . Sur la route nationale à quelques mètres, les véhicules des curieux s'accumulent. Autour du site, des témoins errent, hagards, paniqués ou en proie à des crises d'hystérie. Le premier message d'ambiance est transmis : *«Crash d'avion. Avion totalement embrasé. Allons procéder à des tentatives de sauvetage»*. Les pompiers établissent les premiers moyens de lutte contre les incendies afin de protéger l'hôtel «Le Relais bleu», situé à une quinzaine de mètres et menacé par l'intensité du rayonnement. Dans la première minute qui suit, un premier véhicule du service de sécurité incendie de l'aéroport du Bourget se présente sur les lieux. Il attaque le foyer principal avec

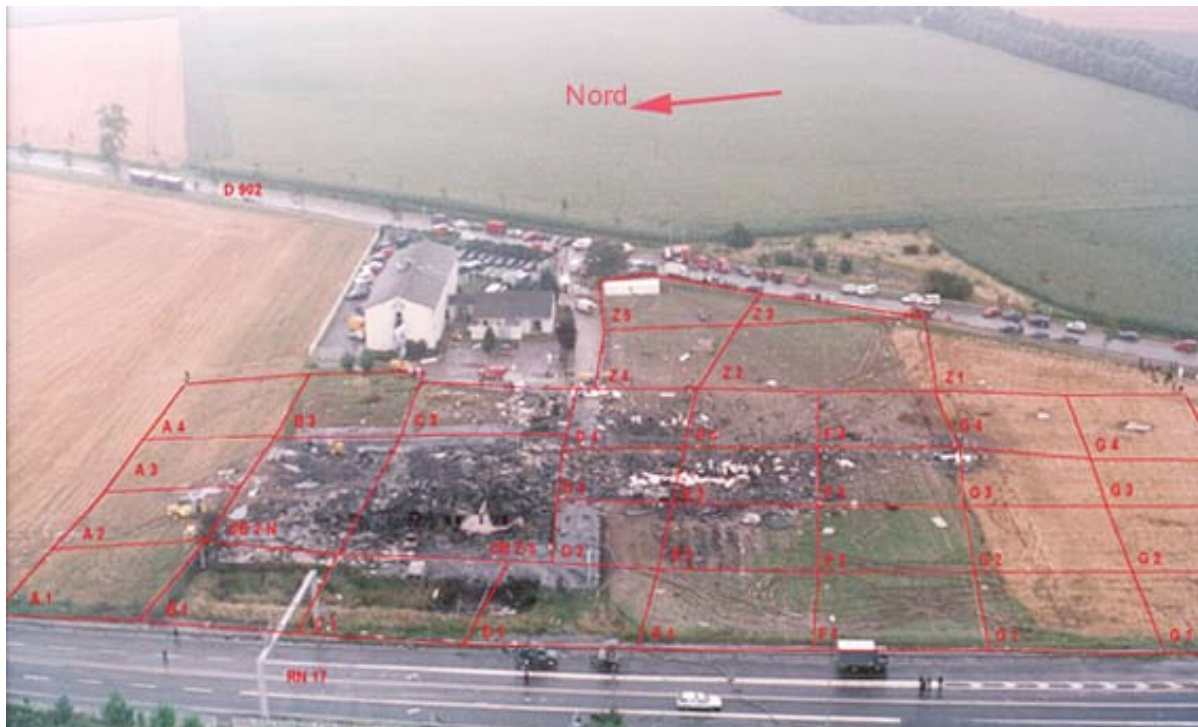


FIG. 5 – Vue rapprochée de la zone de crash

sa lance canon, les reconnaissances pour la recherche de victimes sont menées. Six d'entre elles sont prises en charge par les secouristes. Le PMA est installé dans l'hôtel voisin «Le Relais bleu».

Pendant ces premières minutes, au centre de coordination opérationnelle du groupement n°3 à Villiers-Le-Bel, au CODIS 95 (*Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours*) à Cergy-Pontoise et au Samu, plus de cent demandes de secours sont reçues. Les moyens sanitaires et d'extinctions prévus pour une chute d'avion gros porteur sont rapidement engagés. La chaîne de commandement et les autorités sont prévenues. Au CODIS, le lieutenant-colonel F.L, officier d'astreinte départementale déclenche immédiatement le premier niveau d'anticipation du plan rouge. Les moyens comportent notamment plus de 24 véhicules de secours et de nombreux médecins. En théorie, le lieu du crash est éloigné de deux kilomètres de la zone de compétence de la brigade de sapeurs-pompiers de Paris. Elle a cependant reçu de nombreux appels pour chute d'avion et, de fait, a engagé des secours. Ainsi, au même moment que le Val d'Oise, la BSPP déclenche le premier échelon de son plan rouge, et ceci, en plus des moyens qu'elle a déjà

engagés dans le cadre du plan de secours spécialisé «chute d'avion». À 16H56, le chef d'agrès du FPT² Gonesse confirme la gravité de la situation. En route vers les lieux, le lieutenant-colonel C.A, commandant le groupement n°3, et l'officier d'astreinte départementale interceptent ce message. Ils conviennent alors de déclencher le second niveau du plan rouge, soit principalement 24 autres véhicules, ainsi qu'un renfort en commandement et une cellule émulseur.

Alimentés par 95 tonnes de kérosène, les débris de l'avion ainsi que l'hôtel construit en bois, le foyer demeure très intense. La montée en puissance des secours permet d'augmenter les moyens hydrauliques : un second véhicule du service de sécurité incendie de l'aéroport du Bourget et trois autres de Roissy attaquent le foyer principal avec leurs lances-canon mousse tandis que la BSPP met en oeuvre deux lances incendie. À son arrivée, le lieutenant-colonel C.A prend le commandement des opérations et se fait exposer le dispositif d'attaque en activité. Il demande aux forces de l'ordre, nombreuses sur les lieux, de préserver la circulation sur la RN 17 et le CD 902 pour permettre l'accès des secours et, éviter sur ce point de concentration des secours, une accumulation d'engins sur la route qui mène au sinistre et n'engager les moyens qu'au fur et à mesure des besoins sur site.

Le COS apprend auprès du responsable du service de sécurité incendie d'Aéroports de Paris (ADP) que l'appareil comportait 109 passagers et membres d'équipage. Les secours du SDIS 95 (*Service Départemental d'Incendie et de Secours du département 95*) et de la BSPP continuent d'affluer sur les lieux. Le préfet confirme au CODIS le déclenchement des deux niveaux du plan rouge et l'informe de l'activation du Centre Opérationnel de Défense à la préfecture avec des représentants du SDIS, de la police, de la gendarmerie et de la DASS. La BSPP, dont les moyens sur les lieux lui ont aussi confirmé la situation, demande alors si elle doit engager le deuxième échelon de son plan rouge. Le CODIS 95 lui répond par la négative, compte tenu des secours déjà engagés. Sur le site, l'achèvement des reconnaissances confirme l'absence de survivants parmi les occupants de l'appareil. Aucun autre blessé n'est découvert, mais le fils de la gérante de l'hôtel sur lequel l'avion s'est écrasé apprend aux secours que quatre employées qui travaillaient à l'intérieur au moment du crash, sont introuvables. Un PC de site est mis en place, intégrant celui de la BSPP qui coordonne ses

²Il s'agit du chef du véhicule appelé Fourgon Pompe Tonne

moyens propres. Le colonel G., DDSIS du Val d'Oise, prend le commandement des opérations de secours et confie la direction des secours médicaux au médecin lieutenant-colonel D., de la BSPP, puis au docteur M.G., directeur du SAMU 95. Les autorités et les fonctionnaires des nombreux services publics mobilisés sont accueillis dans le vacarme des manoeuvres d'engins et du ballet des hélicoptères. L'attaque massive renforcée par la lance-canon d'un sixième véhicule d'ADP, diminue l'intensité du foyer. Les fumées, rabattues horizontalement par le vent, impose le port de l'ARI (*Appareil Respiratoire Isolant*). Trois grosses lances supplémentaires sont mises en œuvre à partir de la RN 17 par le FDGP (*Fourgon Dévidoir Grande Puissance*) de Villiers-Le Bel, alimenté par une ligne de 110 mm sur un poteau à 500 mètres. Près d'une heure après le crash, 6 lances-cansons mousse (3 à 6000l/mn, 2 à 1800l/mn et une à 3000 l/mn), 4 LDV (*Lance Incendie à Débit Variable*) et quatre grosses lances sont en action. Deux CCF (*Camions Citernes Feux*) sont en plus engagés pour enrayer la propagation aux chaumes voisins. Ainsi, des moyens extraordinaires sont déployés à la hauteur du drame qui se joue sous les yeux des pompiers et sauveteurs.

À 17H45 les trois premières victimes sont évacuées. Les SAMU 95 et 93 activent la cellule d'urgences médico-psychologiques au terminal 9 de l'aéroport de Roissy pour l'accueil des familles des victimes. Les autres personnes impliquées sur le site sont prises en charge au centre hospitalier de Gonesse. Le préfet du Val d'Oise fait établir sur place un PC interservices et demande à chacun des responsables un point opérationnel toutes les trente minutes. À 18H16, le feu est circonscrit. De son côté, la Croix-Rouge a mobilisé huit ambulances positionnées au centre de secours de Villiers-Le-Bel pour assurer la couverture opérationnelle du secteur. Elle reste également présente sur le site avec 21 bénévoles pour assurer le soutien logistique des personnels engagés. Après un point inter-services, il est précisé que les corps ne seront relevés qu'après l'autorisation des autorités judiciaires et, leur emplacement reporté sur un plan par les enquêteurs. Le Premier ministre, Lionel Jospin, se présente sur les lieux, accompagné du ministre des transports, Jean-Claude Gayssot. Accueillis par le préfet et le directeur départemental, ils se font exposer la situation et visitent le PMA. À 19H05, le feu est maîtrisé. Dans les décombres, 60 corps sont localisés. Le bilan est alors de 100 passagers et 9 membres d'équipage décédés dans l'avion. De plus, 4 personnes sont supposées décédées dans l'hôtel et, 8 autres blessés évacués.

À 19H26, soit moins de cinq heures après le crash, tous les foyers sont éteints. Ce qui facilite la poursuite du travail pénible de recherche, de relevage et de brancardage des corps. À 20 heures, les moyens ADP, puis de la BSPP, sont désengagés et les relèves sont organisées. À 22 heures, 80 victimes sont localisées et les boîtes noires extraites des débris sont confiées aux enquêteurs. Toute la nuit, les sapeurs-pompiers poursuivent les recherches dans les décombres, à la lueur des projecteurs mis en place par le SDIS 77, ADP et la DDE 95. Le lendemain matin, à 9H30, 86 corps ont été localisés dont 44 transportés à l'institut médico-légal de Paris. En fin d'après-midi, une cérémonie à la mémoire des victimes a lieu dans la salle communale de Gonesse. Le président de la République, de nombreuses autorités et les familles sont présentes. Certaines se rendent ensuite à proximité du site de la catastrophe pour se recueillir. En fin de journée 111 corps ont été évacués. Seul un piquet de surveillance est maintenu pour la nuit. Les deux derniers corps seront retrouvés tôt le matin du jeudi 27 juillet. L'opération n'est cependant pas terminée pour les sapeurs-pompiers. Ils restent engagés pour sécuriser le site et découper les pièces de la carlingue.

5 Action particulière de la gendarmerie

L'action de la gendarmerie s'est exercée à plusieurs niveaux et selon plusieurs modalités. Nous allons ici détailler son action dans le champ spécifique de la criminalistique et de l'identification des victimes. Nous avons auparavant présenté les missions et l'organisation de l'UGIVC. Voyons précisément comment cette unité de l'IRCGN est intervenue lors de cette tragédie.

Immédiatement après que la nouvelle de la catastrophe ait été communiquée à l'ensemble des autorités, le procureur de la République se transporta sur les lieux et, confia la responsabilité de l'enquête à la Gendarmerie des Transports Aériens (GTA). À 17H30 la Direction Générale de la Gendarmerie Nationale décide d'engager l'UGIVC dans le cadre d'une réquisition à personne qualifiée. Le chef de l'UGIVC, accompagné de trois autres militaires de l'unité arrivent sur le site du crash. Devant l'ampleur du bilan humain, la décision est prise d'engager un maximum de personnels et de moyens techniques. Ainsi, à 20H15, six équipes sont déjà constituées. Elles regroupent 24 personnels de l'IRCGN, 2 médecins légistes civils, des Techniciens en Identi-

fiations Criminelles (TIC) et des OPJ. Leur mission est simple : assurer au mieux et au plus vite le relevage des victimes. Parallèlement à ce qui peut se passer sur le site de la catastrophe, une équipe de six personnels de l'IRCGN est mise sur pieds pour effectuer le recueil des renseignements ante-mortem et ceci, avec l'aide de deux policiers du Bundeskriminalamt (BKA) de Wiesbaden et de l'ambassade d'Allemagne à Paris.

Le travail commença dès lors et durant la première nuit suivant le crash, deux équipes de relevage travaillèrent sans interruption. Notons que devant ce type de catastrophe, gendarmerie et police nationale ont étroitement collaboré. Les équipes de l'IRCGN ont donc été renforcées par des fonctionnaires de la sous-direction de la police scientifique et technique de la police nationale. Au petit matin, l'IRCGN engage des personnels supplémentaires. Ainsi, le 26 juillet, dans l'après-midi, ce sont huit équipes de relevage qui sont engagées. On compte à ce moment, tout confondu, 58 personnes directement déployées sur le site. Dans le même moment, l'équipe ante-mortem accueille les familles à l'aéroport de ROISSY afin de continuer la collecte des informations sur les victimes. À 18H30, le lendemain du crash, 110 corps ont été relevés et il ne reste plus de dépouille mortelle visible sur la zone de la catastrophe. Ce qui permet, dès 19H00, à une partie des familles des victimes de se rendre sur la zone de crash.

Le 28 juillet, les deux derniers corps de victimes sont découverts dans les décombres de l'hôtel. À partir de ce moment, le magistrat instructeur donnera l'ordre de mettre en place la commission d'identification qui siègera à l'Institut Médico-Légal de PARIS. Cette commission était co-présidée par deux médecins et nommés experts par le même magistrat. Elle comprenait le directeur de l'IRCGN, des dentistes légistes, les officiers responsables des équipes de relevage, des membres du Bureau Enquête Accident, deux policiers du BKA, des militaires de l'IRCGN et de la section de recherches de VERSAILLES. L'identification formelle des victimes est de la seule compétence de cette commission d'identification. Quand la personne est déclarée identifiée, un certificat de décès est établi par les experts. Le corps de la victime peut alors être rendu à la famille avec l'accord du magistrat instructeur.

6 Enquête technique

Cet article n'aura pas de conclusion au sens académique de la chose. En effet, la catastrophe du vol AFR 4590 n'est pas, à l'heure actuelle, jugée. Nous ne sommes donc pas en mesure de discuter des causes et des effets que la justice et l'histoire retiendront au final. Nous ne sommes pas non plus en mesure de discuter des éléments de l'enquête officielle. Cependant le rapport préliminaire du Bureau Enquête Accident est consultable en ligne via l'URL

«museedelta.free.fr/concorde/bea_rapport.htm». Justement, et concernant l'enquête judiciaire, les propos liminaires de ce rapport sont sans équivoques : «Le présent document a été établi sur la base des premiers éléments obtenus sur les circonstances de l'accident, sans analyse. L'enquête est en cours. Certains points peuvent donc encore évoluer. Ce n'est qu'à l'issue des travaux entrepris qu'il sera possible d'établir un rapport complet sur les circonstances et les causes de cet accident. Rien dans la présentation du rapport préliminaire ou dans les points qui y sont abordés ne peut être interprété comme une indication sur les orientations ou à fortiori les conclusions de l'enquête.»

Ce même rapport préliminaire poursuit en énonçant : «Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et à la Loi n° 99 -243 du 29 mars 1999, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents ou incidents.» Ainsi, conformément aux dispositions de ces textes légaux, une enquête technique a été ouverte et, un enquêteur principal a été désigné pour la conduire. De la même façon et suivant les mêmes textes, un représentant accrédité et deux enquêteurs britanniques de l'AAIB (Air Accident Investigations Branch), accompagnés de plusieurs experts de BAE SYSTEMS et de Rolls Royce, ont été associés à l'enquête au titre de l'État constructeur ainsi que des observateurs allemands et américains. La compagnie Air France, EADS et SNECMA ont également mis de nombreux experts à la disposition du BEA. Enfin, le ministère français des Transports mit en place, dès le 26 juillet, sa propre commission d'enquête qui a assisté le BEA dans ses investigations.

L'enquêteur principal du BEA constitua sept groupes de travail pour étudier toutes les facettes de cette catastrophe : [Site et épave];

[Avion, systèmes et moteurs] ; [Préparation et conduite du vol, renseignements sur l'équipage] ; [Enregistreurs] ; [Performances de l'avion] ; [Témoignages] ; [Examen des événements antérieurs]. Dans ce genre de catastrophe, les vérités techniques et judiciaires se confondent en de nombreux endroits et ne peuvent en réalité s'éloigner l'une de l'autre. Les moyens d'enquête mis en mouvement sont toujours considérables car, il existe une forte obligation de moyens qui, selon les répercussions humaines et médiatiques de la catastrophe, les pressions politiques, etc. , peut devenir une obligation de résultat. Mais, humainement parlant, peut-il vraiment en être autrement ? Pour les familles, pour toutes les personnes affectées par ce genre de drame, que reste-t-il sinon la connaissance des causes et mécanismes de la catastrophe.

Un des groupes du travail du BEA va s'attacher à reconstituer la totalité du vol, qui dans le cas du Concorde fut très bref. Le vol est analysé sous tous les angles et points de vue. En particulier, on cherche à déterminer les actions et communications du personnel navigant technique. À l'heure actuelle, il semble qu'il existe une réelle convergence d'opinion et d'analyse sur les causes premières et secondes du crash du Concorde. Le rapport préliminaire du BEA donne rapidement ce qui demeurera vraisemblablement la cause réelle et officielle de l'accident : *«À 14H42 et 31 secondes, le PF annonce le top décollage. À 14H42 et 54 secondes, le PNF effectue l'annonce cent nœuds, puis neuf secondes plus tard V1. Quelques secondes plus tard, le pneu avant droit du train principal gauche se détruit, vraisemblablement pour être passé sur une pièce métallique. Cette destruction provoque la projection de gros morceaux de caoutchouc et l'endommagement de certaines parties de l'avion.»* Cette pièce métallique a également vraisemblablement été retrouvée par les enquêteurs.

Outre la zone de crash, toute surface en contact ou survolée par le Concorde avant sa chute a été passée au crible et, très soigneusement examinée. Ainsi, la piste de décollage elle-même fut l'objet d'examen particuliers. Il a été retrouvé à six hauteurs différentes de la piste, des débris pneumatiques tous issus des pneus du Concorde. Deux de ces débris ont fait l'objet d'une attention particulière car, d'une part ils s'emboîtent et, proviendrait de fait du même lambeau de pneu et, d'autre part, sur le morceau ainsi reconstitué, il apparaît à l'examen visuel une coupure transversale d'environ 32 centimètres et tel que cela est visible sur la photographie de la figure 6. Parallèlement à l'observation de cette coupure insolite, une pièce métallique en forme



FIG. 6 – Lambeau de pneu du Concorde

de lamelle a également été retrouvée le long de la piste, non loin d'un des lambeaux de pneu. Cette lamelle fait environ 43 centimètres sur 30, et se trouve être pliée à l'une de ses extrémités. Les enquêteurs sont arrivés à deux conclusions essentielles : premièrement, la lamelle est d'origine aéronautique et, deuxièmement, elle n'a pas été identifiée comme appartenant au Concorde. La figure 7 montre cette lamelle.

Toujours sur la piste de décollage, il a été retrouvé d'autres pièces de la structure de l'avion, tel des morceaux du réservoir n°5 de l'avion. Le scénario se met donc peu à peu en place : des pneus qui éclatent après avoir roulé sur une lamelle *exogène* et dont les débris viennent perforer des réservoirs qui, eux-mêmes, vont s'enflammer. Ces hypothèses ont également été confrontées aux traces de suie et autres brûlures laissées sur, et autour de la piste. Cette suie a fixé différentes traces dont celles des pneus du Concorde. Les enquêteurs ont même pu déterminer que certains pneus étaient dégonflés et/ou abîmés. Ces mêmes enquêteurs ont élargi leur domaine d'investigation et ont ainsi recensé six autres cas d'endommagement de réservoir. Malheureusement le septième cas a conduit à un feu de carburant et, à la catastrophe du vol AFR 4590.

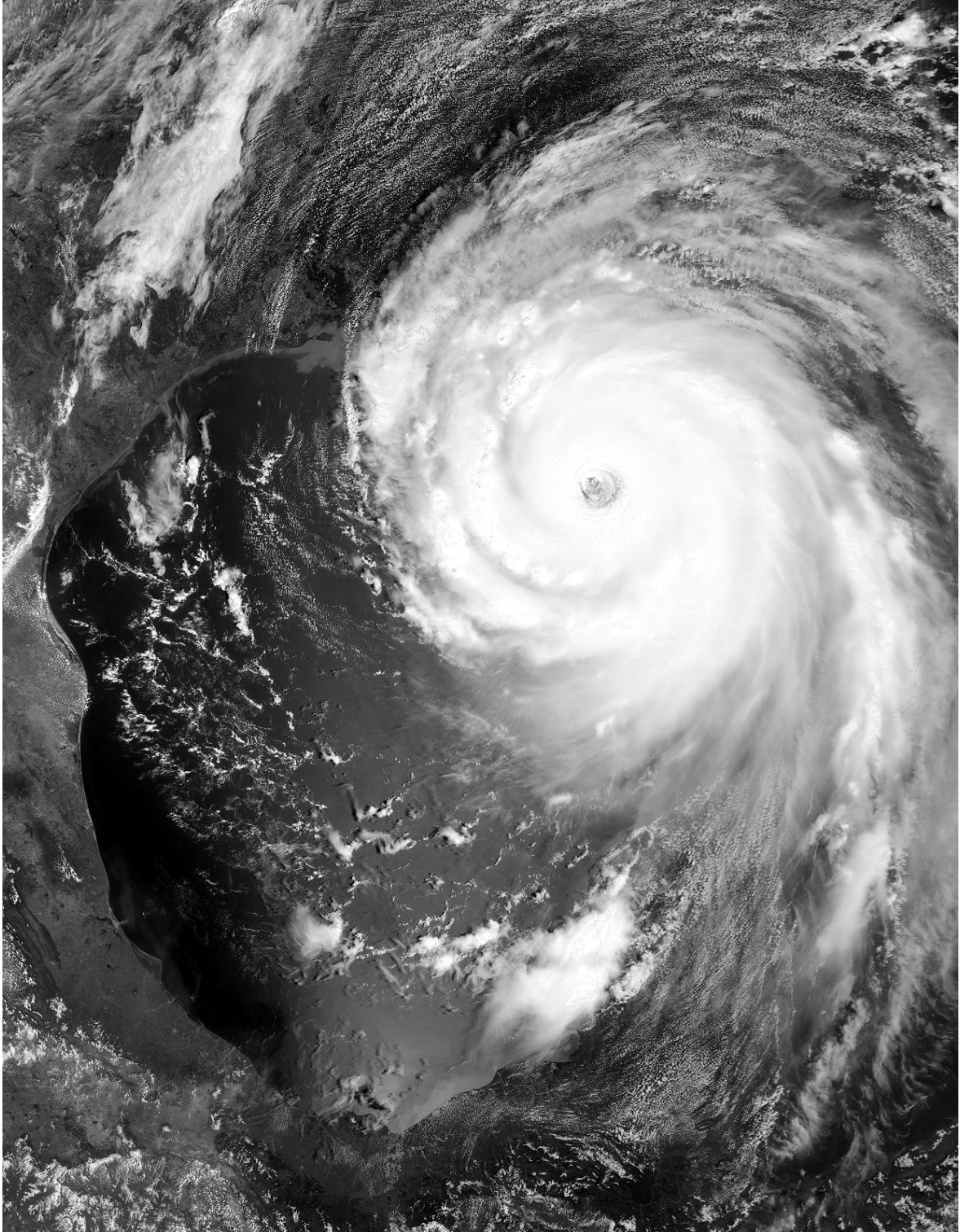


FIG. 7 – Lamelle métallique

Sources

http://musedelta.free.fr/concorde/bea_rapport.htm

http://perso.orange.fr/christophe.hennebuisse/page_43.htm



Août 2005. Katrina

Consommation éthique : mode ou rupture ?

S. Garabedian

Groupe de Recherche en Droit
Economie Gestion (GREDEG)
CNRS - Université de Nice Sophia-
Antipolis
06560 Valbonne, France
garabedi@idefi.cnrs.fr

J.-L. Dessalles

ParisTech - École Nationale
Supérieure des
Télécommunications
LTCI - CNRS-UMR 5141
46 rue Barrault - 75013 Paris
dessalles@enst.fr
www.enst.fr/~jld

Résumé

La consommation éthique peut connaître trois destins. Tout d'abord celui d'un mode de consommation durable mais intrinsèquement marginal, sous-tendu par la seule autosatisfaction liée à la bonne conscience des acheteurs. La composante d'affichage, par laquelle le consommateur fait valoir son choix auprès de son entourage peut, quant à elle, conduire soit à une mode éphémère, soit à une rupture. Nous envisageons ici les conditions d'émergence d'une rupture, qui serait rendue possible par la fonction de signal social particulier de ce type de consommation.

1 Introduction

Dans cette introduction, nous regarderons brièvement les caractéristiques d'un marché éthique avec son importance et son évolution. Dans la première partie, nous nous interrogerons sur la possibilité que ce type de consommation constitue une véritable rupture. Pour cela, nous présenterons quelques théories issues de la science économique, qui permettent d'expliquer le comportement de consommation éthique qui semble *a priori* non rationnel économiquement parlant. Ces théories, de base évolutionniste, constituent une réelle avancée puisqu'elles intègrent le caractère social du consommateur. Cependant, ces théories se centrent essentiellement sur le consommateur et considèrent les « autres » comme un contexte figé. Afin de pallier cette limite nous aborderons, dans une seconde partie, l'importance des « autres » comme individus actifs en explorant la piste selon laquelle un individu ne consommera éthique que s'il y a d'autres gens pour valoriser ce type de consommation. Nous nous appuyerons sur un parallèle avec l'éthologie et nous verrons dans quelle mesure l'éthique peut constituer un « bon » critère. Nous chercherons à modéliser cela dans une troisième partie, en envisageant un modèle multi-agents propre à démontrer un effet de seuil lorsque le nombre d'individus qui prennent en considération le mode de consommation pour former leurs amitiés augmente. Enfin, une quatrième et dernière partie discutera de la

fiabilité du critère et de la vraisemblance d'une rupture dans l'organisation économique due à son existence.

1.1 Etat des lieux d'un marché éthique

Le segment de marché agroalimentaire mettant en avant une caractéristique éthique se délimite peu à peu. Apparu il y a une vingtaine d'année (création du label AB en 1985 et de l'association Max Havelaar en 1992), ce marché semble perdurer. Quelques chiffres faisant état de son ampleur et de ses récentes évolutions permettent d'envisager qu'il dépasse le simple effet de mode pour s'implanter plus durablement. Loin d'être majoritaire, ce marché semble se stabiliser après des années de progression. Le marché du commerce équitable par exemple, représente actuellement 0,02% du commerce mondial, et 0,1% du commerce entre l'Europe et le Tiers Monde. Selon une enquête réalisée pour le compte du Ministère des Affaires Etrangères, son volume atteint 240 millions d'euros en France pour l'année 2004.

D'apparence marginale, l'ampleur de ce marché ne permet pas de discuter du caractère durable du phénomène de consommation éthique. En revanche l'observation de son évolution peut nous apporter plus d'indications. En effet, sa tendance à la stabilisation sous-tend une implantation permanente, et permet donc d'éliminer le cas d'une mode éphémère. Depuis son apparition, les parts de marché des produits éthiques n'ont cessé de croître et ce à une vive allure ; de 10 % à 25 % par an selon les pays européens, jusqu'à atteindre des taux de progression de 50% pour l'année 2005. Aujourd'hui, cette progression semble se stabiliser avec des parts de marché avoisinant les 5 % pour le café ou le thé dans la majeure partie des pays européens, et allant jusqu'à 24 % comme en Suisse pour la banane (Maillard 2003). Le marché de l'agriculture biologique, plus connu et plus développé, est plus avancé. Il concerne près d'un consommateur sur deux, et déjà en 1998, 47 % des français déclaraient consommer des produits issus de l'agriculture biologique, 19 % disaient en consommer régulièrement, contre seulement 9 % en 1995 (IFEN/INSEE 1998).

Outre ces aspects purement quantitatifs, la délimitation du marché éthique peut se concevoir d'après sa notoriété. Or, cette notoriété connaît à peu près le même cheminement. L'agriculture biologique ne constitue plus aujourd'hui un concept « nouveau ». Ce mode de production est entré dans les mœurs comme une alternative à part entière. Mais pour le commerce équitable, le caractère plus récent fait qu'il n'est pas encore connu de tous. Depuis 2005, la part de la population française connaissant le commerce équitable se fige au alentour des trois quarts (74 % selon Ipsos) alors qu'elle était d'un peu moins d'un dixième (9 %) en 2000 (d'où une forte progression en 5 ans qui se stabilise aujourd'hui). Selon une étude réalisée par Ipsos¹, « *cet effet de seuil [stagnation] laisse présager que la notoriété du commerce*

1 Étude réalisée par Coralie Cazeils (Directeur du Département Corporate et Stratégie d'entreprise, Ipsos Public Affairs) et Sophie Guillard.

équitable accède désormais à une nouvelle étape : le nivellement qualitatif. Il y a fort à penser que cette notoriété a atteint aujourd'hui son niveau maximum auprès des catégories de personnes les plus informées et que les cibles plus modestes, habituellement moins exposées, tendront progressivement vers ce niveau. »

Après ce constat nous pouvons nous intéresser plus précisément aux motivations d'achat et aux processus qui amènent un individu à se comporter ainsi, afin de dégager les conditions d'émergence d'une consommation éthique qui pourrait constituer une rupture. Sur ce point, deux théories semblent apporter des pistes de réflexion intéressantes : la théorie que nous appelons la « théorie symboliste » qui s'appuie sur le principe de démonstration de la consommation énoncé par Veblen, et la théorie évolutionniste appliquée à la consommation notamment avec l'idée de verrouillage des modes de consommation. Pourtant pour aller plus loin, il est essentiel de considérer le rôle actif de l'entourage dans la prise de décision (par rapport au symbolisme) et dans son maintien (par rapport au lock-in).

2 Consommation éthique : quelques pistes théoriques

Dans la théorie standard de la consommation, une consommation éthique est difficilement concevable. Il faut généralement s'abstraire de l'homo economicus, ou plus particulièrement de l'hypothèse de son égoïsme, dans le sens où il s'agit d'un individu représentatif qui agit comme s'il était seul. Des approches alternatives ont été proposées en s'inspirant des sciences sociales et psychologiques et même de la biologie. La science sociale a permis d'intégrer les autres dans l'analyse et de lever l'hypothèse l'individu isolé. La théorie du symbolisme que nous présentons s'inspire très largement du concept de consommation ostentatoire. D'un autre côté, la biologie a donné les bases du courant évolutionniste, et plus particulièrement de la notion de « routine organisationnelle ». Il s'agit d'une approche qui se donne comme objectif explicite de rendre compte de la transformation de l'économie en analogie avec le schéma général d'évolution par sélection naturelle (Mangolte, 1998). Développée dans le cadre de l'analyse de la firme, cette théorie semble également bien adaptée à l'analyse du comportement du consommateur. Nous présenterons cette théorie *via* la théorie du *lock-in* (verrouillage) qui repose elle, sur des principes de psychologie cognitive. Bien que peu répandue, cette théorie apporte des clés de compréhension en traitant notamment des effets de seuil. Ces deux théories alternatives au modèle standard peuvent également se coupler avec des effets spécifiques de consommation. Généralement présentés comme des exceptions au modèle standard, ces effets viennent nuancer la vision mécanique selon laquelle lorsque le prix d'un bien augmente, sa demande diminue.

2.1 Le symbolisme

La notion de symbolisme fait référence au symbole que constitue un bien pour le consommateur. Généralement, cette notion renvoie la consommation à un moyen déguisé d'afficher une haute position. Dans cette vision, on suppose que le consommateur n'évalue pas un bien seulement pour ce qu'il apporte mais pour ce qu'il représente pour lui et pour les autres. La consommation contribue alors à la constitution d'une identité personnelle ainsi qu'à montrer son appartenance à un groupe ou à cautionner certaines idées. Selon Douglas, « *An individual's main objective in consumption is to help create the social world and to find a credible place in it.* » (Douglas 1976).

Cette théorie s'inspire de la théorie de la consommation ostentatoire de Veblen, auteur de « *La théorie de la classe loisir* » (Veblen 1889), selon laquelle la consommation est la manifestation d'un positionnement de l'individu dans le monde social et du rapport que chacun entend tisser avec celui-ci. Flacher (2003) souligne que la construction du « moi » social prend ici une dimension singulière. La consommation est avant tout la consommation d'un signe pour une affirmation démonstrative singulière ainsi que l'énonce Veblen : « *La marque de superfluité, de somptuosité sont des marques de mérite, de haute capacité pour la fin indirecte et surclassante que la consommation se propose* ».

On peut associer à cette théorie un effet qui est l'*effet de démonstration* (ou effet Veblen). Selon ce principe, un bien pourra avoir une demande forte malgré le prix élevé car le caractère onéreux devient une marque de statut social élevé (effet de snobisme). La consommation a donc ici une fonction sociale de prestige et non celle de satisfaction de besoins réels. La valeur d'usage de certains biens est alors de faire valoir par sa capacité de dépenser « ce qui ne vaut rien ». Selon Flacher, la consommation est alors un « moyen de comparaison avantageuse » et procède de la « comparaison jalouse ». La perception d'un bien est alors altérée par le positionnement social qu'il implique. On peut citer l'exemple des autocollants militants au dos des automobiles. Ils n'apportent aucun surplus objectif (amélioration des performances du véhicule), ils ont un surplus subjectif limité (l'aspect esthétique est généralement faible), ils n'ont donc qu'une *valeur* par la signalisation de l'appartenance à un mouvement ou le cautionnement d'idées.

Un second effet pouvant se rattacher à cette théorie est l'*effet d'imitation* des ménages mis en exergue par Duesenberry (1949). Cet effet caractérise le fait que lorsque les revenus s'élèvent, les ménages choisissent des produits jugés supérieurs pour imiter les catégories qui, ayant un niveau de vie plus élevé, jouent un rôle pilote en matière de consommation. Les sociologues parleraient de « socialisation anticipatrice² pour ceux qui aspirent à l'élévation

² Il s'agit d'apprendre par avance les normes et les valeurs d'un groupe auquel on n'appartient pas ; c'est parce qu'il se compare aux membres d'un autre groupe que

sociale » (Merton, 1959). Chaque groupe social copie alors le style de vie propre à la classe sociale située immédiatement au-dessus dans la hiérarchie sociale, appelée groupe de référence. Cela lui permet de se démarquer du groupe qui se trouve juste en dessous de lui.

Or, si l'on suppose que les consommations sont le fruit d'une volonté de démonstration sociale, c'est que l'on présuppose une appartenance de l'individu à une société. Nous pouvons alors proposer une segmentation en plusieurs groupes selon les motivations qui conduisent les individus à choisir des biens favorisant un développement durable. Une étude de Roddy *et al.* fait ressortir neuf segments de consommateurs d'agriculture biologique (Roddy *et al.* 1996). Ici nous en distinguons deux afin de faire apparaître deux types de consommation symboliste.

Un individu peut consommer des biens favorisant un développement durable par « conviction » (militant) ou par « effet de mode » (anti-conformiste). Dans ce cadre, le groupe des convaincus cherche à afficher une certaine responsabilité face aux problématiques du développement durable, tandis que le groupe « effet de mode » cherche à ressembler au groupe des « convaincus », puisqu'il peut être considéré comme un groupe de référence. En effet, l'image associée au groupe des « convaincus » est celle d'un groupe à haut revenu et à haut niveau d'éducation³, il s'agit donc d'une classe socialement supérieure. Le groupe des « convaincus » existe ici par lui-même (afin d'afficher des idées) et le groupe « effet de mode » existe par mimétisme avec le groupe des « convaincus ». Cette théorie souligne donc l'importance de la structure sociale : selon la structure de la société, les motivations d'achat symbolistes vont différer. Ce résultat a notamment été mis en évidence par Ger *et al.*, dans une étude fondée sur des observations au Danemark, en Turquie, et au Japon.

2.2 Le lock-in

Cette théorie initialement proposée pour la diffusion d'innovations a été adaptée à la consommation. Ici, elle met l'accent sur une « consommation non ostentatoire ». Elle suppose que cette consommation « ordinaire » n'est pas orientée par des motivations de démonstration individuelle mais qu'elle dépend plutôt des conventions, des habitudes, des pratiques, comme des réponses individuelles aux normes sociales et au contexte institutionnel (Shove & Warde 1997 ; Gronow & Warde 2001). Le concept de « consommation non ostentatoire » suppose une distinction entre un phénomène de consommation ponctuelle où l'acte d'achat est effectivement réfléchi et où la théorie du symbolisme des biens prend toute sa dimension, et

l'individu se sent frustré par rapport à eux et qu'il se met à vouloir leur ressembler, pour parvenir à se faire reconnaître comme « membre ».

³ Selon une enquête du CREDOC de 2003 (Bigot), les individus déclarant tenir compte des engagements éthiques lors de leurs achats sont à 53% des titulaires de revenus supérieurs, dans leur foyer, à 3500 euro/mois et à 47% des diplômés du supérieur.

un phénomène de consommation courante qui relèverait plutôt d'automatismes de la part du consommateur. Cette notion implique donc une certaine fixité des habitudes de consommation. En regardant plus spécifiquement la consommation durable, selon Sanne, les consommateurs semblent « verrouillés » dans un processus de consommation non-durable au sein duquel ils n'ont qu'un faible contrôle individuel (Sanne 2002).

À cette théorie, nous pouvons également associer un effet spécifique de consommation. Il s'agit de *l'effet de cliquet* introduit également par Duesenberry. Cet effet souligne que la consommation ne baisse pas comme prévu lorsque le revenu diminue. Cet auteur propose alors une explication selon laquelle en courte période, la consommation des agents économiques dépend du niveau le plus élevé du revenu atteint pendant la période précédente. Il y a donc à court terme un comportement de consommation stable, une moindre épargne, voire une désépargne ou même l'endettement pour préserver le niveau de vie. *L'effet de cliquet* s'exerce comme un effet mécanique qui empêche le retour en arrière.

Cette théorie nous paraît pertinente car les modèles du consommateur qui prennent en compte un aspect dynamique avec un seuil dans les préférences sont encore rares. Bien que les modèles théoriques qui ont intégré une structure de préférences endogène dans la théorie du consommateur se soient développés depuis une vingtaine d'années, ils se sont surtout penchés sur les questions de l'évolution de la demande de court terme et de la convergence des choix vers un équilibre stable (Abbe-Decarroux 1994). Peu de modèles ont été développés sur les mécanismes qui sous-tendent une habitude. Pourtant, les préférences endogènes qui décrivent un processus selon lequel les préférences d'un individu à l'époque t dépendent des choix de consommation des périodes précédentes sont particulièrement bien adaptées à l'analyse des situations de verrouillage (*lock-in*). Les choix de consommation passés peuvent altérer le besoin ou au contraire le renforcer. Un renforcement endogène des préférences équivaut à ce qu'on appelle une habitude de consommation ou un processus de formation des préférences. Selon Abbe-Decarroux, l'habitude n'est pas un phénomène lié seulement à la consommation de produits pour lesquels on observe une dépendance physiologique (la cigarette par exemple). Un individu qui a vécu plusieurs expériences de consommation d'un bien peut être sujet à un processus de formation de ses préférences, de sorte que le taux marginal de substitution entre ce bien et un nouveau bien évoluera en faveur du bien déjà consommé.

La théorie du *lock-in* prend également son sens dans l'optique d'une société, même si cela est moins trivial. Les chemins de dépendance, et plus particulièrement les verrouillages, sont conditionnés par l'environnement culturel de la société. L'image du produit et sa notoriété s'appuient sur des représentations symboliques très liées à des pratiques culturelles (Brodhag 2000). À titre d'illustration, nous pouvons citer les différences d'accessibilité des biens éthiques. Une enquête de 2005 de Shaw *et al.* montre que les Français, davantage que dans d'autres pays, ressentent certaines barrières à

l'achat des produits issus du commerce équitable, comme l'accessibilité, la localisation et le prix. En Suisse, par exemple, la perception d'obstacles à l'achat est plus faible notamment parce que les deux chaînes de supermarchés nationales distribuent et promeuvent les produits certifiés *Max Havelaar* dans la majorité des points de vente. En France, les deux principaux canaux de distribution de produits biologiques sont les grandes et moyennes surfaces et les magasins spécialisés. Or, lorsqu'on réfléchit sur une consommation habituelle « non ostentatoire », on voit le verrouillage qui peut exister puisque la présence de ce type de biens reste spécifique. Ils ne font donc pas culturellement partie des biens standard (largement disponibles). Etant donné cette catégorisation, ces biens ne peuvent donc faire l'objet que d'un choix réfléchi et non d'un automatisme. L'exemple inverse est celui des « alicaments » qui, grâce à une accessibilité importante, font actuellement partie du panorama culturel des produits de consommation courante, alors que ni ces produits, ni même le besoin, existait il y a encore une dizaine d'années sur le marché français.

3 Le rôle actif des « autres »

3.1 Un parallèle avec l'éthologie

Un parallèle avec l'éthologie peut se révéler éclairant pour illustrer le rôle prépondérant des « autres » dans la détermination de la consommation éthique. La théorie du signal honnête, appelée également théorie du signal coûteux (Gintis *et al.* 2001), propose un cadre précis venant renforcer les théories pionnières d'Amotz Zahavi (Zahavi & Zahavi 1997). Elle montre que certaines conduites, potentiellement coûteuses, peuvent être adoptées par certains animaux à des fins d'affichage social. Il ne s'agit pas de coopération, et l'agent n'a pas à discriminer les destinataires ou les éventuels bénéficiaires de sa conduite.

L'affichage social vise à démontrer des qualités recherchées dans l'établissement des liens de solidarité. Ainsi, le cratérope écaillé, un petit oiseau du désert étudié par Zahavi, nourrit des jeunes non apparentés et tente d'intimider des prédateurs (*mobbing*). L'enjeu, pour l'émetteur de tels signaux, est de se faire accepter et de se maintenir dans sa coalition.

Le mérite de la théorie de l'affichage social n'est pas seulement d'expliquer le comportement d'affichage, mais également d'expliquer le fait que cet affichage ait un public. L'individu E qui émet un signal démontre une qualité. Sa performance peut lui valoir d'être accepté comme partenaire de coalition, voire, en cas de concurrence, lui procurer du statut social. L'individu O qui observe la performance a intérêt à en tenir compte pour se lier à E *seulement si la qualité en question est corrélée au succès de cette alliance* (Dessalles 1999).

3.2 L'éthique comme «bon» critère

La théorie du signal honnête prédit que les agents vont sélectionner les «bons» critères, c'est-à-dire les critères corrélés à l'efficacité de l'alliance. Ainsi, dans certaines espèces comme le cratérope ou *homo sapiens*, le courage au bénéfice d'individus non apparentés est un critère d'alliance, dans la mesure où la coalition peut bénéficier de la capacité de ses membres à prendre des risques. Inversement, spécialement dans notre espèce, les individus évitent de nouer des liens de solidarité avec des individus qui montrent une aversion au risque qui les fait apparaître comme lâches.

Traditionnellement, la consommation est présentée comme un comportement individuel et par essence égoïste. La consommation de type éthique, dans la mesure où elle peut devenir ostentatoire (ou, inversement, si la consommation non-éthique ne peut être cachée) peut transformer la consommation en un moyen d'afficher un «bon» critère. Un consommateur éthique, en démontrant qu'il se soucie de la dignité d'autres individus qu'il ne connaît pas, affiche de «bonnes» qualités, c'est-à-dire des qualités susceptibles d'attirer des alliés. La consommation éthique peut donc être vue comme un comportement particulier : elle constitue potentiellement un signal pour lequel les individus de notre espèce possèdent des récepteurs liés à leur biologie.

3.3 Les conditions d'une rupture

Si la consommation éthique est adoptée comme critère d'alliance, il peut théoriquement en résulter une rupture irréversible : seuls ceux qui l'affichent auront des chances d'entrer dans des réseaux d'amitiés, alors que ceux qui consommeront non-éthique se retrouveront socialement marginalisés. Les conditions d'une telle émergence sont, cependant, étroites.

La condition essentielle est celle de la fiabilité du critère. S'il est possible de mentir sur sa vraie nature, en se faisant paraître pour éthique lorsque l'on est purement égoïste, la prédiction de rupture cesse d'être valide. Cela peut se produire si la consommation éthique ne demande aucun effort particulier, par exemple si tous les produits peuvent se dire éthiques par dévoiement ou dévaluation des labels. La possibilité de tricherie peut conduire à des signaux "d'éthicité" qui, pour être honnêtes, seront nécessairement coûteux et exagérés, conformément à ce qui se passe dans la communication animale (Krebs & Dawkins 1984 ; Zahavi & Zahavi 1997). Si la consommation éthique connaît une telle évolution, par exemple si les produits éthiques s'enrichissent, elle deviendra le fait d'une élite et pourra disparaître par marginalisation. En revanche, si des labels fiables et accessibles parviennent à se maintenir, la consommation éthique pourra émerger en tant que "signal généralisé" (Dessalles 2006).

4 Esquisse d'un modèle

Pour tester la possibilité d'une émergence irréversible de la consommation éthique, nous proposons le modèle suivant. Notre projet est de simuler une population d'agents en situation de consommer des biens, dans les conditions suivantes.

- Les agents ont le choix de leur part de consommation éthique e . L'utilité qu'ils en retirent est $H_i = H^1 (1 - \alpha e_i) + H^2 \lambda_i e_i$. Le paramètre α , inférieur à 1, traduit le fait que les produits éthiques sont plus chers ou plus difficiles d'accès. La composante H^1 représente la part utilitaire "égoïste" du produit, tandis que H^2 représente l'utilité immatérielle, par exemple une auto-satisfaction morale, liée à la consommation éthique. H^1 représente une utilité objective (augmentation du bien-être matériel) et H^2 représente une utilité psychologique, propre à moduler les actes de consommation des agents.
- Les coefficients e_i et λ_i sont susceptibles d'évoluer pour maximiser le profit individuel, soit par apprentissage individuel, soit par algorithme génétique. En l'absence d'interactions sociales, les individus sont évalués sur leur efficacité qui se limite à la composante objective H^1 . L'optimum est alors bien sûr $e_i = 0$, et donc $\lambda_i = 0$ (pour que les individus ne détournent pas leur consommation).
- Les agents peuvent observer la part éthique e_j des consommations des autres agents et en tenir compte lors de l'établissement des liens sociaux. La décision de l'agent i de former un lien avec l'agent j varie comme $p_{ij} = (\beta + \mu_i e_j) / (\beta + 1)$, où μ_i est la sensibilité de i au comportement éthique de j . Ainsi, la probabilité d'existence du lien est $p_{ij} p_{ji}$. Le paramètre β mesure la probabilité que le lien social soit établi pour d'autres raisons.
- L'efficacité objective des agents, compte tenu de leurs relations sociales, est : $E_i = H^1 (1 - \alpha e_i) + \gamma \sum_{j \neq i} p_{ij} v_j E_j$. Le paramètre γ contrôle l'efficacité de la solidarité. Le facteur v_j est la propension solidaire de l'agent j .
- L'hypothèse centrale du modèle est que v_j est positivement corrélée à e_j . Dans le cas le plus simple, $v_j = \delta e_j$, ce qui signifie que le signal envoyé par la consommation éthique 'ne ment pas' sur la propension de l'agent à se comporter de manière solidaire. Les conditions de fiabilité d'un tel signal seront étudiées dans un raffinement du modèle.
- L'évolution des individus, caractérisés par le vecteur (e_i, λ_i, μ_i) , peut conduire à une valeur d'équilibre significative de e_i qui est fonction des paramètres $H^1, H^2, \alpha, \beta, \gamma$ et δ . Comme les individus fondent leur décision de consommation sur H et non sur H^1 , il en résulte que le 'sentiment psychologique' λ_i lié à la consommation éthique va lui aussi évoluer vers une valeur significative. Enfin, les coefficients μ_i vont évoluer vers la valeur maximale 1, de manière à doter les agents d'une capacité maximale de discrimination des relations solidaires.

L'importance de soumettre ce modèle à la simulation est liée au caractère aléatoire et éventuellement local de l'établissement des liens sociaux.

5 Discussion

L'objectif de cet article n'est pas d'annoncer l'avènement de la consommation éthique comme une évolution irréversible des modes de consommation. Il s'agit plutôt d'attirer l'attention sur le fait que le mode de consommation égoïste, qui est apparu il y a seulement quelques siècles, pourrait être récupéré dans un système de signalisation plus fondamental. L'acte d'achat n'aurait pas pour unique but de satisfaire un besoin chez l'individu mais constituerait un acte de signalisation pour établir des liens sociaux efficaces.

L'existence des effets de démonstration dans la consommation ont toujours existé. Cependant, ils ne constituent souvent de «bons» critères que pour élite. Par exemple, la consommation ostentatoire de biens coûteux vise à afficher un pouvoir d'achat élevé pour le transformer en statut social. De fait, il est intéressant pour les autres de s'allier à des individus puissants, ce qui renforce le statut de ces derniers. De même, la consommation ostentatoire de produits enviables et nouveaux permet d'afficher une capacité à savoir avant les autres, qui rappelle celle que les individus affichent par le langage (Dessalles 2006).

La consommation éthique se distingue de ces modes d'affichage en ce qu'elle permet d'afficher des qualités directement exploitables sur le plan social. Comme dans le cas du couple courage/lâcheté, l'opposition éthique/non-éthique pourrait devenir, sous certaines conditions que nous nous proposons de délimiter, un marqueur d'acceptabilité sociale.

On ne peut exclure que dans un avenir plus ou moins proche, la consommation cessera d'être une affaire essentiellement privée, et sera scrutée par les congénères au même titre que les actes sociaux ou sexuels (Locke 2005). Les modes de consommation éthiques qui éclosent actuellement constituent peut-être les prémices d'une rupture dans l'organisation économique de nos sociétés. L'objectif de cette recherche est d'évaluer la vraisemblance d'une telle conjecture.

6 Références

Abbe-Decarroux F. (1994). "The Perception of Quality and the Demand for Services. Empirical Application to the Performing Arts". *Journal of Economic Behavior and Organization*, ideas.repec.org.

Bigot R. (2003). "La consommation engagée : mode passagère ou nouvelle tendance de la consommation ?", Rapport de recherché, Credoc, n°R229, septembre.

Brodhag C. (2000). "Agriculture durable, terroirs et pratiques alimentaires". *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 40.

- Dessalles, J-L. (1999). "Coalition factor in the evolution of non-kin altruism". *Advances in Complex Systems* 2(2), 143-172.
http://www.enst.fr/~jld/papiers/pap.evol/Dessalles_99091402.pdf
- Dessalles, J-L. (2006). "Generalised signalling: a possible solution to the paradox of language". In: A. Cangelosi, A. D. M. Smith & K. Smith (Eds), *The evolution of language*. Singapore: World Scientific, 75-82.
http://www.enst.fr/~jld/papiers/pap.evol/Dessalles_05112301.pdf
- Douglas M. (1976). "Relative Poverty, Relative Communication". In Halsey, A. (ed), *Traditions of Social Policy*, Oxford: Basil Blackwell.
- Duesenberry J.S. (1949), « Income, saving, and the theory of consumer behavior », Harvard University Press Cambridge, Mass.
- Flacher D. (2003). "Révolutions industrielles, croissance et nouvelles formes de consommation", Thèse pour le doctorat de Sciences Économiques, Université de Paris IX Dauphine.
- Gintis, H., Smith E. A. & Bowles S. (2001). "Costly Signaling and Cooperation". *Journal of Theoretical Biology* 213, 103-119.
<http://faculty.washington.edu/easmith/JTB2001.pdf>
- Gronow J. and Warde A.(2001). *Ordinary Consumption*. London: Routledge.
- Jackson T. (2005). "Motivating sustainable consumption". *Sustainable development Research Network*.
- Krebs, J. R. & Dawkins R. (1984). "Animal signals: mind-reading and manipulation". In: J. R. Krebs & N. B. Davies (Eds), *Behavioural ecology - An evolutionary approach (second ed.)*. Blackwell Scientific Publications, 380-405.
- Locke, J. L. (2005). "Looking for, looking at: social control, honest signals and intimate experience in human evolution and history". In: P. K. McGregor (Ed), *Animal Communication Networks*. Cambridge: Cambridge University Press, 416-441.
- Mangolte, P.A. (1998). "Le concept de routine organisationnelle entre cognition et institution", Thèse pour le doctorat de Sciences Économiques. University Paris 13, Paris.
- Maillard Y. (2003). "La consommation durable en suisse : état des lieux", <http://www.nicefuture.com/index.php?IDcat=56&IDarticle=811&IDcat56visible=1>
- Merton R.K., (1965), « Contribution à la théorie du groupe de référence », *Éléments de théorie et de méthode sociologique*, Paris, Plon, pp.202-294
- Merton M. et Rossi A.S. (1959), « Contributions à la théorie de la conduite orientée par rapport à un groupe de référence », dans Merton, *Social theory and social structure*, New York, Free Press, 1959, p. 225-280.
- Roddy G., Cowan C. A. and G. Hutchinson (1996). "Consumer Attitudes and Behavior to Organic Foods in Ireland". *Journal of International Consumer Marketing*, 9(2), 41-63.
- Sanne C. (2002). "Willing Consumers – or locked in? Policies for sustainable consumption". *Ecological Economics* 43, 127-140.

Shaw D., Shiu E. et Ozcaglar N. (2005). "Enquête exclusive Français et Romands ont la même attitude face au commerce équitable", communiqué de presse, <http://www.consodurable.org/>

Shove E. and Warde A. (1997). "Noticing Inconspicuous Consumption". *European Science Foundation TERM programme workshop on Consumption, Everyday Life and Sustainability*

Veblen T. (1899/1970). *Théorie de la classe de loisir*. trad. Fse, Paris : Gallimard.

Zahavi, A. & Zahavi A. (1997). *The handicap principle*. New York: Oxford University Press.

L'héritage de René Thom

Jerzy Karczmarczuk

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

Résumé

Nous discutons de manière superficielle et incomplète la théorie de catastrophes de René Thom, et essayons d'analyser ce qui reste de cette théorie – ou de sa philosophie – dans le monde scientifique d'aujourd'hui, vu de la perspective d'un physicien. Nous soulignons que les modèles de catastrophes étaient connus des physiciens depuis plus d'un siècle, et ce qui compte c'est la généralité d'approche de Thom, la possibilité potentielle de décrire les phénomènes sociaux, économiques, etc. Nous discutons quelques raisons pratiques et conceptuelles de la chute de la popularité de la théorie de catastrophes. En particulier, pour les physiciens, chimistes, etc., les modèles doivent être *quantitativement* corrects, et dans TC parfois ils ne le sont pas.

1 « Je suis un impérialiste mathématique »

La théorie des catastrophes (TC) [1] de René Thom (1923–2002) [2, 3] (et une dizaine d'autres ouvrages...), née dans les années '60 et vulgarisée dans les années '70, notamment par Erik Christopher Zeeman [4, 5], avait pour but la description du comportement des systèmes dynamiques s'approchant de l'instabilité, d'un régime où un changement brusque de structure/comportement empêcherait des prédictions basées sur la continuité, *même, si cette catastrophe venait d'un changement doux, régulier d'un ou quelques paramètres décrivant le système*. Au début, puisque les origines de la théorie étaient topologiques (Thom était le lauréat de la Médaille de Fields pour ses travaux sur le cobordisme), la théorie était qualitative, sans prétentions de fournir seule des modèles numériques. L'essentiel, basé – comme en topologie – sur l'analyse des propriétés du voisinage des points et régions, était l'observation qu'un changement régulier de quelques paramètres pouvait engendrer des *singularités topologiques*.

La TC n'est pas née *ex nihilo*, Thom cite les travaux de Poincaré qui a introduit déjà en 1881 la *dynamique qualitative*. Il appelait la TC : **un générateur**

de modèles, plutôt qu'une théorie... Il a basé les débuts de ses travaux aussi sur Hassler Whitney (1955) [6]. Étant mathématicien avec un penchant pour la géométrie, Thom croyait que le monde réel pouvait être décrit et expliqué par un nombre limité (et petit) de paramètres *pertinents*.

L'objectif de ce texte est une discussion superficielle des concepts de Thom, et leur relation aux autres modèles du comportement des systèmes. La puissance mathématique de TC est une classification complète des modèles dynamiques ayant jusqu'à 4 paramètres. Thom a prouvé qu'il existait 7 variantes de catastrophes élémentaires distinctes : le pli (*fold*), la fronce (*cusp*), la queue d'aronde (*swallow tail*), le papillon (*butterfly*), et trois ombilics. Seulement les deux premières sont devenues vraiment populaires, car ces modèles sont faciles à visualiser. Il faut observer quand même, que le 5-dimensionnel papillon a été exploité afin de modéliser la renaissance des villes en Europe médiévale [7].

Ce qui est au début un peu étonnant est le fait, que la TC, étant conceptuellement ancrée dans la théorie des systèmes dynamiques, n'a pu influencer la physique. Le côté qualitatif général n'était pas suffisant, et les tentatives de décrire quantitativement les instabilités se réduisaient aux cas déjà connus, ou – comme dans la thorie des transitions de phase – aux modèles de champ moyen, ce qui prévoyait des exposants critiques erronés. D'autres types de singularités, par ex., les ondes de choc, les caustiques produites par la lumière passant par des objets transparents – tout ceci était connu, et le monde des physiciens et des ingénieurs avait surtout besoin de la puissance calculatoire afin de trouver des réponses quantitatives.

Thom a commenté la relation entre la TC et les sciences autrement : « *C'est un fait que la théorie des catastrophes est morte. Mais on peut dire qu'elle est morte de son propre succès. Elle s'est effondrée le jour où on a tenté d'étendre le cas analytique à des modèles qui n'étaient que différentiables. Quand il devint clair que la théorie ne permettait pas de prédictions quantitatives, les esprits brillants décidèrent... qu'elle n'avait pas de valeur.* » Avec toute la modestie, nous pensons que la vérité de cette affirmation est partielle, et nous envisageons d'en donner quelques détails. L'abandon de l'intérêt pour la TC par les physiciens n'était pas basé sur des opinions de quelques esprits brillants, mais – au moins dans le domaine de transitions de phase – sur l'observation que la TC *donnait* des prévisions quantitatives – *fausses*...

René Thom choisissait soigneusement ses domaines de recherche, et consciemment ignorait quelques autres, vers lesquels il sentait même une sorte de répulsion déclarée, par exemple la théorie de groupes de Lie. Or, les groupes et les algèbres de Lie constituent la base de la physique moderne, et les transitions « catastrophiques » sont liées avec les brisures spontanées des symétries *locales*

de Lie. Thom s'intéressait par la géométrie globale, classique, universelle, et il aurait fallu un vrai tremblement de terre autour de lui, pour le convaincre que les systèmes qui intéressent les physiciens **ont un nombre infini de dimensions** !

De plus – et ceci était évident pour Thom – la TC n'a rien à dire dans des cas *non-différentiables*, où la topologie est vraiment différente des jolies courbes et surfaces dans l'espace Euclidéen. Pourtant c'est ici où se déroulent les processus stochastiques en physique ! La physique moderne (pas forcément quantique ou relativiste ; la nouvelle mécanique classique aussi) a aussi besoin de la géométrie fractale, étrange à Thom.

2 Les modèles typiques

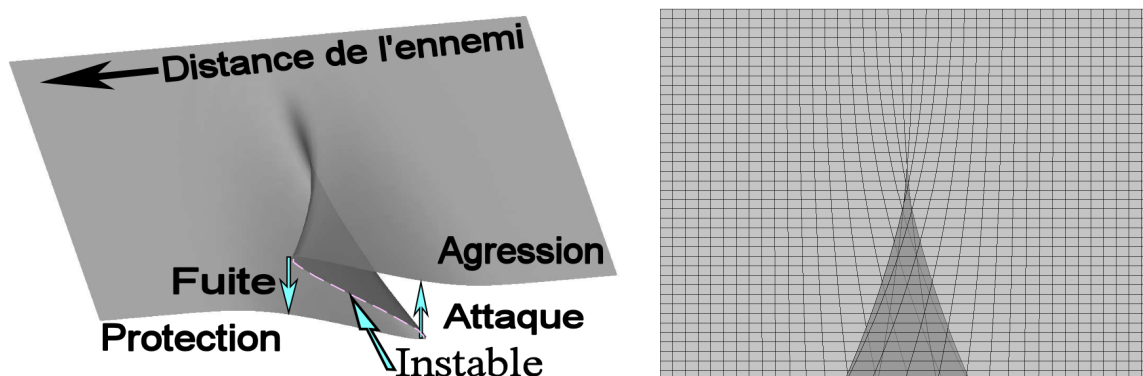


FIG. 1 – *Le pli / fronce*

Les modèles les plus simples d'instabilité topologique – la fronce et le pli – sont montrés sur la Fig. 1. Le bord du dessin à gauche montre un *possible* modèle du change du comportement entre la peur et l'agressivité selon la distance de l'adversaire. L'autre axe est la sensibilité du système. Un organisme (colonie de poissons, etc.) « émotionnellement stable », qui se contrôle, change de régime graduellement. Les systèmes plus « susceptibles » risquent subir des changements catastrophiques. Ce sont des catastrophes le plus souvent vulgarisées, car le petit nombre de paramètres facilité leur visualisation. Il faut souligner que leur discussion peut être trouvée dans les travaux de Whitney.

Le système (animal, etc.) bascule entre les deux classes, en évitant le régime instable. Le système vu de la perspective dynamique présente également l'hystérèse, les transitions dans les deux sens ont lieu aux endroits différents

de l'espace de paramètres. Zeeman a proposé d'autres exemples de telles catastrophes – crises monétaires en fonction de la politique du gouvernement (et sa capacité de mener par ex. la politique déflationniste, par rapport à la puissance du marché), etc., mais l'exemple le plus simple et *connu depuis 140 ans*, est le gaz de van der Waals.

Ce système ajoute des interactions (attraction à longues distances et répulsion locale) entre les molécules, ce qui modifie l'équation d'état du gaz idéal, où la pression P s'exprime par le volume V et la température T par $P = c \cdot T/V$. Selon le modèle de van der Waals, obsolète, mais toujours enseigné car inspirant, $(P + a/V^2)(V - b) = cT$. Pour les températures hautes la courbe $P(V)$ ressemble à l'hyperbole $P \cdot v = \text{const}$, mais quand la température baisse, le graphique acquiert un « pli », dont la partie centrale est évidemment instable – la pression augmente avec l'augmentation du volume, ce qui est physiquement pathologique. Le système devient catastrophique, la partie instable dans la réalité est remplacée par le segment horizontal (pression constante), ce qui signifie la transition de phase, condensation/évaporation. (L'hystérèse ici signifie la possibilité de surchauffer le liquide, ou sur-refroidir le gaz sans provoquer immédiatement la transition).

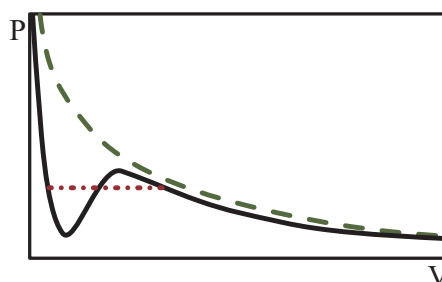


FIG. 2 – Gaz de van der Waals

La généralité de ce modèle est reconnue. Des transitions de ce genre sont visibles aussi dans les substances magnétiques. Il existe une valeur de la température où le pli commence à se former. Si nous regardons la Fig. 1 de haut, pour une valeur de la contrôlabilité du système, le pli commence à se manifester.

Ceci constitue le *point critique* du système. La Fig. 1 à droite montre la surface pliée vue de haut. Il est évident que le point critique constitue une singularité, même si la surface est partout analytique. Les singularités topologiques deviennent d'habitude visibles quand on effectue la *projection* vers un espace de moindre dimension, ou si un paramètre qui décrit la variété topologique se dégenère. D'ailleurs, un bon exemple d'une telle situation vient de la topologie, domaine qui a fait la réputation professionnelle de Thom.

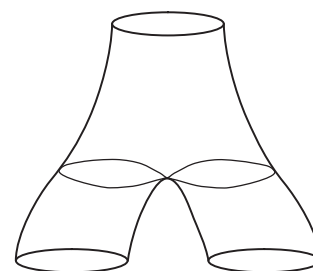


FIG. 3 – Un cobordisme non-trivial

La Fig. 3, est un exemple de *cobordisme* entre un cercle (en haut) et deux cercles (en bas) ; ensemble ces courbes constituent le bord de la variété entre les deux. La surface de ce « pantalon » n'a rien de singulier, mais si nous le coupons par une section horizontale, à un moment la section prendra la forme de deux

courbes ovales ayant un point commun, évidemment singulier, où l'analyticité du contour disparaît. La présence de telles singularités ne constitue toujours pas *per se* une instabilité, mais signale la possibilité d'un **régime instable** dans le voisinage, à condition de pouvoir donner une interprétation dynamique à une telle figure.

Il était donc naturel pour Thom, Zeeman et autres, de suggérer que le rapport entre cette théorie, et les mécanismes de transitions de phase en physique est très profond, que la physique *est comme ça*. Ainsi, assez tôt la pensée de Thom a été corrompue par quelques vulgarisateurs scientifiques, qui affirmaient que la restriction de Thom aux systèmes de quatre ou moins paramètres avaient une importance fondamentale, que les systèmes stables doivent être ainsi simples. Ceci était faux.

3 Brisure spontanée de la symétrie

Si le système dynamique (à une variable essentielle x et un paramètre supplémentaire a) peut être représenté par un potentiel effectif, dont la forme est $V(x) = x^4 + a \cdot x^2$, pour la valeur de a positive, le minimum du potentiel – donc, la position de l'équilibre, car c'est le point où la force qui est la dérivée du potentiel devient égale à zéro – est $x = 0$. Cependant, quand les conditions changent de manière à ce que a devient négatif, malgré la symétrie entre x et $-x$, l'équilibre s'écarte de zéro : $x = \sqrt{-a/2}$, le système bifurque, le zéro devient le maximum local, donc instable. Le système acquiert une valeur non-triviale de *paramètre d'ordre*. L'exemple typique de cette situation est le système ferromagnétique, où l'ordre se développe quand la température baisse en dessous d'une valeur critique. La Fig. 4 montre le potentiel et la dépendance de la position des minima, de la valeur de a .

Le point $a = 0$ est le point de la dégénérescence du système et il peut aussi être assimilé à un point critique. Au-delà nous avons la bifurcation, et si les transitions de ce genre – l'apparition du paramètre d'ordre – peuvent être appelées des catastrophes, leur analyse mathématique vient du temps de Poincaré, considérablement avant Thom. (Selon Arnold, on peut retracer les analyses de la stabilité structurale de la fronce aux travaux de Huygens (1654) et Hamilton (1837–38)). Dans le gaz nous avons la température/pression critiques, pour les systèmes magnétiques nous avons le point Curie, etc. Le rapport avec la géométrie de la TC est le suivant. Si le point représentant l'état sur la Fig. 1 part non pas le long du contour plié, mais dans la direction orthogonale, en partant d'une position neutre (de haut vers le bas sur le dessin à droite), en passant par le point critique

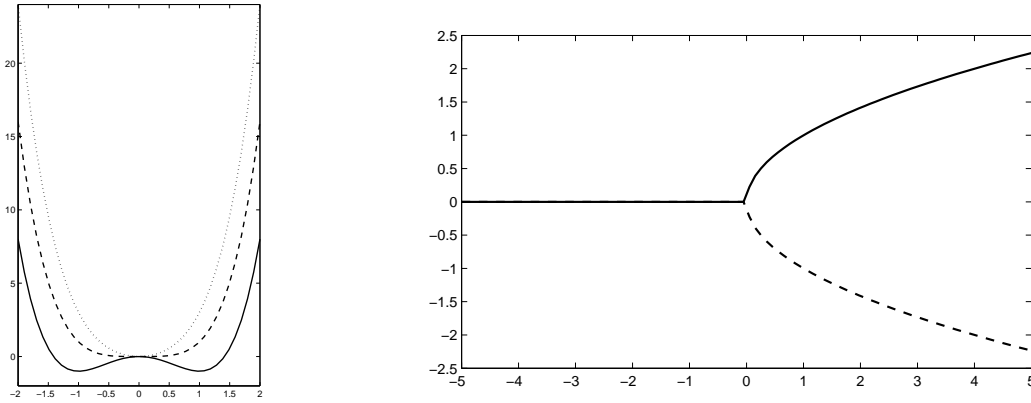


FIG. 4 – *Potentiel quartique et positions d'équilibre*

il bifurque, et choisit soit la défense/fuite soit l'attaque. On peut avoir l'illusion que ce choix d'une des branches se passe en douceur, que le système choisit une des lignes de contour du pli sur le dessin à droite, mais le « glissement » vers une de deux branches suit plutôt le caractère montré sur la Fig. 4 à droite. C'est une singularité, même si la surface en 3D reste analytique.

4 Fluctuations et invariance d'échelle

La bibliographie des applications de ces modèles aux sciences à l'ingénierie est imposante. Le schéma de classification de Thom a permis de signaler la *possibilité* des crises ou de bifurcations dans plusieurs modèles phénoménologiques, où plusieurs chercheurs adaptaient leurs formules mathématiques conçues souvent *ad hoc*, aux données numériques, sans se soucier de l'émergence des singularités. Mais il fallait aller plus loin.

L'approche topologique de Thom à la description des singularités souffre de deux handicaps reconnus par ceux qui ont besoin des calculs quantitatifs :

1. Il est très difficile d'incorporer le *temps* comme paramètre analysé, et de regarder l'évolution du système. La TC s'occupe surtout des configurations finales, privilégiées, des attracteurs (ou de leurs contraires : les extrema instables, les repousseurs).
2. La TC orthodoxe s'occupe surtout des attracteurs ponctuels, des positions d'équilibre bien définis.

Or, ce dernier point dans la conscience des représentants du monde scientifique général, a perdu beaucoup de valeur, quand on a commencé à analyser les phé-

nomènes chaotiques, les attracteurs cycliques et « étranges ». Mais pour les physiciens c'est déjà le premier point qui s'est avéré assez fatal pour la TC. On peut se poser la question : quels sont les attributs d'un point critique? Qu'est-ce passe-t-il quand un composite gaz/liquide est chauffé jusqu'à la température critique sous la pression critique? La réponse est : le système est soumis aux *fluctuations critiques, à toutes les échelles*. Les phénomènes stochastiques deviennent si importantes, que toute tentative de décrire le système par un potentiel effectif, et donc par un petit nombre de paramètres, devient inopérante. Si le modèle décrit un animal sauvage face à l'adversaire, il serait ridicule d'analyser ses « fluctuations existentielles » dans l'état critique, mais pour les vrais systèmes dynamiques, et surtout ceux à plusieurs corps, la situation est *très* différente.

En particulier, dans le voisinage de la fronce critique, la longueur de corrélation entre les sous-systèmes (molécules et clusters) devient infinie. Un gaz subit des condensations locales, les gouttelettes liquides de taille variable naissent et disparaissent, la dispersion de la lumière passante devient très grande, et la substance devient opaque, même si le gaz et le liquide sont transparents (opalescence critique). Ceci est complètement dehors de la description topologique classique. Le système ne permet pas une description simpliste avec un potentiel effectif régulier sans perdre presque la totalité de ses attributs substantiels.

Ces corrélations font « oublier » les détails locaux ; tous les systèmes critiques qui respectent quelques conditions générales se ressemblent... On peut donc dériver – à partir de presque rien – un certain nombre de règles **quantitatives**, par exemple le comportement de quelques paramètres d'état en fonction de $t = T - T_c$ – distance de la température critique. L'invariance d'échelle exige à ce que – par exemple – la chaleur spécifique C_v , la pression réduite $p = P - P_c$ et la compressibilité $\kappa = 1/V \cdot \partial V / \partial P$ aient la dépendance de t en forme des puissances : $C_v \propto |t|^{-\alpha}$, $p \propto |t|^\delta$, et $\kappa \propto |t|^{-\gamma}$.

Tous les systèmes « classiques », et le gaz de van der Waals en particulier, se réduisent à la classe des modèles du champ moyen. Cela détermine sans ambiguïtés : $\alpha = 0$; $\gamma = 1$; $\delta = 3$. Dans la réalité $\alpha \approx 0.1$; $\gamma = 1.35$; $\delta = 4.2$.

Ces déviations ne peuvent être corrigées par aucune manipulation des formules classiques. La physique du point critique est différente, et si nous voulons garder l'idée de l'espace de paramètres de dimension fini, des potentiels effectifs, etc., il faut imaginer que tout ce déroule dans l'espace de *dimension fractale*, non-entière. Les surfaces des paramètres contraints par les équations d'états ne possèdent pas seulement des singularités topologiques ponctuels (visibles sur les projections), mais sont « rugueuses », non-analytiques, singulières non-localement. Ceci n'a aucune chance d'être compatible avec le schéma de classification de Thom.

5 Nouvelles topologies ; routes vers le chaos

Il nous faut affirmer avec force : La théorie de Thom n'a jamais été simplement ignorée par les physiciens. Ils lisaient ses articles. Thom a probablement inspiré plusieurs chercheurs à regarder de près les problèmes topologiques, universels.

Donc, même si la connexion de cette section avec la théorie de Thom est assez faible, nous aborderons quelques aspects topologiques généraux en physique. Le raisonnement topologique est devenu un des outils principaux [9] dans l'analyse des phénomènes chaotiques touchant les systèmes dynamiques, pas forcément continus.

Comme nous le savons, plusieurs systèmes, continus et discrets, passent d'un attracteur régulier (ponctuel) aux cycles, et ensuite au régime chaotique par des bifurcations successives qui finalement se condensent. Le système dynamique discret le mieux connu, très simple, s'exprime par l'équation logistique : $x_{n+1} = \lambda \cdot x_n(1 - x_n)$, pour x entre 0 et 1. L'ensemble des x couvert par les échantillons – valeurs successives pour n suffisamment grand, quand le comportement transitoire disparaît, l'**attracteur** de ce système en fonction de λ , entre, disons, 2.8 et 4.0, est représenté sur la Fig. 5, à gauche. La densité (niveau du gris) sur chaque colonne de points correspond à la probabilité de trouver une valeur concrète dans un échantillon de plusieurs milliers de x_n pour une valeur de λ . Nous n'envisageons pas de discuter ici les phénomènes chaotiques, seulement signaler l'analogie entre les instabilités discutées auparavant et les « routes vers le chaos ».

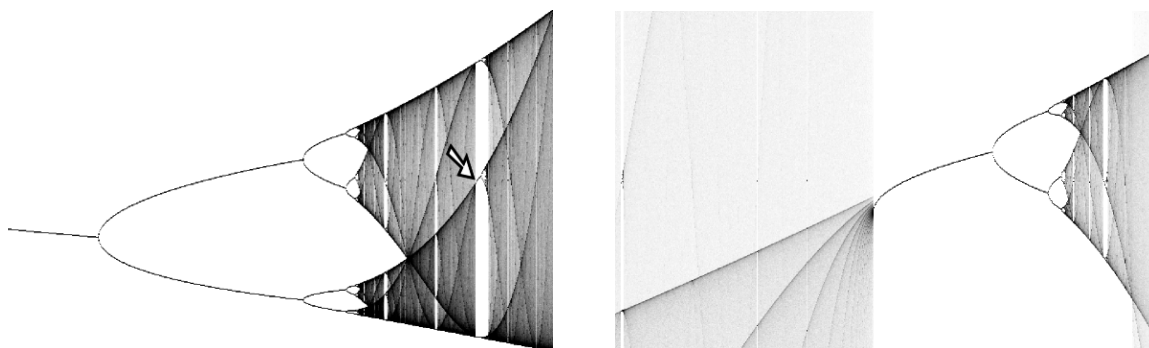


FIG. 5 – *Route classique vers le chaos par bifurcation*

On voit des bifurcations, toute une cascade, jusqu'à $\lambda = 3.57\dots$ [8], donc les tentatives de trouver une description géométrique/topologique de ce phénomène étaient nombreuses. On peut se poser la question quel est le rapport entre les systèmes discrets et les concepts topologiques de Thom, bien ancrés dans le continu. Les réponses à ce dilemme sont multiples.

Un système discret peut représenter une *section* d'un système continu, et partage avec lui les bifurcations. Parfois c'est naturel. Un faisceau de particules dans un accélérateur peut avoir une trajectoire fermée, circulaire, mais dans quelques conditions la trajectoire se dédouble, ou devient chaotique, ouverte. Ceci est bien visible sur l'intersection de la trajectoire et un plan transversal. Un point sur ce plan correspond à une trajectoire fondamentale, circulaire. Quelques points : à plusieurs cycles nécessaires pour la fermeture, les bifurcations ont eu lieu. Un amas (par ex. un segment de courbe) c'est le régime chaotique. La dimension topologique de cet amas (qui peut être fractale) constitue une information essentielle pour la compréhension du processus continu. (Et pour les responsables de l'accélérateur le changement de la dimension fractale de la section de trajectoire peut signaler l'arrivée du chaos et une *vraie* catastrophe résultante de la vaporisation du paroi du tube d'accélération. . .)

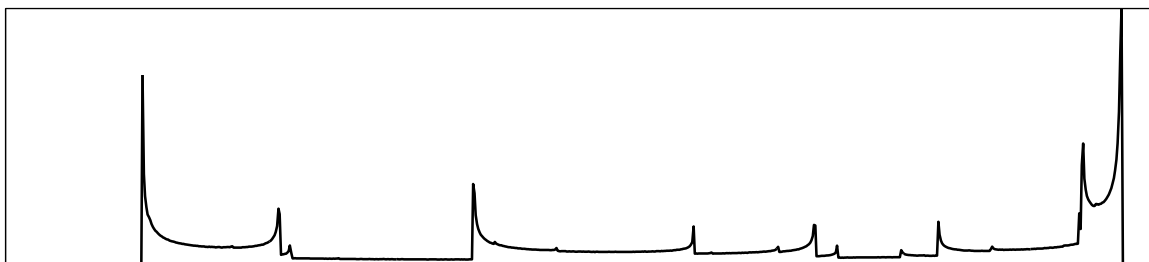


FIG. 6 – *Structure probabiliste d'un attracteur*

La distribution probabiliste au sein d'un attracteur peut être remplie de singularités, et c'est la topologie du continu qui peut analyser leurs propriétés.

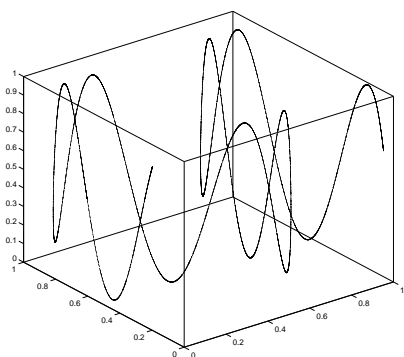


FIG. 7 – *Dimension du processus logistique*

pu une dimension quelconque supérieure à 1). On voit que les points forment un objet 1-dimensionnel. Pour d'autres valeurs de *lambda* nous aurions des points discrets, ou des fractales : points de bifurcation, points d'intermittence. Ces derniers méritent un detour. Parfois le système dans le temps se comporte de manière « épileptique ». Pendant longtemps il reste dans un état stable, ensuite saute

La Fig. 6 montre une colonne de la Fig. 5, pour $\lambda = 3.873$. Les valeurs chaotiques ne signifient pas *équiprobables*, et la structure de ces singularités mérite d'être analysée. Souvent les observations fournissent des suites discrètes, car l'observation continue n'est pas possible. La Fig. 7 considère $x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+4}$ de l'équation logistique, pour $\lambda = 3.985$, comme un vecteur en 5 dimensions, qui est ensuite projeté dans l'espace 3D (pour la visualisation ; au lieu de 5 nous aurions

dans un autre, ou tombe dans le chaos, mais vite restaure son équilibre, pour répéter le même comportement, comme montre la Fig. 8.



FIG. 8 – *Processus intermittent*

Dans le modèle logistique, le point $\lambda = 3.828426\dots$, signalé par une flèche sur la Fig. 5, est une singularité de l'attracteur, assez étonnante. Cette région est agrandie un peu sur la Fig. 5, dessin de droite, et ici. Pas de bifurcation inverse, le système bascule entre le chaos et l'existence d'un (ou quelques uns, par ex. 3) point fixe.

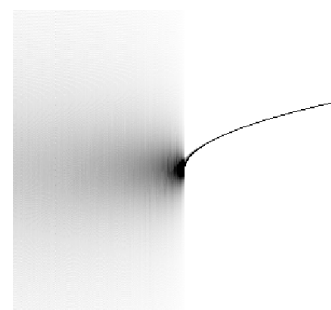


FIG. 9 – *Point d'intermittence*

La Fig. 10 ci dessous montre la route vers l'intermittence, avec quelques commentaires supplémentaires. Les dessins tracent les « trajectoires » discrètes de l'équation logistique, itèrent les lignes $[x_n, x_{n+1}] \rightarrow [x_{n+1}, x_{n+1}] \rightarrow [x_{n+1}, x_{n+2}]$.

Le graphique à gauche signale que si la dérivée de $f(x) = \lambda \cdot x(1-x)$ ne respecte pas la condition de stabilité, $|f'(x)| < 1$, alors même si le point du départ est le voisinage du point fixe, la trajectoire diverge. La discussion typique des bifurcations, continue en montrant qu'alors $f(f(x))$ peut être stable, etc. Mais nous dessinons sur le dessin central les itérations de $f^3(x) \equiv f(f(f(x)))$. La valeur de λ est 3.82832, loin du régime des dédoublements, plongée dans le régime chaotique, mais très proche de la transition intermittente. La courbe *presque* touche la ligne fixe $x_{n+1} = x_n$. L'amplification de la region centrala, $x \approx 0.5$, où la courbe est proche de la droite, est dessinée à droite. Nous voyons un « couloir », où le système peut rester un temps relativement long avant de s'échapper, et chercher un autre bassin d'attraction.

Le but de cet exercice était de montrer qu'un raisonnement qualitatif, géométrique, peut *expliquer les mathématiques* (non pas la « physiologie », bien sûr, un comportement assimilable à l'épilepsie, présent aussi dans quelques situations turbulentes. Un raisonnement probabiliste, ensemble avec les conditions d'analyticité des courbes permet d'évaluer le temps moyen d'un régime méta-stable, en fonction de la distance entre le paramètre de contrôle et le point critique, ce

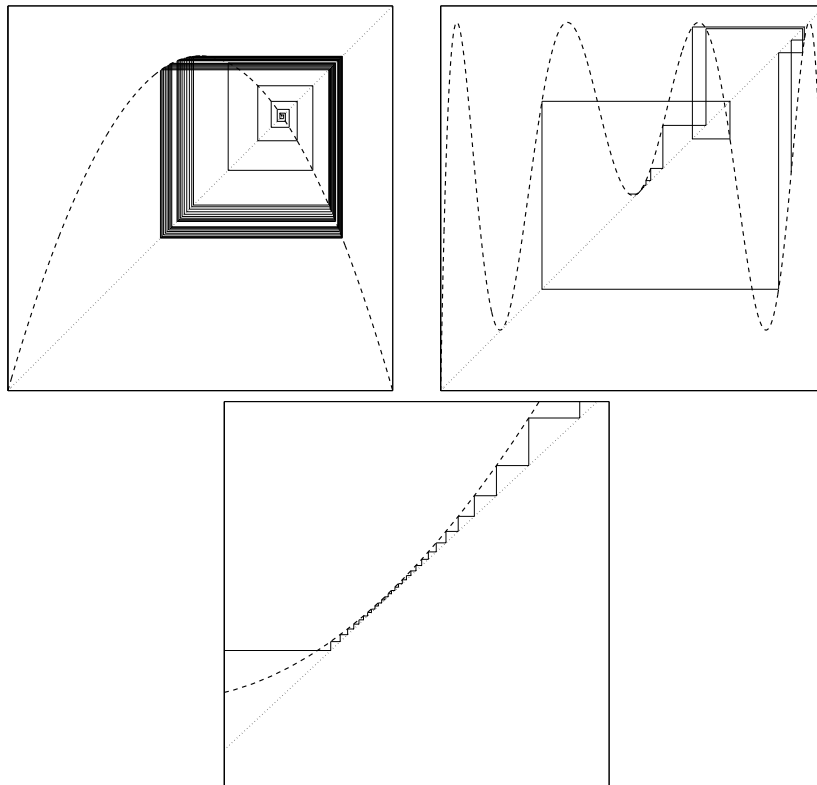


FIG. 10 – *Instabilité intermittente*

qui est complètement indépendant des détails fonctionnels de la dynamique du processus.

L'**universalité** des transitions chaotiques nous a également enseigné que les raisonnements topologiques, qualitatifs, sont très importants dans ce domaine. La philosophie propagée par Thom et Zeeman reste vivante. Cependant, il faudrait combiner le raisonnement topologique avec la statistique et la théorie des probabilités, ce qui pour le géomètre René Thom n'était jamais intéressant...

6 Conclusions

La création d'un cadre conceptuel général est toujours dangereux, et Thom lui-même se posait la question si TC ne peut s'effondrer dans la conscience de la société, comme auparavant la Cybernétique [11]... Cependant, tandis que cette dernière grâce à sa généralité conceptuelle, s'est tout simplement désintégrée, en se subdivisant en des nombreuses branches de l'Informatique, de la théorie des systèmes, etc., la TC était un cadre mathématique assez homogène – un secteur de la théorie des singularités topologiques, bifurcations, etc. Ce qui était général dans TC était l'ambition de décrire la plupart des transitions abruptes dans le

monde physique, économique, etc.

Mais cette ambition n'était que partiellement justifiée, et la TC a été objet des virulents attaques, par ex. [12]. Dans quelques milieux économiques toute référence à Thom était considérée comme pseudo-scientifique. Nous ne sommes pas intéressés par ces controverses. Ce qui a été important – dans nos yeux – pour la théorie des systèmes dynamiques en toute indépendance des modèles appliqués, parfois tirés par les cheveux, est le fait que la TC se réduisait aux modèles qui donnaient des prévisions quantitatives erronées dans la physique, et ainsi Thom a perdu le milieu de supporteurs dont le poids aurait pu être important.

Là, où la théorie était formellement correcte, la théorie des ondes de choc, et autres systèmes classiques (non-statistiques), les singularités étaient connues, on avait besoin de calculs, un peu moins de classification.

Dans les années '70 la théorie du chaos a « explosé » et l'attention des scientifiques s'est déviée vers d'autres types d'attracteurs et de singularités. Soulignons cependant que l'importance de la topologie, des raisonnements qualitatifs concernant la stabilité des configurations, est devenue énorme. Les ondes solitaires, les instantons dans la théorie des particules élémentaires, les tourbillons dans le liquide superfluide, etc. – tout ceci jusqu'aujourd'hui nécessite l'usage du raisonnement topologique, car ce sont des entités *stables par rapport à des petites perturbations*. Les travaux dans cette direction continuent. Les ouvrages [9, 10], qui contiennent la classification topologique des attracteurs étranges, ont été sans doute inspirés par la vision de Thom (citations de Thom et de Zeeman...), même si les outils et le contexte sont différents.

René Thom a fait sa théorie un peu trop tard, ou un peu trop tôt, et il n'a pu garder le contact avec les physiciens et les chimistes, pour qui les singularités, les bifurcations, etc. sont le pain quotidien. Sauf quelques travaux un peu oubliés, ils n'ont pas exploité la TC. Cependant, la théorie de Thom reste respectée comme un bon morceau de mathématiques, une vision intéressante qui avait une excellente chance de montrer aux biologistes, aux psychologues, aux économistes, etc., que la connaissance de mathématiques théoriques et une certaine discipline méthodologique donnent aux scientifiques des outils de prédiction/explication des phénomènes discontinus, trop souvent formulés de manière doctrinale et spéculative. Bref, nous pensons que pour les physiciens la Théorie des Catastrophes est une très jolie fleur au milieu d'une grande et sombre forêt...

Malheureusement, les références mathématiques dans les sciences humaines parfois n'ont rien à avoir avec la discipline méthodologique, et provoquent des réactions comme celle de Sokal [13], dont le but était de ridiculiser l'abus de « scientisme » dans les textes philosophiques, psychologiques, des sciences du langage, etc. (surtout français). Nous pouvons conclure que l'approche purement

qualitative, même si souvent inéluctable, est trop facile à abuser. Nous regrettons de constater que les références à Thom dans plusieurs articles de ce genre sont pire qu'inutiles, sont scandaleusement abusives, et ce grand mathématicien n'a jamais mérité cela.

Références

- [1] T. Poston, I. Stewart, *Catastrophe Theory and its Applications*, Pitman, London, (1978).
- [2] René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Interédition, Paris, (1977).
- [3] René Thom, *Esquisse d'une sémiophysique : Physique aristotélicienne et théorie des catastrophes*, Interédition, Paris, (1989).
- [4] E. C. Zeeman, *Catastrophe Theory*, Addison-Wesley, Reading, (1977).
- [5] E. C. Zeeman, *Catastrophe theory. Laudatio for Professor R. Thom*, Structural stability in physics (Proc. Internat. Symposia Appl. Catastrophe Theory and Topological Concepts in Phys., (1978), Springer, (1979).
- [6] H. Whitney, 1955. *Mappings of the Plane into the Plane*, *Annals of Mathematics* **62**:3, Second Series, pp. 374–410, (1955).
- [7] A.I. Mees, *The Revival of Cities in Medieval Europe*, *Regional Science and Urban Economics* **5**:4, pp. 403–425, (1977).
- [8] R.M. May, *Nature* **261**, p. 459, (1976).
- [9] R. Gilmore, M. Lefranc, *The Topology of Chaos: Alice in Stretch and Squeezeland*, Wiley, (2002).
- [10] R. Gilmore, *Topological analysis of chaotic dynamical systems*, *Rev. Mod. Phys.* **70**, pp. 1455–1530, (1998).
- [11] D. Aubin, 2001. *From Catastrophe to Chaos: The Modeling Practices of Applied Topologists*, in: *Changing Images in Mathematics: From the French Revolution to the New Millennium*. Routledge, London, pp. 255–279, (2001).
- [12] H. J. Sussman, R. S. Zahler, *Catastrophe theory as applied to the social and biological sciences*, *Synthèse*, **37**, pp. 117–216, (1978).
- [13] A. Sokal, *Transgressing the Boundaries. Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*, *Social Texts*, **46**, pp. 217 – 252, (1996). Voir aussi le site www.math.ohio-state.edu/~fiedorow/psych.html .



Apprendre à voir les catastrophes :

Innovier dans les représentations pour se représenter ce qui ne l'est pas encore

Sylvie Lardon *, Patrick Moquay **, Yves Poss ***

* INRA & ENGREF Pop'Ter, UMR Métafort Clermont-Ferrand

** Cemagref ADER, Bordeaux

*** ENGREF Pop'Ter, UMR Métafort Clermont-Ferrand

lardon@engref.fr,

Patrick.Moquay@bordeaux.cemagref.fr

Poss@engref.fr

Résumé

Pour faire face aux catastrophes, anticiper les ruptures, s'adapter aux discontinuités, il importe de savoir regarder ailleurs, pour cerner des faits qui n'existent pas encore à nos yeux, car pas encore nommés ou représentés. Nous raisonnons souvent sur de grandes tendances, en restant dans une même logique. Nous sommes peu habitués à réagir à des modifications subites, imprévisibles, qui sortent de notre cadre habituel.

Or, il existe des signes d'une « catastrophe » à venir, avant qu'elle ne soit collectivement formulée. L'identifier assez tôt pour pouvoir s'y adapter au mieux nécessite de se mettre en situation de percevoir ce qu'on ne voit pas encore. Cet apprentissage peut passer par des pratiques très en rupture avec nos modes de pensée habituels. Il nous faut pour cela rechercher ailleurs que dans nos champs de compétence, en mobilisant par exemple les domaines artistique ou littéraire, pour appréhender ce qui pourrait venir, pour trouver des fils d'Ariane aptes à nous diriger dans les incertitudes de l'avenir, pour donner à voir ce qui ne l'est pas encore.

Nous illustrons nos propos sur des questions d'aménagement du territoire, en distinguant plusieurs situations : (i) on ne change pas collectivement de comportement face à un phénomène déjà repéré, comme le changement climatique pour l'aménagement forestier, (ii) on ne voit pas le changement, et on ne repère pas la fin d'un processus, pourtant inscrite dans sa dynamique même, comme dans les événements politiques amenant à des conflits urbains ou (iii), on n'est pas en mesure de prévoir les changements, mais on peut les provoquer, comme dans la conception de projets de territoire. Nous proposons quelques pistes de réflexion pour anticiper les catastrophes.

1 Une catastrophe n'est pas toujours catastrophique !

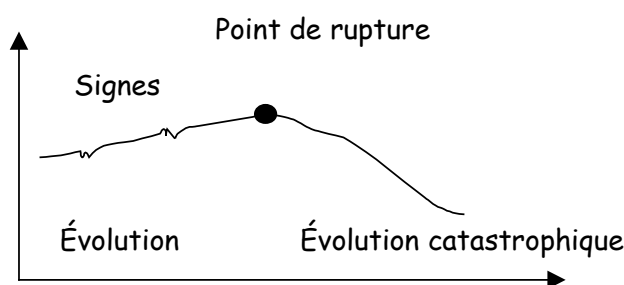
Pour faire face aux catastrophes¹, anticiper les ruptures, s'adapter aux discontinuités, il importe de savoir regarder ailleurs, pour cerner des faits qui n'existent pas encore à nos yeux, car pas encore nommés ou représentés.

¹ Du latin *catastrophā*, issu du grec *katastrophē*, bouleversement, avec première expression du mot dans Rabelais, *Pantagruel*, 1552.

Nous pensons qu'il est possible, par analogie avec d'autres domaines, artistique ou littéraire par exemple, d'apprendre à accepter de voir des signes d'une catastrophe à venir.

Nous entendons par catastrophe (Thom, 1977) toute rupture dans un phénomène apparemment continu², sans jugement de valeur sur les conséquences induites par cette discontinuité. Ce « bouleversement », pour revenir à l'origine étymologique du mot, peut être une catastrophe catastrophique, au sens médiatique du terme : tsunami, avalanche, accident de la route, crise des banlieues, ... tout autant qu'un changement bénéfique : naissance, coup de foudre, réconciliation, ...

Ce qui nous intéresse dans la catastrophe, c'est le changement de régime qui advient au moment de la rupture, la production d'un point d'inflexion, dans une courbe d'évolution, qui semble ne pas pouvoir s'expliquer. Pourtant, les premiers signes ne nous permettent-ils pas de deviner ce que sera le monde qui naîtra de la catastrophe ? Dans certains cas, un phénomène ne contient-il pas en lui-même les prémisses de la catastrophe à venir ? Ou encore, comment apprécier, quand seules les prémisses sont perceptibles, et à peine, quel sera le phénomène, quels bouleversements en résulteront et quel nouveau monde s'instaurera ainsi ? Il s'agit d'introduire une rupture - une catastrophe - dans notre schéma de pensée pour nous permettre de penser les



catastrophes !

Figure 1 : Courbe d'évolution et point de rupture

Sans croire pour autant en un avenir prédestiné, nous pensons que le contexte d'un phénomène peut contenir des signes précurseurs, susceptibles d'être perçus et compris. Des événements, qui peuvent paraître apparemment sans liens, ouvrent sur des possibles non encore advenus, qu'il nous faut apprendre à déceler et interpréter, donc à imaginer.

² Dans la Théorie des catastrophes de R. Thom (1977), celles-ci sont *des situations physiques où un conflit entraîne des modifications analysables de la stabilité morphologique du sujet*. Dans *Modèles mathématiques de la morphogenèse*, IV, p.71 : « Par catastrophe élémentaire, on désigne toute situation de conflit entre régimes locaux, minima du potentiel, qui peut se produire de manière stable dans l'espace temps à quatre dimensions. Par abus de langage, on désignera parfois sous le nom de catastrophe la morphologie qu'elle fait apparaître.

2 Position du problème

Poser le problème de l'anticipation des catastrophes exige de caractériser la prévisibilité de celles-ci. Nous proposons de définir trois états différents de la prévisibilité des catastrophes, qui suggèrent de se préparer ou de réagir au changement de manières différentes.

2.1 Des catastrophes prévues, imprévues-prévisibles, imprévisibles

Nous distinguerons trois grands types de catastrophes :

- **Les catastrophes prévues** : elles sont annoncées, les signes en sont perceptibles et perçus, au moins par quelques uns, qui les disent, ou non, et pour lesquelles on tire ou non les conséquences. En effet une catastrophe annoncée par quelques uns peut être refusée par la plupart.

Un exemple tout à fait contemporain d'une telle catastrophe annoncée est le changement climatique global, que d'aucuns se refusent encore à accepter, malgré les signaux lancés. Cette anticipation n'est pas acceptée, soit parce qu'elle n'est pas intégrée à la raison, parce que la pensée consciente refuse de l'accepter, soit parce que l'on refuse de tirer des conclusions qui en découleraient, qui nous imposeraient des décisions, ou des comportements, ou des changements perçus comme inacceptables, douloureux ou pour le moins désagréables. Dans d'autres situations, c'est parce que le changement identifié dérange et que le court terme prime sur le long terme (on verra plus tard, on laissera à d'autres le soin de régler le problème).

Dans ces cas de figure, il est possible d'identifier des stratégies de réponse ou d'adaptation. On pourra réagir, par exemple par des évacuations préventives dans le cas de certains phénomènes naturels, ou encore par des politiques de reconversion face à des crises industrielles. On peut ainsi accompagner le changement, voire même l'accélérer si cela paraît opportun.

- **Les catastrophes imprévues-prévisibles** : Certaines catastrophes pourraient être visibles si l'on aiguisait notre regard, notre capacité d'observation. Il y a des signes avant-coureurs, matériels, que l'on pourrait se donner les moyens de voir. Ces signes se placent sur le même registre que celui où se produira le changement. Une analyse approfondie du phénomène devrait attirer notre attention sur le bouleversement prévisible, soit qu'il soit inscrit dans la dynamique même du phénomène, soit que certaines dimensions – éventuellement marginales – du phénomène préfigurent la catastrophe. Le problème est alors de savoir comment réagir.

Ainsi, le renversement des dynamiques d'exode rural (par inversion progressive mais généralisée des tendances démographiques affectant les espaces urbain et rural), perçu dans les années 80 par B. Kaiser (1992), est devenu flagrant dans les recensements de population des années 90. Les signes avant-coureurs de ce renversement, et notamment ses facteurs

sociétaux (évolutions du foncier, aspirations à l'espace et au calme...) étaient déjà visibles sur le terrain, si tant est que l'on se donnait la peine d'analyser les dynamiques micro-locales. De même, les démographes peuvent aujourd'hui souligner les incertitudes qui pèsent sur le devenir des quartiers pavillonnaires de banlieue, dès lors que les générations qui les ont construits s'avancent dans l'âge de la retraite, tandis que leurs descendants sont pour la plupart partis s'installer dans d'autres espaces (centres villes pour les plus jeunes et les plus riches, espaces péri-urbains de plus en plus lointains pour ceux qui le peuvent, ceux qui restent sur place le faisant le plus souvent par défaut). La difficulté la plus grande, ici, tient au caractère non linéaire des phénomènes et aux causalités multiples et enchevêtrées qui sont à l'œuvre dans leur évolution. Par exemple, quand les vikings sont arrivés en Islande, ils ont reproduit, dans un « paysage » analogue à ceux qu'ils connaissaient, leurs pratiques d'élevage. Raisonant par analogie, ils n'ont pas discerné une différence pédologique fondamentale, et la fragilité des sols volcaniques à la surexploitation. Cela a provoqué une reprise brutale de l'érosion, et la stérilité, qui se perpétue encore, sur les pentes des moyennes montagnes (Diamond, 2006). Mais si le changement prévisible est finalement repéré et analysé (et par conséquent prévu), alors des stratégies d'adaptation et de réponse peuvent être mises en œuvre, comme dans le cas précédent.

- **Les catastrophes imprévisibles** : Dans certains cas, les signes matériels n'existent pas ou pas encore, rien ne transparaît dans le registre du phénomène lui-même. Cependant, on peut se demander si on ne pourrait pas trouver, dans d'autres registres, par analogie, des signes avant-coureurs qui nous mettent sur la voie d'événements imprévisibles ?

Par exemple, peut-on trouver dans la littérature, dans l'art, dans la fiction, des idées pour mieux nous positionner face à l'incertitude ?

Avant d'explorer ces possibilités, nous nous proposons d'examiner deux cas de catastrophes prévisibles (mais pas nécessairement prévues), afin d'illustrer les problèmes posés pour l'action et d'en tirer une typologie des modes de résolution.

2.2 Une catastrophe annoncée, le changement climatique

La question du changement climatique acquiert une audience croissante dans les médias. Bien que toujours controversée, la responsabilité des activités humaines dans le changement climatique en cours fait désormais l'objet d'un relatif consensus scientifique³ (Jacques et Le Treut, 2004 ; Bruce, Lee, Haites,

³ Dans le récent documentaire « Une vérité qui dérange », Al Gore souligne ainsi qu'une analyse d'un échantillon aléatoire (10% de l'ensemble des articles recensés) des articles scientifiques traitant de la question du changement climatique a témoigné de l'unanimité des auteurs quant à la reconnaissance d'une responsabilité des gaz à effet de serre dans le réchauffement en cours, tandis que la même analyse effectuée sur la presse non scientifique donnait 53% d'articles contestant la thèse de l'origine anthropique du réchauffement.

1997). Que les changements en cours soient ou non renforcés par les conséquences des activités humaines, nul ne conteste plus la tendance au réchauffement global qui caractérise les évolutions climatiques des dernières décennies, avec des effets très contrastés selon les régions. En tout état de cause, des perturbations majeures du climat, et par voie de conséquence des écosystèmes, sont déjà documentées : fonte rapide des glaciers sur tous les continents (des Alpes aux Andes en passant par le Groenland (Krabill et al. 2004), fréquence et intensité accrues des épisodes climatiques extrêmes (canicules, tempêtes (Emmanuel 2005), inondations ou sécheresses, selon les lieux), migrations de certaines espèces animales ou végétales attestant d'une modification de leurs habitats...

Tandis que les premiers chercheurs à reprendre l'hypothèse de Svente Arrhenius, à la fin du XIXe siècle, d'un réchauffement climatique lié à l'utilisation massive du charbon se manifestaient dès les années 60, les travaux scientifiques s'accumulent depuis les années 90, avec notamment la création du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et, en France, la mise en place de la mission interministérielle sur l'effet de serre. Un certain nombre de personnalités médiatiques, reprennent le thème du changement climatique, pour en souligner les effets potentiellement dévastateurs et appeler à des changements majeurs dans nos comportements, afin de limiter la contribution anthropique à cette évolution. D'autres, considérant qu'il est impossible ou improbable de limiter les changements en cours, insistent avant tout sur la prévention des désastres prévisibles et l'adaptation des communautés humaines.

Mais le débat sur le changement climatique témoigne surtout de l'inertie des représentations et des comportements, et d'une forte résistance de nombreux décideurs à toute remise en cause des pratiques (nationales, sectorielles, communautaires...) qui sont en cause dans le réchauffement climatique ou seront affectées par lui. Ainsi, alors que les premiers effets du réchauffement sur les écosystèmes sont déjà connus, notamment en termes de déplacement des limites des biotopes des différentes espèces, les pratiques forestières viennent d'être redéfinies, pour les forêts publiques françaises, de manière à intégrer ces données et à se préparer aux conditions climatiques prévisibles, à l'échelle de l'exploitation forestière – soit plusieurs décennies (Legay – Mortier, 2005), et sont seulement envisagées par les forestiers publics américains (Joyce L., 2006).

Comment expliquer cette formidable capacité à refuser collectivement le prévisible ? Ou plus exactement, comment expliquer que les informations concordantes, de plus en plus nombreuses, et le consensus croissant de la communauté scientifique, même si les médias leur font une place, trouvent si peu d'écho auprès des décideurs, qui soit refusent d'en tenir compte, soit peinent à proposer des adaptations ou des réorientations dans leurs actions ? Les explications peuvent être de plusieurs ordres. Les plus évidentes tiennent à l'ampleur des intérêts qui seraient (en première analyse du moins) menacés par les changements de pratiques attendus. Ces intérêts pourraient

éventuellement trouver avantage à intégrer la perspective du changement climatique dans leurs choix, par exemple en développant des technologies novatrices ou en investissant sur des marchés alternatifs⁴. La difficulté à franchir ce pas semble donc renvoyer à d'autres facteurs explicatifs, dont certains d'ordre psychologique ou psycho-social.

Toute organisation est héritière de sa propre histoire, des conditions qui l'ont vu naître et se développer, des logiques et des trajectoires de ce développement ; elle est pour partie prisonnière de cet héritage. Les phénomènes de dépendance au sentier caractérisent ces formes de fermeture des options résultant de l'histoire (institutionnelle, organisationnelle...), des routines et des représentations, mais aussi des compétences et spécialisations qui en résultent, rendant plus facile et plus rentable la continuité dans l'action, et inversement plus coûteux et plus risqué le changement. Ce cadrage des comportements, qui vient fermer relativement les options envisageables par les acteurs, peut renvoyer à des fondements socio-anthropologiques. Berger et Luckmann (1986), par exemple, insistent sur l'importance des phénomènes de répétition et d'accoutumance, qui sont à l'origine des processus d'institutionnalisation, eux-mêmes constitutifs de toute vie sociale.

Le refus d'envisager réellement des options alternatives aux routines et aux pratiques établies peut également renvoyer à la structure et à la construction des intérêts des acteurs. Notons que le coût de l'inaction est négligé, et les coûts futurs sont sous-estimés. Autrement dit, la manière collective d'appréhender le futur rend l'avenir marginal dans les arbitrages présents. De plus, un comportement nouveau comporte une part de risque que les acteurs seront plus ou moins enclins à accepter. En définitive, un examen de la situation à courte vue – et dénué de tout altruisme – peut faire apparaître le *statu quo* comme préférable au changement pour certains acteurs, du point de vue de leurs intérêts propres⁵, quand bien même ce *statu quo* constituerait une menace pour la société dans son ensemble. C'est bien le problème du changement climatique, qui du point de vue de la théorie des jeux s'apparente à un banal dilemme du prisonnier.

Enfin, dans le cas du changement climatique, s'y ajoutent certaines représentations de la nature et de l'histoire, selon lesquelles l'homme est au milieu de forces qui le dépassent et ne saurait prétendre se substituer à ces forces (qu'elles soient de nature divine ou précisément « naturelles »). Une autre vision, de nature optimiste, considère qu'un équilibre spontané finit toujours par s'instaurer ; si les crises antérieures ont pu être surmontées, celle liée au changement climatique ne fera pas exception... Ainsi, l'humanité a pu globalement s'adapter à l'explosion démographique du dernier siècle. Sauf à

⁴ Gore A., 2006, *An inconvenient truth*, Paperback.

⁵ On peut ainsi analyser le comportement conservateur comme un choix rationnel, tant que le changement apparaît défavorable dans l'arbitrage entre les différentes options. Cependant « Les membres d'une organisation ... sont tout à fait prêts à changer très rapidement s'ils sont capables de trouver leur intérêt dans les jeux qu'on leur propose. » (Crozier et Friedberg, 1977, p. 386)

considérer qu'il existe un seuil de perturbation au-delà duquel les conséquences du changement climatique deviennent incommensurables (ce qui est précisément l'inquiétude de certains), l'humanité saurait s'adapter à ce nouveau défi... Mais à quel prix ?

Les conséquences des choix (ou, en l'occurrence, des non-choix) seront inégalement répartis et largement reportés sur les victimes des aléas climatiques (elles-mêmes définies selon leurs zones géographiques de résidence et, à l'intérieur de celles-ci, selon les niveaux de vie relatifs de leurs groupes d'appartenance). La capacité à se prémunir (relativement) des conséquences du changement climatique est probablement corrélée à la situation sociale des individus et des groupes, et celle-ci est elle-même largement corrélée à leur accès aux centres de décision. Autrement dit, au niveau global, ceux qui ont le pouvoir de changer les choses sont ceux qui en ressentent le moins l'urgence, et ceux qui sont les plus menacés sont ceux qui ont les plus faibles moyens d'action.

Au total, on se trouve devant une catastrophe largement documentée, et désormais largement médiatisée (Jaudet, 2002), mais qui ne suscite pas de réactions à la hauteur des bouleversements annoncés et des enjeux qu'ils posent pour les sociétés humaines. L'inaction relative renvoie pour partie au refus de sacrifices immédiats, dont la nécessité est finalement rejetée. Cela revient à nier, contre toute évidence, l'ampleur des changements en cours et pourrait exiger ultérieurement des efforts encore plus douloureux. De cet exemple, il ressort que la détention d'informations convergentes et suffisamment fiables (même si certaines sont encore controversées) sur une catastrophe prévisible et annoncée, dont les conséquences annoncées sont majeures et potentiellement tragiques, est insuffisante pour provoquer l'action – la prévention ou l'adaptation à la catastrophe.

2.3 Des catastrophes imprévues, les événements politiques

Les événements politiques brutaux ou inattendus, qu'il s'agisse de flambées de violence (des jacqueries de l'Ancien Régime aux émeutes urbaines contemporaines) ou de certains coups de théâtre électoraux (que l'on pense au choc politique du 21 avril 2002) permettent d'illustrer d'autres dynamiques. Après coup, ces événements peuvent être expliqués, c'est-à-dire reliés en raison à un ensemble de facteurs appréhendés comme ayant produit le bouleversement (des valeurs, du régime, de l'ordre public, des préférences collectives) ; ils s'imposent dès lors, mais *a posteriori*, comme largement prévisibles, voire inéluctables. Pour autant, sur le moment, la plupart des observateurs ne les anticipent pas, car ils n'en perçoivent pas les éléments constitutifs, n'en tirent pas les conséquences ou n'osent les envisager.

On se souvient ainsi de l'éditorial du Monde du 15 mars 1968, intitulé « La France s'ennuie... », à quelques semaines de mai 68... Ce dernier exemple illustre toute l'ambiguïté de ce genre de constat où, si la prévision

n'est pas formulée, ses éléments constitutifs sont néanmoins identifiés. Car si Pierre Viansson-Ponté soulignait dans son éditorial l'absence de réelle agitation dans la France gaulliste du printemps 1968, c'était pour partie pour s'en étonner, au vu de l'effervescence étudiante qui gagnait alors de nombreux autres pays de la planète, et pour railler les seules revendications étudiantes audibles à ce moment-là en France. Celles-ci, pourtant, pour dérisoires qu'elles soient, feront tremplin aux événements de mai 1968... Mais qui croirait à l'enchaînement qui en résultera ? Cet enchaînement est de l'ordre du possible (et pour quelques uns seulement), pas encore du probable. Effectivement, seuls quelques Cassandre, que l'on n'entend guère, identifient les germes potentiels d'événements brutaux ou révolutionnaires.

Au total, ces catastrophes étaient bien prévisibles, puisque des signes précurseurs étaient repérables et que certains les ont effectivement envisagées : cependant, dans la situation qui précède la catastrophe, cette conscience est bien trop marginale pour pouvoir témoigner d'une réelle sensibilisation des acteurs concernés au changement en cours. L'immense majorité des responsables reste aveugle à un bouleversement qui leur est impensable, car rien dans leur système de pensée ne les y prépare.

Par ailleurs, si l'analyse a posteriori peut reconstituer la chaîne d'événements successifs et combinés qui mène subitement à un retournement de situation, elle ne peut pas pour autant établir que ce cheminement était inéluctable⁶. La « nécessité » est toujours rétrospective, elle n'est jamais prospective. De multiples alternatives ont pu – ont du – émerger et finalement disparaître, sans pour autant que l'on puisse affirmer qu'elles devaient disparaître ou ne pouvaient pas se concrétiser.

En réalité, les catastrophes politiques apparaissent comme le produit d'une série d'événements contingents, ou plutôt d'une combinaison de ces événements, dont la survenue et l'effet combiné sont largement imprévisibles, même si chaque événement isolé a sa part de prédictibilité et si certains effets potentiels peuvent être pour partie anticipés. Ainsi, les catastrophes politiques reflètent de brusques inflexions dans des tendances qui sont pour certaines déjà à l'œuvre, ou encore l'activation de potentialités qui sont certes déjà présentes mais qui restent conditionnelles. Un terreau est présent, établi, prêt à donner ses fruits : le contexte politique, social, économique et/ou idéologique rend certaines catégories sensibles, prêtes à la mobilisation, réactives. Des événements contingents, incidents, maladroites, provocations, effets d'annonce, activent subitement un potentiel qui n'était que latent. Si les circonstances s'y prêtent, une réaction en chaîne s'établit, les groupes concernés se mettant en mouvement, réagissant aux événements, bousculant l'ordre établi ou le cours des choses (Dobry 1992). Ces réactions elles-mêmes ne sont pas univoques, différents groupes réagissant de manière opposée : ainsi le mouvement de mai appelle le sursaut gaulliste de juin...

⁶ Ce raisonnement est directement inspiré de N. Elias (1991, chapitre VI).

La capacité de maîtrise des catastrophes politiques par tel ou tel acteur est faible. Ceux qui veulent éviter tout bouleversement peuvent essayer de prévenir (ou d'orienter) les crises par l'intervention préalable et de long cours sur le contexte. Ceux qui veulent susciter et précipiter la crise ont bien plus de moyens à leur disposition (la provocation, même purement discursive, étant le moyen le plus abordable) ; pour autant, leur capacité de maîtrise est elle aussi quasiment nulle, la catastrophe suivant ensuite son cours autonome, avec de fréquents effets de retour ou de restauration partielle, après amortissement du changement : de l'Ancien Régime à l'Empire puis à la Monarchie de juillet ; ou, comme on vient de l'évoquer, de mai 68 à la république pompidolienne...

Si la catastrophe n'est jamais certaine, si aucun acteur n'en a en fait la maîtrise, les conditions de son émergence ne sont pas hors d'atteinte de l'action organisée. L'action progressive de tels ou tels groupes, ou encore la diffusion de valeurs, de modèles sociétaux, de principes moraux, ou tout simplement la diffusion d'informations factuelles ciblées, peuvent modifier le contexte et notamment affecter la sensibilité et la réceptivité des acteurs face au changement. Une somme de petits événements modifie une tendance, et rend en définitive possible un changement de comportement qui initialement n'était guère envisageable. Cette progressive prise de conscience peut être jugée lente, aisément réversible ou ne produisant que des changements de comportements marginaux et en tout cas insuffisants. Ces changements graduels, faiblement perceptibles, créent les conditions potentielles de changements de comportement plus drastiques (plus vertueux ?), sans pour autant rendre ces derniers inéluctables.

De ce rapide examen, on peut retirer deux idées, ou deux principes. D'une part, la prévisibilité des catastrophes politiques est faible, mais pas inexistante ; on peut essayer d'identifier les changements lents qui affectent les groupes sociaux et les institutions, et qui formeront le terreau d'un éventuel bouleversement radical. L'examen minutieux du contexte, dans ses différentes dimensions (institutionnelle, économique, idéologique...) peut nous mettre sur la voie des potentiels qu'il révèle, notamment des potentiels critiques qui seraient les premiers activés en cas de rupture (parce que les groupes concernés sont particulièrement affectés par le changement ou sensibilisés aux enjeux). D'autre part, les signes avant-coureurs susceptibles d'alerter sur la possibilité de la catastrophe se situent sur le même registre que les changements qui vont la caractériser, et dans une large mesure également que les effets qui en découleront. Aussi, il n'est point nécessaire de chercher des signes ou des indices de la catastrophe dans d'autres champs que le champ politique et les champs connexes (social, économique, idéologique...). L'observation attentive des phénomènes politiques offre des clés pour

anticiper les divers bouleversements qui pourraient s'y manifester. Encore faut-il apprendre à y regarder de près, et savoir les apercevoir⁷.

3 Modes classiques d'anticipation des catastrophes

Quand une catastrophe advient, il est nécessaire de réagir. Des solutions existent lorsque les catastrophes sont connues. Ainsi, il est possible de provoquer une avalanche par des moyens techniques, pour éviter un déclenchement par le passage de skieurs ou pour détourner la coulée d'un couloir bâti. A proximité des volcans, quand il y a possibilité d'éruption, la précaution est d'imposer le désert, comme dans les parcs entourant les grands volcans encore faiblement actifs, sur la côte de l'océan Pacifique, au nord ouest des États-Unis d'Amérique (Mount Saint Helen, Mount Rainier, Mount Hood, Mount Adams, Mount Baker). Mais lorsque les catastrophes ne sont pas encore connues, il faut pouvoir les anticiper.

Trois grands types d'approches sont possibles pour comprendre quelles pourraient être les catastrophes à venir. Ces trois approches, différemment positionnées dans le temps du processus qu'est la catastrophe, mettent en évidence la nécessité d'anticiper ou de réagir, mais d'abord et surtout, d'analyser et d'interpréter des formes vécues du passé, de l'avenir et du présent.

3.1 Analyser des faits historiques

Il s'agit de scruter le passé, pour mieux comprendre les changements de régime dans les courbes d'évolution advenues. Autrement dit, une analyse rétrospective vise ici à dégager les traits structurels des phénomènes considérés, les facteurs qui en expliquent le cours (et particulièrement les changements brusques ou retournements). L'analyse des faits historiques vise d'abord à caractériser les grandes tendances et les modalités de changement. Mais cette analyse peut aussi être menée pour en tirer des conjectures sur les évolutions futures possibles. Celles-ci prennent alors la forme de prolongements de tendances, ou encore de ruptures probables, si l'on a décelé dans le phénomène étudié ou son contexte des éléments susceptibles de provoquer un changement de régime.

Comme on l'a souligné précédemment, à propos des catastrophes politiques, l'analyse rétrospective est généralement relativement facile. On dispose d'une information d'autant plus abondante que les faits sont relativement récents et que des systèmes de collecte organisés ont été mis en place (statistiques, médias, etc.). De plus, le regard *a posteriori* peut déceler dans les faits une cohérence, qui n'apparaît pas encore aux contemporains du phénomène.

⁷ Comme dans l'ouvrage de sciences fiction d'isaac Asimov, « La mère des mondes » où un maître en « psycho histoire » anticipe, et prépare l'avenir, en sachant éviter pour la Terre une « catastrophe » trop probable.

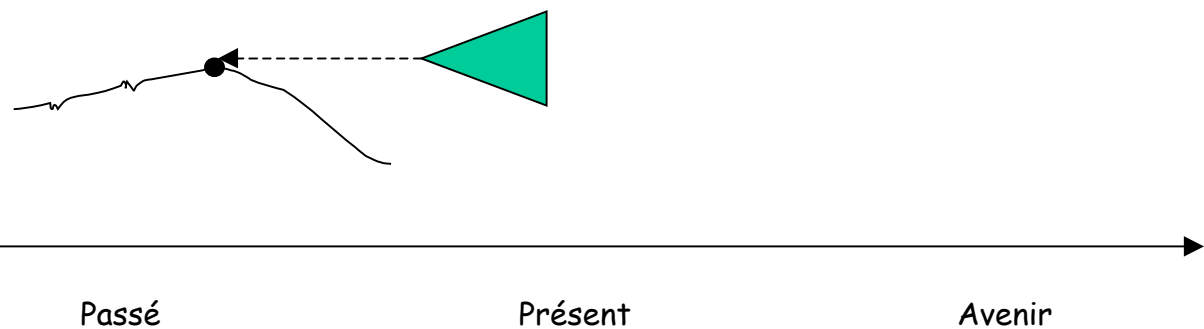


Figure 2 : Regarder le passé pour comprendre le processus

Ces derniers sont submergés par le flot des faits, des informations, des interprétations possibles, quand l'observateur rétrospectif peut jouir d'un regard plus distancié et surtout, à tort ou à raison, s'appuyer sur la décantation progressive des faits, la production et la diffusion d'interprétations qui focalisent le regard sur les quelques facteurs considérés finalement comme pertinents. Les signes qui restaient invisibles aux contemporains deviennent évidents après coup (Diamond, 2006). L'analyse rétrospective peut s'appuyer sur ces évidences, même si elle gagne à ne pas s'y enfermer.

Cette facilité (apparente et très relative) de l'interprétation a posteriori des phénomènes historiques n'amoindrit pas la difficulté de l'entreprise d'anticipation des évolutions ultérieures. Le caractère approximatif et aléatoire des conjectures n'est qu'amoindri par la connaissance des trajectoires passées et des conditions ayant permis à des ruptures de se produire. Cette connaissance historique, si elle donne une base pour la formulation de conjectures, n'est pas suffisante pour échapper à l'incertitude sur l'avenir. Du moins permet-elle d'asseoir l'analyse sur quelques ressorts confirmés, de se raccrocher à des dynamiques documentées, de s'inscrire dans un ordre des choses passées qui rend plausible les évolutions futures envisagées.

3.2 Faire de la prospective stratégique

Il s'agit de regarder l'avenir, pour mieux imaginer les changements de régime possibles dans les courbes d'évolution. Ainsi, l'exercice de prospective stratégique ne vise pas tant à prévoir l'avenir – les auteurs prospectivistes rejettent radicalement cette prétention – qu'à imaginer les différents futurs possibles – « futuribles » selon la formule de Bertrand de Jouvenel – pour mieux s'y préparer. La prospective stratégique a ainsi une double ambition, intellectuelle et managériale, qui la rendent pertinente pour notre perspective d'appréhension et d'adaptation aux catastrophes.

D'un point de vue intellectuel, elle vise à améliorer la connaissance et la conscience des évolutions possibles, mais surtout à ouvrir des perspectives, en dépassant les raisonnements purement tendancieux ou routiniers pour faire émerger des possibilités plus ouvertes et plus riches.

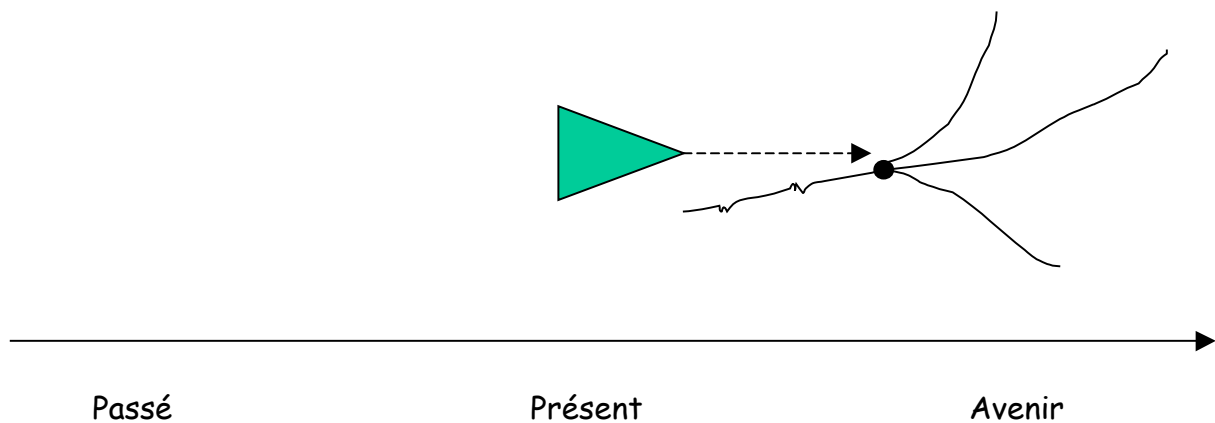


Figure 3 : Regarder le futur pour anticiper le processus

Une prospective réussie doit faire sortir de leur bulle les participants ou les destinataires, en rouvrant des perspectives et en identifiant des opportunités et des marges de manœuvre autres que ce qu'ils avaient initialement à l'esprit. Pour autant, l'exercice doit révéler les contraintes et les limites des marges de manœuvre : certains des futurs envisageables sont en fait impossibles, soit qu'ils reposent sur des conditions incompatibles, soit qu'ils exigent des modifications radicales de processus (ou de comportements) qui ne se modifient que plus lentement. Parmi « les mille sentiers de l'avenir » suggérés par J. Lesourne (1981), le choix est possible, mais il est aussi borné !

D'un point de vue managérial, la prospective stratégique vise à donner une meilleure prise aux participants et/ou aux décideurs sur les processus en cours, en mesurant les aboutissements potentiels, en précisant les objectifs ou les préférences des acteurs et en clarifiant leurs moyens d'action et leurs responsabilités respectifs. De ce fait, la prospective ne peut être appréhendée comme un pur travail scientifique de révélation, mais recèle une dimension intrinsèque d'explicitation voire d'expression des choix politiques.

D'un point de vue méthodologique (Mermet 2003), le raisonnement prospectif pourra procéder soit par back-tracking, partant d'une image future du système étudié pour identifier le cheminement qui pourrait y mener, soit par forecasting, partant d'une appréhension systémique de la situation de départ pour imaginer l'état futur du système qui résultera des dynamiques qui y ont cours. Relativement à nos préoccupations, la première approche revient à poser la catastrophe et à imaginer les trajectoires susceptibles d'y mener (ou de l'éviter) ; la seconde approche vise à identifier les catastrophes susceptibles de survenir sur la base des dynamiques en cours.

Dans la mesure où la réflexion prospective ne produit pas de certitudes, mais des conjectures, les discussions sont au cœur de la démarche et la qualité des débats fait l'intérêt potentiel de l'exercice. L'apport de ces débats peut tenir aussi bien à la convergence des points de vue (par rapprochement et conviction mutuelle des participants) qu'à l'explicitation des divergences (l'intérêt étant ici de poser les alternatives). Une dynamique d'accord peut résulter du débat prospectif, sinon sur les « solutions » ou les actions à engager, du moins sur les facteurs majeurs et leurs différentes hypothèses

d'évolution. Encore faut-il que ces éléments puissent être réellement discutés et posés.

3.3 Observer les dynamiques en cours

Il s'agit d'observer le présent, pour mieux identifier et comprendre les signes des changements de régime en cours. Cette analyse du présent est en définitive au point de convergence des analyses historiques et prospectives. D'une histoire du temps présent, elle tente de retenir l'attention aux structures et aux tendances longues, mais aussi (voire surtout) aux facteurs de rupture et aux potentiels leviers de changement pour le futur.

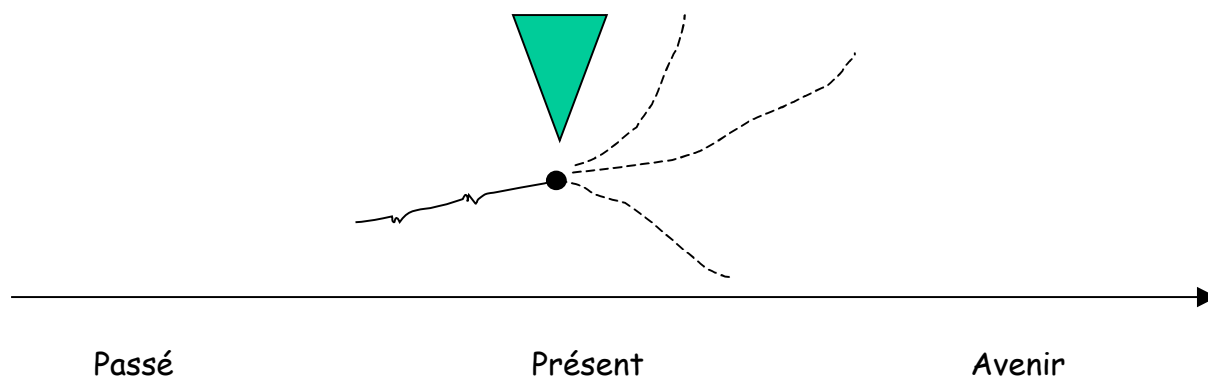


Figure 4 : Observer le présent pour réagir au processus

Cette identification dans la situation contemporaine des dynamiques porteuses de changement correspond à une pratique ancienne. Ainsi, les textes d'anticipation, notamment les fictions, se construisent sur une certaine appréhension de l'état de la société et de son évolution. Cela est particulièrement frappant pour ce qui est de la prise en compte de l'avancement des sciences et techniques. L'imagination d'un Jules Verne reflète les débats de son temps et les hypothèses techniques discutées par certains de ses contemporains. Quand Hergé dessine « Objectif lune », il s'appuie pareillement sur des perspectives techniques dont les moyens sont déjà esquissés par les scientifiques. L'avancée des sciences et techniques et les débats qui les entourent permettent ainsi de présager certaines évolutions. Bien évidemment, l'entreprise de prédiction est risquée, et l'analyse des dynamiques passées ne permettra jamais d'identifier toutes les évolutions à venir. Un exemple probant est celui de l'informatique – ou du moins de l'informatique individuelle – et des technologies modernes de communication (à commencer par les téléphones portables), dont les développements et surtout les effets sociaux n'ont jamais été réellement anticipés. Ainsi, l'ouvrage de Thierry Gaudin (1990), *2100, récit du prochain siècle*, passe sous silence le formidable développement de la communication individuelle (les portables, internet, etc.). Il ne s'agit pas ici de blâmer les auteurs : ils témoignent, à leur corps défendant, qu'il y a moins de vingt ans, ces phénomènes ne paraissaient pas déterminants. L'analyse des développements

de l'électronique, ou des évolutions climatiques, qui aujourd'hui nous mènerait à souligner les prémises des développements récents, n'apparaissait pas encore essentielle. Mais d'autres phénomènes prenaient en revanche déjà un relief présageant de leur importance future ; ainsi, le même ouvrage identifie les questions d'incivilité de la jeunesse (les « sauvageons ») ou encore la pression démographique sur les espaces littoraux, comme des dynamiques appelées à marquer nos sociétés.

L'examen des débats relatifs aux évolutions de nos sociétés permet de tirer quelques enseignements complémentaires. Les débats sont des miroirs grossissants ou déformants. Ils attirent notre attention sur des enjeux particuliers, qui apparaissent dynamiques ou controversés. Là où ça bouge, là où c'est dynamique, c'est d'abord là où s'expriment des points de vue divers. La controverse est le signe d'une richesse d'interprétation. De fait, les points de vue sur les catastrophes peuvent être différents. Ainsi, les agents des pompes funèbres, dans Lucky Luke, se félicitent des perspectives de pendarion, ou encore de l'arrivée des Dalton, qui leur ouvrent des perspectives d'affaires fructueuses... Dans un registre tout aussi noir, l'écrivain et illustrateur Samivel suggérait que la retraite de Russie restait de manière très marquée dans la mémoire des hommes... et des corbeaux, mémoire dont on se doute qu'elle ne retient pas les mêmes traces... Mais si les points de vue sont divers, c'est aussi sans doute que les marges de manœuvre sont multiples. Au total, on peut lire les ruptures, ou les catastrophes, comme une somme algébrique de bénéfiques et de pertes. Elles peuvent être décomposées en polynômes dont certains éléments sont plus importants et d'autres plus faibles. On pourrait donc jouer sur (ou avec ?) l'un des termes et non sur la somme, trouver l'élément le plus efficace ou le plus efficient, et influencer sur la dynamique d'ensemble en actionnant un levier sur une des dimensions seulement du processus.

4 Apprendre à se représenter ce qui ne l'est pas encore

Dans les cas examinés, l'action vis-à-vis de la catastrophe se limitait à une alternative binaire : anticiper (pour s'y préparer) des catastrophes non encore advenues mais prévues, ou réagir à des catastrophes advenues mais qui n'avaient pas été prévues. Nous proposons une troisième voie pour échapper à cette alternative simple. Il s'agit de se positionner différemment dans le temps, en décalage par rapport au processus qui mène à la catastrophe (Dupuy, 2002). Avant, c'est se donner les moyens d'anticiper par l'action, en augmentant notre capacité à réagir aux surprises et en se mettant en posture d'imaginer de nouvelles solutions. Après, c'est réagir par rétro-action, en se mettant en posture de surveillance et en développant notre capacité à adapter au fur et à mesure notre comportement.

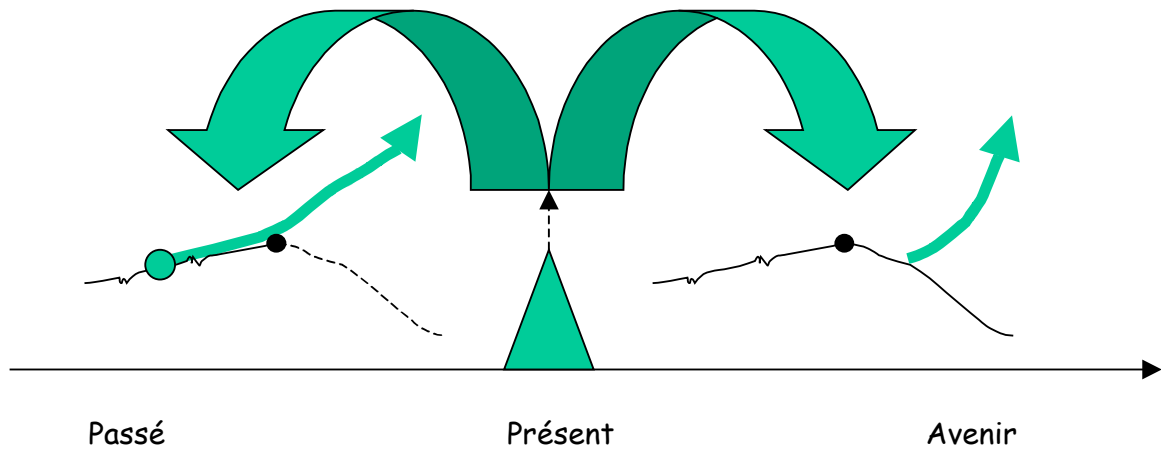


Figure 5 : Anticiper par l'action et réagir par rétro-action

4.1 Accepter de toucher le sensible

Comment apprendre à s'ouvrir l'esprit pour être capable, le moment venu, de s'adapter ? Il faudrait commencer à penser une plus grande diversité d'événements, pour être plus à même de faire face à des imprévus. Cela demande des habiletés différentes : être sensibles aux signes, quand ils existent, pour les voir et être dans un état d'esprit propice à la réaction, quand les formes n'existent pas, pour les représenter. En effet, une fois dites, une fois nommées, une fois représentées, les formes prennent de la signification et sont dès lors appropriables dans le registre de l'action.

Il s'agit d'aiguiser nos capacités de diagnostic sur le « non-advenu », pour choisir un devenir. Cela revient non pas à décrire, mais à concevoir, parce tout n'est pas encore déterminé. Nous pensons que cela est possible, non pas tant en s'appuyant sur des données tangibles, matérielles, que l'on peut mesurer, mais en faisant appel à la perception, aux sens, à l'idéal, pour se préparer à l'anticipation et à l'action. En effet, même les données froides, objectives, peuvent ne pas être utiles car elles ne sont pas appropriées. Pour être acceptées, elles doivent rentrer dans le domaine du sensible. Comment faire pour que cette pré-vision devienne collective, pour être en mesure de transmettre cette conscience d'un avenir différent ? Ce n'est certes pas seulement en annonçant des données statistiques, telles que les évolutions démographiques ou les taux de pollution, en donnant à voir des courbes d'évolution des prix ou du recul des glaciers. C'est aussi en prenant d'autres voies, en mobilisant le sensible non seulement pour compléter les informations, mais comme mode d'appropriation de l'ensemble de ces informations, pour qu'elles deviennent connaissances partagées et actions.

On change ici de registre, on passe du matériel à l'idéal, du phénoménologique au cognitif. Ce n'est pas tant le monde réel qui change, mais notre sensibilité à percevoir ses variations et les prémisses de changement. Cela relève d'un apprentissage du sensible, pour apprendre à voir ce qui ne l'est pas encore. Mais est-ce toujours possible ?

4.2 Prendre la responsabilité de donner à voir

Nous proposons de nous placer dans le registre du sensible, quel que soit le type de catastrophe, pour donner à voir ce qui ne l'est pas encore. Mais nous touchons là à l'éthique d'une telle posture. Dans tous les cas se pose la question de savoir si on doit dire la vérité, qui doit la dire et comment ?

En effet, les ruptures ne sont souvent pas préparées par les gens « responsables » (au sens de ceux qui savent, et qui ont la responsabilité de dire et non pas de ceux qui sont à la cause). Ainsi par exemple J. Brenda (1927) dans *la trahison des clercs* a montré que la montée des périls communiste et fasciste, n'a pas été dite par les gens qui savaient. Il y avait des signes, tous ne les voyaient pas, et ceux qui voyaient ne le disaient pas, ou mal. C'est aussi l'effet Cassandre, où la rupture est annoncée mais exprimée de façon inappropriée, donc non partagée. L'alerte n'est pas perçue. Comme dans le mythe de la caverne de Platon, le témoin ne comprend pas le monde dont il ne voit que des ombres. Il faut qu'il se retourne, voie le monde réel, grâce à la connaissance, pour qu'il se dessille⁸.

Il est nécessaire que quelques uns prennent la responsabilité de dire et de donner à voir aux autres. Mais c'est une lourde responsabilité, car elle dérange. De plus, elle ne se résume pas à un échange entre ceux qui savent et ceux qui ne savent pas, elle nécessite un apprentissage. Pour toucher le sensible, Il y a des voies qui sortent du domaine scientifique sensu stricto pour se déployer dans le monde de la fiction ou des arts, afin d'éduquer à cette capacité d'observation et d'essayer de communiquer sur les futurs possibles. Ainsi par exemple, la maladie « hollandaise » de l'orme a été connue et popularisée grâce à une chanson d'Anne Sylvestre.

Il n'y aura de vision collective que si des précurseurs ont réussi à voir et s'ils acceptent de s'exprimer pour le faire voir aux autres. Il s'agit d'aiguiser notre regard sensible, pour rendre sensibles des choses qui sont extérieures. En suivant le précepte d'Auguste Comte « agir par affection et penser pour agir », nous pensons que ce n'est pas au niveau du rationnel que l'on peut agir, mais que c'est le sensible qui motivera le rationnel.

Face à des choses apparemment imprévisibles, comment exalter le secteur sensible, artistique, culturel, ... pour aiguiser la capacité d'une société face à des ruptures possibles ? Ne faut-il pas provoquer ces ruptures ?

4.3 Des catastrophes provoquées, pour créer du territoire

La notion de territoire de projets a fleuri à la fin des années 90. Elle arrivait en rupture avec le passé, par un choix politique de rompre avec les procédures

⁸ L'on commence à dessiller les yeux du peuple sur les superstitions... In Voltaire, Le siècle de Louis XIV, 25.

Penses-tu que rien désormais puisse revêtir, à mes yeux dessillés, sa première innocence apparente ? Gide, Œdipe.

descendantes, planifiées, pour s'appuyer sur la dynamique propre des territoires et les projets de ses habitants. Mais elle était également en rupture avec la logique de développement local, en l'obligeant à se penser à l'échelle du territoire, construit à l'articulation entre les incitations globales et les initiatives locales, à la convergence des forces motrices. A l'heure d'un premier bilan de la politique des Pays, force est de constater que cela n'a pas été sans difficultés, et la dynamique est loin d'être consolidée, mais de profondes mutations dans les modes de fonctionnement et les partenariats aux différentes échelles territoriales voient néanmoins le jour (ETD, 2006).

Au-delà des procédures et de leurs effets, des incitations financières ou des intérêts réciproques, on peut invoquer deux voies possibles à continuer d'explorer. La première est méthodologique, elle cherche à accompagner le changement par une démarche de diagnostic prospectif et participatif. La seconde est opérationnelle, en déplaçant les aspects de production dans le registre de la création, par la notion d'installation paysagère.

Le diagnostic prospectif participatif (Lardon et Piveteau., 2005) vise à aider les acteurs à élaborer un projet de territoire. Il porte un jugement sur les dynamiques en cours et apporte un changement dans les représentations des acteurs et les propositions d'actions. L'itinéraire méthodologique articule des méthodes de traitements des informations avec des méthodes de mobilisation des acteurs, pour construire collectivement une vision partagée et stratégique du territoire. Il est restitué sous la forme de séquences des représentations spatiales produites et de la succession des étapes. Les représentations spatiales servent d'objets médiateurs (au sens de Vinck, 1999) dans les interactions entre les points de vue des acteurs et les niveaux d'organisation. Elles favorisent la construction de normes institutionnelles et l'activation de compétences organisationnelles, tendant à améliorer l'action collective (Moquay et al., 2005). Il s'agit bien de renforcer la capacité des acteurs à anticiper les évolutions à venir en leur donnant à voir différentes représentations de leur territoire (Debarbieux et Lardon, 2003).

Des installations paysagères ont été créées lors de la fête du paysage dans les Vosges (<http://www.fetedupaysage.fr/>) en 2006. L'idée repose sur la rencontre entre scientifiques, spécialistes de l'observation du paysage, artistes, créateurs de représentations symboliques du paysage et d'habitants, acteurs vivants dans le paysage, le produisant et le « consommant ». Sous la dynamique des préparatifs de la fête, les habitants se sont transformés en observateurs et en créateurs, en donnant des représentations théâtrales, inspirées de leur « vécu » et en installant des objets dans le paysage (Deffontaines, 2004), pour donner à voir ce qui le constitue (des vaches rouges en carton, des bottes enrubannées en damier, une constellation lumineuse en plein champ, ...). Il s'agit bien se donner à voir, par exemple dans la série de portraits et de paysages, pour exprimer à la fois la valeur identitaire du territoire et la capacité d'ouverture aux autres.



Photographie de « la lessive » : Symbolique du lien entre la vie (le village) et la mort (le cimetière), le passé (lessiveuses) et l'avenir (drapeau blanc flottant au vent), fenêtre ouverte sur le paysage et paysage en soi.

Ces interventions transforment le territoire, parce que l'acte matériel de représentation spatiale ou d'installation paysagère exprime en fait une transformation en profondeur des acteurs eux-mêmes, touchés dans leur sensibilité innovatrice. C'est en quelque sorte une prophétie auto-réalisatrice⁹. Comment la créativité peut-elle produire des catastrophes ? Quelles actions volontaires permettent de s'y adapter ?

5 Anticiper des catastrophes reviendrait à les provoquer

Ainsi, pour se préparer aux catastrophes imprévisibles, commençons par nous former à réagir aux catastrophes prévisibles. Mettons-nous en posture de réaction. Acceptons, pour être efficaces sur le plan matériel, des arabesques

⁹ Voir le film de Jacques-Rémy Girerd, studio Folimage, qui allie représentation et création pour transmettre une « nouvelle » façon de vivre (www.laprophetiedesgrenouilles.com)

latérales dans un plan idéal. Soyons sensibles à une diversité de registres, qu'ils soient artistiques, culturels ou littéraires.

Nous avons présenté les trois types de catastrophe : celles prévues, car annoncées, celles imprévues mais pour lesquelles il existe des signes précurseurs pouvant les rendre prévisibles et celles imprévisibles. Il existe des modalités de résolution pour les deux premiers cas, qui consistent à donner à voir ce qui est visible, c'est-à-dire à apprendre à voir des choses qui relèvent du même registre matériel. Pour le troisième cas, il faut changer de registre, car il n'y a rien à voir directement, les signes précurseurs n'existent pas ou pas encore. Il faut donc être aux aguets. C'est en touchant le domaine du sensible que nous pouvons nous y préparer.

Même dans les cas les plus simples, on a besoin de se placer dans cet état d'esprit de réceptivité au monde extérieur et de sensibilité aux dynamiques. En effet, si l'on n'accepte pas les catastrophes annoncées, la plupart du temps, ce n'est pas parce qu'on ne sait pas, mais parce qu'on ne veut pas agir. Toucher le sensible, faire que les acteurs s'approprient les enjeux et les modalités de résolution des problèmes, c'est changer le comportement des acteurs. De même, si l'on ne voit pas les catastrophes imprévues, c'est parce que l'on n'est pas assez réceptif aux signes existants. Apprendre à les observer et à y être sensible permet de trouver les réponses. Pour ce qui est des catastrophes imprévisibles, la seule solution est d'exacerber nos capacités sensibles. Plus l'on aura appris à le faire dans des situations connues, plus on saura les reconnaître, dans les situations difficiles.

Cet apprentissage du sensible, pour se représenter les phénomènes et leur donner forme et sens, est un enjeu de formation pour nombre de scientifiques, qui ont la responsabilité de produire de telles connaissances. C'est également un enjeu d'éducation civique pour tous les acteurs concernés, afin qu'ils fassent leur les problèmes et les modalités de résolution, et soient en capacité d'action.

6 Références bibliographiques

- Berger P. et Luckmann T., 1986. *La construction sociale de la réalité*, Paris, Méridiens Klincksieck, 288 p.
- Bruce J.P., Lee H., Haites E.F. (dir.), 1997. *Le changement climatique : dimensions économiques et sociales*. Paris, 4D / Ste-Foy, éditions Multimondes, 544 p.
- Crozier M. et Friedberg E., 1977, *L'acteur et le système*, Paris, Seuil, coll. Points, 500 p.
- Debarbieux B., Lardon S., 2003. *Les figures du projet territorial*. Editions de l'Aube, Datar, Bibliothèque des territoires, 270 p.
- Deffontaines, J.P., 2004. L'objet dans l'espace agricole. Une approche géoagronomique du paysage. *NSS*, 12, 3, 299-304.
- Diamond J., 2006. *Effondrement : comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*. Paris, Gallimard nrf essais, 648 p.
- Dobry M., 1992. *Sociologie des crises politiques : la dynamique des mobilisations multisectorielles*. Paris, Presses de la FNSP, 319 p.

- Dupuy J.P., 2002. Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible est certain. Paris, Seuil, 216 p.
- Elias, Norbert (1991), *Qu'est-ce que la sociologie ?*, Editions de l'aube.
- Emanuel K, 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436: pp. 686-688.
- ETD, 2006. L'ingénierie de développement territorial mobilisée dans les pays. <http://www.projetdeterritoire.com>.
- Gaudin T., 1990. *2100, récit du prochain siècle*. Paris, Payot.
- Jaudet M., 2002. Le changement climatique : un défi majeur. *Regards sur l'actualité*, n°277, pp. 23-41.
- Joyce L., 2006, adaptive options for climate-sensitive ecosystems and resources : synthesis and assessment, USDA/Forest Service, MTNCLIM meeting, poster.
- Kayser B., 1992. L'avenir des espaces ruraux : choix de société et volonté politique. *Futuribles*, n°167, pp. 3-27.
- Krabill W., E. Hanna, P. Huybrechts, W. Abdalati, J. Cappelen, B. Csatho, E. Frefick, S. Manizade, C. Martin, J. Sonntag, R. Swift, R. Thomas and J. Yungel. 2004. Greenland Ice Sheet: Increased coastal thinning. *Geophysical Research Letters* 31
- Lardon S., Piveteau V., 2005. Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux. *Géocarrefour*, Vol 80/2, 75-90.
- Legay M., Mortier F., 2006, La forêt face aux changements climatiques, adapter la gestion forestière, ONF – INRA, les dossiers forestiers n°16, 39 p.
- Lesourne J., 1982. *Les mille sentiers de l'avenir*. Pairs, Seghers, 372 p.
- Mermet L.(dir.), 2003. *Prospectives pour l'environnement : quelles recherches ? Quelles ressources ? Quelles méthodes ?* Paris, La documentation française.
- Moquay P., Lardon S., Marcelpoil E., Piveteau V., 2005. Contribution des représentations spatiales à la proximité institutionnelle. In A. Torre et M Filippi (eds) *Proximités et Changements socio-économiques dans les mondes ruraux*. Editions de l'INRA, Collection « Un point sur », 14 p.
- Thom R. , 1977, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Interédition, Paris.
- Vinck D. (dir.), 1999. *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation*. Grenoble, PUG, 232p.

La catastrophe, Alpha et Omega du signe et du sens

Serge Mauger

Université de Caen Basse-Normandie
GREYC UMR 6072 CNRS (Equipe IsLAnd)

`serge.mauger@unicaen.fr`

Résumé

Dans la Grèce ancienne, pour créer un $\sigma\mu\beta\omicron\lambda\omicron\nu$ et se reconnaître au sein d'une communauté, on prend un objet quelconque et on le casse. Chacun en emporte un morceau, que l'on doit réajuster à ceux des autres pour signifier son appartenance au groupe. Ce qui importe ici c'est d'analyser la dialectique rupture / suture qui fonde la communication. Le $\sigma\mu\beta\omicron\lambda\omicron\nu$ fait sens dans la mesure même où ce qui n'est qu'un élément de matière quelconque a été rompu et prend une valeur différentielle, devient signifiant d'un signifié constructible par convention. Pour qu'il y ait du « symbolique » il faut donc qu'il y ait, d'abord, du « dia-bolique », de la coupure.

Dans le même temps, pour une chaîne symbolique donnée, les assignations de sens peuvent être plurielles, voire conflictuelles. Ceci équivaut à une crise, à une nouvelle catastrophe –sémantique cette fois- au sein de ce qui semblait d'abord stabilisé. L'interprétation d'un texte s'apparente alors à une suite de révisions par rétroactions provoquées par la (les) catastrophe(s), qui permettent de déplier les ambiguïtés et d'éclairer les zones d'ombre. Processus qui ne trouve son épilogue qu'au prix d'une ultime rupture : celle qui consiste à mettre provisoirement un terme aux interprétations, par décision de cohérence avec les éléments du microsysteme. Et ce qui reste en mémoire, ce que l'on retient comme information, rompt avec toute inscription précise. Le message ainsi commence et se termine nécessairement par une catastrophe, sous peine de n'être pas intégrable au processus de l'échange

Mots clés : Catastrophe, bruit, $\sigma\mu\beta\omicron\lambda\omicron\nu$, communication, glyphe, interprétation.

1 Introduction

Les théories de la communication, en particulier depuis Shannon, Weaver, et Wiener ont appelé « bruit », la rupture ou la discontinuité dans l'acheminement de l'information et leurs conséquences dans le calcul interprétatif du message [2]. Ce phénomène constitue littéralement une « catastrophe », qui retarde, complique, voire rend impossible l'échange entre l'émetteur et le(s) récepteur(s). La littérature abonde qui analyse la question au plan technique, et toute l'histoire de l'ingénierie des télécommunications participe de cette quête dialectique où il s'agit de trouver un équilibre entre une communication à moindre bruit, au prix d'une redondance forte, et la gestion des coûts et des rendements qui oblige à des compromis.

Transposées au plan cognitif, mutatis mutandis, les mêmes analyses permettent de dire que les obstacles qui perturbent le traitement de l'information sont nombreux : question d'appariement des codes et des

cultures, problèmes de polysémie, mais surtout problèmes d'attention qu'exige l'émetteur quand il s'adresse à autrui. Jacques Coursil appelle « fonction muette du langage » cette tension / attention qui désigne l'activité de celui qui écoute ou qui lit [1]. De l'émetteur au récepteur, aucune garantie de réussite interprétative n'est donnée une fois le message correctement transféré. On pallie le problème, quand c'est possible, par le feed back de la reformulation, elle-même jamais totalement à l'abri de l'ambiguïté ou du quiproquo, terme qui dit une autre catastrophe où les partenaires du dialogue n'identifient pas, au premier temps, la rupture et la discontinuité qui se sont installées dans leurs échanges.

L'hypothèse que j'entends soutenir dans les lignes qui suivent ne contredit en rien les points théoriques rappelés ci-dessus. Il me semble néanmoins qu'à s'en tenir à l'équation « catastrophe = problème », on risque de ne pas mesurer à quel point la rupture et la discontinuité sont constitutives de l'acte même de communiquer lorsqu'on en observe les accidents tout au long de la saisie du message et de son traitement cognitif.

Je me suis donc proposé de montrer, dans un premier temps, que la catastrophe, telle qu'elle a été définie précédemment, est nécessaire à l'émergence du signe. Ainsi le *συμβολον* grec n'a d'existence qu'à partir du moment où on l'arrache à un continuum insignifiant, pour l'inscrire par rupture et discontinuité dans le jeu sémiotique.

Une fois posé le principe de la catastrophe initiale et de sa fonction, nous tâcherons de suivre un modèle simple de parcours interprétatif où à chaque moment de la prise en compte des termes d'un message (ici un très court texte découvert par étape), le lecteur est confronté, au plan de l'entendement, à une série de crises et de micro ruptures. Autant de micro catastrophes, qui obligent à des rééquilibrages calculatoires et imposent de prendre une ou des décision(s) interprétative(s). Lesquelles supposent de rompre avec des attendus sémantiques probables, pour réinterpréter les signes par révisions successives des isotopies.

D'une manière plus fondamentale on peut montrer que la catastrophe produit un certain type de confusion propre à engager fortement la participation du sujet entendant. L'ultime étape du parcours interprétatif se caractérise par un dernier détachement, une autre rupture, où la saisie mémorielle n'est plus directement arrimée aux signes, mais constitue un niveau de connaissance à la fois difficile à cerner et cependant présent à la conscience en tant qu'information.

2 Le Συμβολον : principe d'une catastrophe qui fonde l'émergence du sens

Dans une première approche de la question de la catastrophe en tant que « rupture, discontinuité, franchissement de frontières et changement d'état », on cherche à réinterroger ce qui, en deçà de toute autre théorie sémiotique

établie, constituerait un des fondements de l'analyse du signe. L'une des traductions possibles du terme signe, en grec ancien, correspond à *συμβολον*. Le *συμβολον* est au départ ce par quoi on se reconnaît au sein d'une communauté. Rapportée à notre propos, son origine même éclaire l'analyse de la catastrophe d'un jour tout particulier pour peu que l'on accepte de prendre les notions de discontinuité et de rupture en un sens très littéral et très concret.

Pratiquement, on procède de la manière suivante : Quand une confrérie ou une société secrète – par exemple une réunion de Pythagoriciens- se sépare, on prend un objet quelconque, une pierre plate ou une vieille poterie, et on le casse. Chacun emporte un morceau de l'objet brisé. Pour signifier qu'on appartient au groupe, on doit, quand les membres de la confrérie se retrouvent, réajuster son *συμβολον* à ceux des autres. En d'autres circonstances, le même objet est partagé entre des hôtes qui ne vont pas se revoir avant longtemps et qui ont peur de ne pas se reconnaître quand l'âge aura fait son œuvre. A d'autres moments encore le fragment est remis à un enfant qui, une fois devenu jeune homme, doit rendre visite à un vieil ami paternel, qui ne le connaît pas, et dont il recevra l'hospitalité avant de faire son éducation. C'est le réajustement des deux parties de l'objet qui prouve qu'il est bien le personnage attendu.

Ce qui m'importe en proposant ce rappel de l'origine du *συμβολον*, c'est d'analyser la ligne de rupture / suture qui fonde la nécessaire discontinuité des éléments partagés pour que se construise la communication. Cette réunification n'a donc lieu que si effectivement on a d'abord rompu avec l'« un ». Le *συμβολον* fait sens dans la mesure où la coupure opère à une mutation et transforme ce qui n'était qu'un morceau de matière quelconque en élément porteur d'une valeur différentielle, en signifiant d'un signifié construit par convention, c'est-à-dire par intégration sociale. En d'autres termes, l'insignifiance de l'objet est annulée par le geste qui le fait passer du statut d'entité quelconque, non discrète, au statut d'ensemble d'éléments discrétisés. Avant la catastrophe, il n'y a pas de signe, donc pas de signification, donc pas d'identité. Ni donc de reconnaissance et pas d'information (au sens étymologique de « donner forme », et au sens d'« apporter une connaissance nouvelle »). L'objet vague, insignifiant parce que non fragmenté (non « catastrophisé », si l'on veut bien accepter le néologisme), ne désignait que lui-même par autoréférence, et encore, à condition d'avoir été d'une manière quelconque pris en compte. Une fois créé par la rupture, le *συμβολον* constitue un artefact de mémoire et prend, par changement ontologique, valeur de « glyphe ». On peut le reconnaître comme « phraséo graphique » ou à tout le moins « logo graphique »¹. La réunion des fragments dit l'appartenance à une communauté et active le principe d'identification mutuelle sous-tendue par le partage de valeurs politiques, initiatiques ou philosophiques, etc. Ailleurs, l'ajustement des morceaux signifie « *Untel est bien le fils de mon ancien ami et je lui dois*

¹ Type d'écriture ou un signe vaut pour une phrase ou un mot Voir [3]

l'hospitalité,... ». Chaque *συμβολον* résultant de la cassure contient par intégration imaginaire l'ensemble des conventions du groupe. Pour qu'il y ait du « sym-bolique » (qui lance l'interprétation) il a fallu qu'il y ait initialement du « dia-bolique », c'est-à-dire de la dispersion, de la coupure, qui socialise les éléments fragmentés. L'apparition du signe au sein de ce qui était d'abord insignifiant, indifférencié, correspond à une entrée dans le domaine de l'ordre, c'est-à-dire de la différence et de la complémentarité selon lesquelles le sens peut émerger. Et l'entité reconstituée par le réajustement tâtonnant des *συμβολα* (un peu comme dans le jeu de puzzle) n'est jamais équivalente à l'objet premier, celui d'avant la cassure. Reconstituée par juxtaposition des fragments, l'entité matérielle initiale (la pierre plate) est elle-même chargée sémiotiquement d'une valeur qui intègre la valeur sémique de chacun des fragments, lesquels intègrent à leur tour la signification de l'ensemble – à savoir par exemple le principe du lien communautaire. Et ce sont les sutures qui disent cela. En supposant que l'objet initial puisse être restauré par quelque tour de magie dans son intégralité, il redeviendrait « insignifiant ». La catastrophe fondatrice a transformé le morceau de matière brute en un medium ou en autant de media qu'il se comptait de fragments après le choc. Ce changement d'état ne suppose évidemment pas que les fragments portent en eux-mêmes une signification, mais qu'ils sont, jusque dans l'arbitraire de leurs contours, le lieu de projection et l'élément d'activation imaginaire d'un calcul sémique.

Quelle différence entre les fragments devenus « *συμβολα* » et les mots de la langue pris dans leur matérialité sonore ou graphique ? Aucune. Du moins à ce niveau d'analyse. Tant au plan acoustique que dans leur réalité de traces sur un support, ils ne sont rien d'autre que de la matière, mais, soit dit rapidement, de la matière organisée. Organisée par convention et par un pacte sémiotique s'entend. De ce pacte, on sait, nonobstant quelques prétendus gardiens du temple, que nul n'a véritablement capacité à le modifier par décision autoritaire au plan individuel et qu'il trouve son origine indécidable dans la masse parlante et dans l'obscurité de l'histoire humaine où il y a sans doute eu, progressivement ou non, une sorte de rupture fondatrice. Ce qui m'importe ici c'est de souligner que l'organisation même de cette matière à vocation sémiotique participe, toutes choses égales, du même principe que ce qui a été analysé plus haut. A savoir que l'activité qui consiste à gratter un support pour le couvrir de signes (les mots) se fonde d'abord sur un procédé mécanique provoquant une forme particulière de rupture et de discontinuité à la surface d'un objet, feuille de papier, parchemin ou bloc de marbre, insignifiant au départ et qui se met à faire signe par le simple fait qu'on y marque de la discontinuité perçue en tant que telle par un groupe social. On retrouve là le principe initial de la catastrophe. Il en va de même de la phonation, de l'acte de parler, qui, admettons le par simplification, « rompt le silence ». Du côté du récepteur, du sujet entendant, le principe de discontinuité se retrouve en ce qu'il s'agit de procéder par discrétisation à des coupures pertinentes, des ruptures au sein du continuum de la chaîne parlée.

D'autre part, et de manière tout aussi radicale, si la forme graphique du *συμβολον* de la langue écrite, ou sa forme orale dans la chaîne parlée, sont éventuellement moins arbitraires que les fragments de matière brute, parce que policées et empruntées à l'inventaire des formes lexicales de tel ou tel idiome, elle ne contient, la chose est maintenant admise en sémantique interprétative, pas plus de sens en elle-même que le *συμβολον* pris dans son acception première. On y inclut par intégration imaginaire une ou des valeurs sémiques qui, de proche en proche, par intégrations successives, toutes aussi imaginaires, constituent des chaînes isotopiques interprétées à la suite d'une série de protocoles de révisions eux-mêmes soutenus par l'expérience, au coup par coup, d'une série de catastrophes, de crises sémantiques et de rupture d'isotopies

3 La catastrophe au centre de la lecture et de l'interprétation

La proposition d'analyse et d'interprétation par étape du texte suivant peuvent, pour partie, servir d'appui aux considérations qui précèdent, en particulier sur l'intégration des sèmes et des chaînes isotopiques qui permettent d'élaborer une ou des interprétations.

Soit :

1) *L'amiral a mis les voiles cette nuit, quelqu'un l'a vu pas très loin du port.*

Analyse et reformulation paraphrastique :

« *Amiral* » intègre par convention culturelle la notion de « grade supérieur de la hiérarchie dans la marine de guerre, officier chargé de commandement d'une flottille, etc. ».

« *a mis les voiles* » = « est parti en faisant hisser les voiles le long des mâts et sur les vergues, selon un moyen de navigation traditionnelle qui utilise la force du vent ».

« *quelqu'un l'a vu pas très loin du port* » confirme les sémèmes précédents, qui tous réfèrent à l'isotopie de la marine. Laquelle isotopie est donc nouée selon un principe de cohérence vérifiable par tout locuteur lui-même cohérent. Paraphrase plausible: « L'officier en charge du commandement de la flottille a fait procéder au départ d'un ou de plusieurs bateaux tout en étant lui-même à bord, il a franchi les môles de sortie du port ».

Analyse et reformulation du même texte, dont on découvre progressivement la suite :

2) *L'Amiral a mis les voiles cette nuit, quelqu'un l'a vu, pas très loin du port. Il s'est enfui.*

« *Il s'est enfui* » suppose qu'il échappe à une contrainte, un geôlier, et laisse entendre également que l'amiral n'était pas libre. Dès lors, l'expression « *mettre les voiles* » peut assez probablement signifier soit :

i « partir, en utilisant la force du vent » (déjà mentionné ci dessus),

soit :

ii « partir à la dérobée et dans la précipitation, pour échapper à une contrainte ».

Cette seconde interprétation n'infirmes pas obligatoirement les sémèmes précédents, énoncés en **i** et relevant de l'isotopie maritime. Elle les met cependant en crise, en ce qu'elle confère à « *s'est enfui* » un caractère redondant avec le second sens plausible de « *mettre les voiles* », sens qui n'était pas aussi probable dans la première interprétation (sans être absolument exclu). On voit donc comment s'opère, du point de vue de l'interprète, une rupture. L'expression « mettre les voiles », d'abord comprise dans son acception technique, est devenue ambiguë. En **ii**, elle est considérée selon un emploi catachrétique, figé par la culture (niveau de langue familier ou relâché = « partir à la dérobée ») qui ne suppose plus nécessairement l'univers marin. Les deux interprétations cohabitent potentiellement. La question est quand même de savoir si ces reformulations sont simultanées ou alternatives. Les conditions d'énonciation peuvent jouer en faveur de la première ou de la seconde interprétation, ou nous proposer de prendre en compte les deux simultanément. Dans l'hypothèse où les deux interprétations coexistent simultanément, le texte change lui-même de statut. Narratif, référant à un univers révolu de la navigation à voile quand on le lit « au premier degré », il participe plus ou moins d'un récit historique. Si l'on intègre la seconde interprétation, le niveau de langue devient problématique : s'exprime-t-on selon une terminologie qui réfère à un univers encyclopédique révolu ? Ou bien faut-il sélectionner le sens catachrétique, voire les deux à la fois ? Auquel cas le scripteur, non seulement nous informe sur une situation, mais nous propose de jouer avec les mots, brouille éventuellement le message en le dédoublant de manière amphibologique. Le message, et, partant, le lecteur, se trouvent littéralement en position de catastrophe, de rupture critique dans la continuité des attentes et des projections que déterminait la première isotopie. Nous sommes dans l'obligation de concilier (ou de choisir entre) deux plans sémantiques, qui, pour ne pas être incompatibles n'en perturbent pas moins l'univocité supposée de la première phrase.

Poursuivons la lecture en découvrant la phrase suivante :

3) *L'Amiral a mis les voiles cette nuit quelqu'un l'a vu, pas très loin du port. Il s'est enfui. C'est stupide de l'avoir laissé s'envoler.*

« *stupide de l'avoir laissé s'envoler* » peut s'interpréter d'abord comme « regrettable d'avoir rendu possible son départ, par inadvertance ou par négligence ». Cette reformulation n'infirme pas l'isotopie construite à partir de « Amiral », « voiles » « port », qui supposent un univers maritime. En revanche elle semble confirmer le sens introduit par les sémèmes projetés dans la lecture de « *a mis les voiles* » = « s'est enfui ». Dans ce cas « *s'envoler* » est une catachrèse populaire pour « s'échapper ». L'amiral a donc bien trompé la vigilance d'un geôlier, lequel a commis une faute par inadvertance. A cette étape de la lecture on peut considérer que l'interprétation de « s'envoler » au sens de « quitter un lieu en battant des ailes, ou au moyen d'un avion » apparaît comme non probable et ne constitue pas un sémème intégrable aux chaînes isotopiques précédentes. La catachrèse « s'envoler = partir à la dérobée », confirme, au moins partiellement, la valeur catachrétique de « mettre les voiles ». Confirmation qui, au demeurant, oriente un peu plus la catégorisation du texte en « récit d'un niveau de langue familier ». Dans le même temps, « mettre les voiles », « s'enfuir » et « s'envoler » sont chaînés par une anaphore sémique qui permet de les assimiler à une forme de redondance.

Découverte d'une nouvelle phrase :

4) *L'Amiral a mis les voiles cette nuit quelqu'un l'a vu, pas très loin du port. Il s'est enfui. C'est stupide de l'avoir laissé s'envoler. C'est stupide d'avoir laissé ouverte la porte de sa cage.*

« *C'est stupide d'avoir laissée ouverte la porte de sa cage.* » met une fois de plus ce qui précède en situation de crise. Devons nous maintenir nos chaînes isotopiques (elles-mêmes déjà flottantes) et comprendre le mot « cage » comme une catachrèse familière pour « prison », ce qui confirmerait l'inscription du texte dans le niveau de langue familier voire relâché (à moins qu'on ne soit sous Louis XI) et laisse disponible l'interprétation « la négligence d'un gardien a permis à l'amiral de s'enfuir en prenant la mer » ? Ou bien, mais sans confirmation isotopique, ne peut-on pressentir une interprétation plus littérale du mot cage qui se trouverait alors en relation isotopique avec « laissé s'envoler » ? L'un et l'autre peuvent en effet intégrer le sème « oiseau », lequel n'est, pour sa part, pas directement intégrable aux isotopies précédentes. Rien ne permet de trancher à ce stade. On peut simplement soupçonner qu'une nouvelle crise sémantique est possible.

Découverte d'une nouvelle phrase :

5) *L'Amiral a mis les voiles cette nuit quelqu'un l'a vu, pas très loin du port. Il s'est enfui. C'est stupide de l'avoir laissé s'envoler. C'est stupide d'avoir laissé ouverte la porte de sa cage. Ma fille est désespérée.*

Ma fille est désespérée. Brièvement commentée cette phrase semble ajouter une information qui donne une connotation « romantique » aux isotopies précédentes. La fille du narrateur, comme dans les chansons, est amoureuse de l'amiral qui s'est enfui et elle demandait sans doute qu'on la « pendouillât » avec lui s'il devait être exécuté.

Plaisanterie mise à part, cet ajout nous réoriente, plus probablement et après les flottements précédents, vers une lecture dont la reformulation serait : « Un amiral c'est effectivement enfui en bateau en trompant la vigilance du geôlier négligeant. Cet événement désespère la fille du narrateur parce qu'elle éprouvait un sentiment pour lui ». A moins, autre interprétation possible mais moins romantique : « Le désespoir de la fille vient de ce qu'elle se réjouissait de le voir prisonnier ». Rien n'est tranché et, ici comme dans les étapes précédentes, il faut décider du sens que l'on construit, au prix de la rupture avec les autres possibles. A moins de les intégrer tous, mais c'est un jeu laborieux, voire catastrophique, et qui à terme transformerait la lecture en une gymnastique oulipienne.

Découverte de la dernière phrase

6) L'Amiral a mis les voiles cette nuit quelqu'un l'a vu, pas très loin du port. Il s'est enfui. C'est stupide de l'avoir laissé s'envoler. C'est stupide d'avoir laissée ouverte la porte de sa cage. Ma fille est désespérée. D'autant qu'un perroquet n'est pas fait pour vivre sous nos climats.

Nouvelle rupture et nouvelle catastrophe qui oblige à un changement d'état, un nouveau calcul cognitif, et à remettre en question les récurrences sémiques qui fondaient une continuité isotopique décidée au cours des lectures précédentes. L'Amiral est, selon une nouvelle probabilité interprétative, le nom d'un oiseau, en l'occurrence un perroquet, qui appartenait à la fille du narrateur. Il s'est donc bien enfui en prenant les airs, d'une cage à oiseaux où il était enfermé et qui n'a plus rien d'une geôle dans une forteresse. On découvre ou redécouvre l'importance de la graphie du terme « Amiral » ; la majuscule n'était pas un signe protocolaire saluant la fonction hiérarchique, mais bien un signe diacritique désignant un nom propre plus ou moins ludique, qui n'est plus repérable dans la hiérarchie militaire. Une isotopie nouvelle est construite, qui fait du texte un autre récit : celui d'une anecdote qui n'a plus grand-chose à voir avec l'univers marin (il ne reste plus que le port pour situer l'action). Les voiles ne sont pas des instruments de propulsion. Nous avons affaire à l'expression figée « mettre les voiles », mais celle-ci est maintenant la seule catachrèse du texte. La cage n'est plus le nom familier de la prison. L'oiseau « s'envole » et c'est une autre catachrèse familière qui disparaît. Le désespoir de la fille (qui est plus probablement maintenant une enfant plutôt qu'une « jeune fille ») n'a plus la même connotation amoureuse. Autre changement : l'hypothèse selon laquelle elle se

réjouissait sadiquement de voir l' « Amiral » en prison est moins facile à admettre.

4 L'Omega de l'interprétation : un ultime détachement

Les propositions de reformulations qui précèdent n'épuisent sans doute ni le détail ni l'ensemble de toutes les lectures qui peuvent être proposées de ce texte qui, en l'espèce ne présente aucune caractéristique remarquable. Il n'est ni énigmatique, ni particulièrement ludique ou crypté. L'intérêt de nos propositions de paraphrases est simplement de montrer, une nouvelle fois, que l'émergence d'une ou des interprétation(s) procède, selon les termes mêmes de l'hypothèse initiale, d'une suite de ruptures, de micro catastrophes, qui à chaque moment déstabilisent les calculs sémantiques et imposent au lecteur des protocoles de révisions. Plusieurs chaînes sémiques sont possibles, certaines validées par intégration de nouvelles données, d'autres plus critiques, qui sont éventuellement abandonnées au profit d'une cohérence générale que l'on tient à maintenir. Rien n'est cependant certain ni définitif, si ce n'est par autorité et un conditionnement culturel qui limite les tentations d'interprétations délirantes, lesquelles peuvent être, par ailleurs, cliniquement observables. Ce qui apparaît c'est qu'à chaque étape le lecteur est confronté à une « crise », laquelle est un cas particulier de la catastrophe. La « crise » est étymologiquement (κρίσις) un événement qui oblige à dénouer, séparer, rompre les données confuses, à les déconstruire par analyse pour enfin distinguer et construire une solution, prononcer un jugement. Elle propose un nouvel ordre à partir de ce qui devenait désordre. La catastrophe dont il est question désigne la nécessité de procéder à des renversements, à des détours qui déconstruisent une linéarité hypothétique et permettent petit à petit, par une succession de ruptures, de proposer un dénouement. On voit ici l'analogie possible entre la lecture et le suivi d'une intrigue théâtrale. Les étapes à franchir, les déconstructions / reconstructions et autres transgressions de bornes isotopiques ne sont rien moins qu'une expérience supplémentaire du « caractère massif de la polysémie dans la langue » dont « un calcul statistique approximatif (à partir du Petit Robert) fait apparaître que l'on a plus de 40% de mots polysémiques en français » et que le phénomène « représente la règle plutôt que l'exception » [4].

En d'autres termes, cette polysémie essentielle signifie que toute lecture est constituée par les incidents de parcours qui imposent de modifier le programme de calcul et de construction du sens en permanence. Il faut, si l'on peut accepter la formule, continuer à recommencer l'interprétation et reconsidérer la plupart des signes les uns après les autres, construire leurs rapports, jusqu'à trouver un accord entre les propositions lexicales et une cohérence interprétative conciliable avec l'ordre imaginaire du monde.

La catastrophe est ainsi au cœur même de la langue, comme principe constitutif des règles du système. Mais, en l'espèce, loin d'en être la ruine, elle oblige à produire l'ordre selon lequel le sens est potentiellement là. De manière analogue à ce que l'on peut dire à propos du «*συμβολον*», c'est la catastrophe, la crise qu'elle entraîne, qui donne à chaque élément lexical sa véritable valeur interprétative. Watzlawick explique pour sa part que lors de la rupture qui fait que le sens d' «*un message est altéré, laissant le destinataire dans un état d'incertitude, il en résulte une confusion qui provoque des émotions allant du simple désarroi jusqu'à l'angoisse prononcée ... La confusion, du fait de l'incertitude, fournit à la recherche de structures et d'ordre une puissante incitation, qui se caractérise par une tendance à dissiper l'incertitude, le désordre apparent*» [5].

La discontinuité interprétative impose le discernement et l'obligation de réviser la façon de prendre en compte les éléments considérés comme pertinents. Soit dit autrement, un message entièrement prévisible, c'est-à-dire sans catastrophes sémantiques, serait un message «*au degré zéro*», c'est-à-dire sans information et donc sans intérêt. A comprendre au double sens du mot intérêt : il n'intéresse pas le récepteur – ne provoque pas chez lui cette puissante incitation au calcul cognitif - et ne lui rapporte rien en terme de connaissance et / ou de plaisir. On dira trivialement que l'émetteur «*parle pour ne rien dire*». L'expression est parfaitement éclairante. On peut même ici risquer l'hypothèse que, bien qu'empruntés au lexique, inscrits sur un support selon le code graphique, ou prononcés selon les règles formelles de la phonétique, les termes de la langue, n'ont «*aucun intérêt*» s'ils ne sont pas effectivement marqués par cette sorte de rupture et de catastrophe sémantique qui stimule l'entendement. N'ayant aucun intérêt, ils ne sont en réalité rien et l'on peut dire qu'ils n'ont pas encore le statut de signes, qu'ils sont à peine des formes disponibles et fantomatiques. Leur insignifiance ne s'annule que par l'émergence de la crise qui va produire leur valeur différentielle et leur complémentarité par construction d'isotopie. D'où la possibilité de s'exprimer parfois par tautologies ou lapalissades lesquelles sont intéressantes par la déstabilisation qu'elle provoque.

La catastrophe est donc bien, pour notre propos, pensable en terme d'évidente nécessité, fondatrice de la constitution et de l'interprétation du message. Rupture, discontinuité, et changement d'état créent les frontières au moins autant qu'elles les franchissent à proprement parler. Ce franchissement, s'il a lieu, désigne, sans doute métaphoriquement, la rupture avec l'imaginaire des effets de sens produites par les expériences antérieures, elles-mêmes fondées sur des principes de coupures, ruptures etc. qui les avaient précédées dans la mémoire de chacun et dans la pratique collective.

Ce qui se passe là, en tant que recyclage permanent du matériau linguistique et de son engrammage mémoriel, fonde le principe du dialogue, lui-même activité permanente de déconstruction, de défigement, de dislocation et d'élaboration à chaque fois d'un autre ordre de sens et d'une interprétation probable et provisoire qui modifie jusqu'au système lui-même.

Reste un dernier point concernant la rupture et la catastrophe sémiotique, un dernier détachement à souligner, qui ressemble à un saut dans le vide. Au terme du processus de la lecture et du calcul interprétatif, on dit que l'on connaît telle ou telle histoire, tel récit, telle information. Qu'est-ce que cela signifie exactement ? Et comment prouver ce que l'on connaît, ce que l'on a compris ? Selon les cas et la longueur du message, celui qui en a saisi le sens n'est, sauf exception, pas capable de le restituer à l'identique (ce qui en l'occurrence ne prouverait rien : voir ci-après). En revanche il est en principe capable de le paraphraser, c'est-à-dire de le « reformuler ». Or, puisque modification formelle il y a dans la « re-formulation », on produit là un autre message qui enclenche à son tour le processus des calculs interprétatifs, etc., ad lib. Dans les faits quand on dit connaître telle ou telle information, il semble que l'on ait intégré une perception globale de ce que l'on a compris et que le sens dont on a une conscience globale est « ce qui reste quand on a tout oublié »², après le traitement interprétatif des signes. Sous quelle forme ce reste existe-t-il ? On pense bien sûr aux traces engrammées dans l'espace neuronal. Cela ne suffit pas à décrire dans son entier le phénomène cognitif et il n'est pas question de prétendre ici creuser ce qui relève d'un autre champ d'investigation. Mais l'on sait par ailleurs qu'il est possible de restituer par cœur, sans les comprendre, des textes en langue étrangère que l'on a retenus uniquement par mémorisation phonétique et sans jamais pouvoir les paraphraser. Dans ce cas on n'a rien oublié de la chaîne mais cela ne fait pas sens. On peut donc avancer l'idée que précisément, pour que l'interprétation ait lieu, au-delà de la connaissance nécessaire des codes linguistiques, il faut que se produise une certaine forme d'oubli, un ultime détachement, une ultime rupture que l'hypermnésie, forme pathologique de la mémoire, peut justement empêcher. On assiste sans doute là à un autre phénomène du détachement et de la rupture. Le fait que je puisse dire que je connais *Madame Bovary* ne suppose pas que je le sache par cœur. Mais je sais aussi que la perception globale et la connaissance que j'en ai sont autre chose que le résumé que j'en fais, lequel, en tant que raccourci paraphrastique n'existe pas dans mon esprit mais uniquement par l'écriture qui s'élabore étape par étape sur la feuille ou par la chaîne vocale improvisée que je produis si je m'exprime oralement. Et si je dois plusieurs fois refaire l'exercice, je produirai à chaque fois un résumé différent dans son détail et son expression. Connaître *Madame Bovary*, avant tout effort de restitution paraphrastique est pour moi la certitude d'un savoir, plus ou moins précis, plus ou moins accessible par effort de mémoire. Mais cette conscience du fait que « je connais *Madame Bovary* » est pour moi une globalité cognitive sans doute non linéaire, ayant rompu avec tout support et tout signe précis.

² Pour plagier une formule bien connue, définissant la culture, selon A. Malraux.

5 Références

- [1] Coursil, J., 2002, *La Fonction Muette du Langage, Essai de linguistique générale contemporaine*. Editions Ibis Rouge. Presses Universitaires de l'UAG, Fort-de-France.
- [2] Escarpit, R., 1991, *L'information et la communication, Théorie générale*, Hachette, Paris.
- [3] Gelb, I.J., 1973, *Pour une théorie de l'écriture*, Flammarion, Idées et recherches, Paris.
- [4] Victorri B., Fuchs, C. 1996, *La polysémie, construction dynamique du sens*. Hermès, Paris.
- [5] Watzlawick, P., 1978, *La réalité de la réalité : confusion, désinformation, communication*, Editions du Seuil, Paris.

Continuités et ruptures dans l'histoire de l'informatique

Anne Nicolle
GREYC UMR 6072 CNRS (équipe ISLanD)
Université de Caen

Résumé :

L'histoire de l'informatique commence dans les années 50 avec de gros calculateurs scientifiques, sur la base d'une théorie du calcul. La persistance des données pour les besoins des entreprises amène à penser les machines dans une théorie de l'information et aboutit de nos jours à des machines personnelles tous publics reliées par des réseaux, pensées dans une théorie de la communication. Cette histoire concerne en parallèle les matériels, les langages de programmation, les interfaces homme-machine, les usages. La simulation et le dialogue homme-machine sont pris comme exemples de ces évolutions car ce sont deux types d'applications qui traversent toute cette histoire en étant partie prenante des ruptures majeures. Les conséquences théoriques des avancées technologiques, qui auraient dû amener aussi des ruptures dans la pensée de l'informatique et de l'informatisation, ont été la plupart du temps niées pour des raisons de continuité. Les machines interactives, les objets actifs et les processus sont la clé d'une nouvelle théorie qui prendrait en compte tous ces aspects.

1 Introduction

L'histoire de l'informatique de 1950 à nos jours peut se décliner selon plusieurs perspectives : les matériels, les logiciels, les usages personnels ou institutionnels. Le point de vue choisi dans cet article est l'articulation entre la continuité des théories de l'informatique et les ruptures matérielles, logicielles et d'usage. En effet, une série de ruptures tantôt provoquées par l'étude de certains problèmes, tantôt provoquées par l'évolution des techniques matérielles ou logicielles ont changé profondément les usages de l'informatique, ont élargi à chaque fois les catégories d'utilisateurs et ont assuré la pénétration des composants informatiques dans le contrôle du tissu socio-technique. On peut distinguer quatre étapes dans cette évolution de l'informatique, même si les dates ne peuvent pas en être fixées précisément. Bien sûr, chaque étape conserve les acquis des étapes antérieures, aussi je ne mentionne que ce qui est nouveau à chaque étape.

- 1950-1965 : les machines calculent des fonctions pour les besoins de l'armée et des scientifiques. Elles sont rares et leurs usagers sont des spécialistes du calcul.
- 1965-1980 : les machines gèrent les données des entreprises (fichiers et bases de données conservent des informations entre les exécutions), leurs catégories d'usagers s'étendent et elles doivent s'y adapter. Deux ruptures : les données sont permanentes, les usagers sont non spécialistes.

- L'analyse de ces deux premières étapes sera faite dans la section 2 sous le nom de « préhistoire » de l'informatique, car elles ont été à l'origine de deux types d'usages : le calcul et la gestion qui ont longtemps coexisté sans beaucoup de relations, puis qui se sont regroupés en se diversifiant, alors que les deux théories correspondantes : la théorie du calcul et la théorie de l'information, ont continué sur leur lancée et n'ont pas évolué en conséquence.
- 1980-1990 : les machines sont interactives, présentent des interfaces utilisateurs, créent des boucles d'interaction et deviennent des machines personnelles. Rupture technique d'abord : les PC remplacent les gros systèmes, rupture d'usages et d'usagers qui amènent d'autres ruptures techniques : le graphique, la couleur, le son et d'autres ruptures d'usage : l'imprimerie, le multimédia, en boucle pendant toute cette décade.
- 1990 ... : les machines sont connectées entre elles par des réseaux qui permettent les interactions entre humains à travers les machines (Web, mail, chats). L'informatique est partout car les composants informatiques contrôlent les véhicules, les machines, et les processus industriels.

Ces évolutions se font dans la continuité d'un processus de développement par couches successives, mais aussi par ruptures brusques quand les modèles anciens sont trop étroits pour les nouveaux usages.

2 La préhistoire

De 1950 aux années 80, les ordinateurs étaient rares et peu accessibles. Ils recevaient les programmes et les données sur des cartes, des rubans perforés ou des bandes magnétiques. Ils renvoyaient leurs résultats après leur terminaison ou retournaient des messages d'erreur énigmatiques. Il n'y avait pas de possibilité d'interaction pendant l'exécution. Dans cette période, l'informatique s'est surtout développée pour calculer des fonctions en référence à une théorie du calcul (Machines de Turing), dans la continuité des mathématiques appliquées. Les fonctions s'exécutent grâce à des processus terminatifs, non interruptibles et sans effets de bord. Le langage Fortran (formula translation) est créé vers 1960 pour faciliter l'utilisation des ordinateurs par les scientifiques. La question des entrées-sorties est alors vue comme une question secondaire, hors du champ du calcul qui est la seule chose importante.

En parallèle, à partir des années 60 avec le langage Cobol, l'informatique s'est développée aussi pour gérer les données des entreprises, en référence à une théorie de l'information. Là, il n'était pas possible de nier l'importance des entrées-sorties car des fichiers persistants et des bases de données sont nécessaires pour que cette activité soit possible. L'accent est alors mis sur la constitution, l'utilisation et la mise à jour des données et des formulaires. Les modèles du fonctionnement des machines doivent tenir compte de la persistance des données d'une exécution d'un programme à

l'autre, ce que Wegner a formalisé par les Machines de Turing persistantes [Wegner, 1998].

Il n'y a pas d'interface homme-machine textuelle ou graphique avant les années 80 puisqu'il n'y a ni écran, ni souris. Les télétypes en lignes de texte sont les premiers outils d'interaction puisque les commandes et les résultats arrivent sur la même machine à écrire. Il n'y a pas d'interaction pendant l'exécution des programmes, mais on peut trouver des travaux sur le dialogue homme-machine et la simulation dès cette période.

2.1 Le dialogue

Turing considérait le dialogue comme un test sur l'intelligence des machines. Les premiers essais de dialogue avec les machines (DHM) ont eu lieu à la fin des années 60, avec Eliza de Weizenbaum, avec des télétypes, qui conservent une trace des échanges. Il proposait un modèle sémantique de la compréhension d'énoncés écrits, à base de reconnaissance de mots clés pour l'analyse et à base de phrases à trous pour la génération des énoncés de la machine. Chaque énoncé entré est un paramètre pour une fonction qui retourne une réponse comme résultat. Tous les énoncés sont acceptés grâce à un filtre terminal qui accepte tout et retourne une relance comme « je ne vous ai pas bien compris ». Il n'y a pas de mémoire interne de l'interaction, puisqu'à cette époque les ordinateurs fonctionnent comme des machines de Turing. On ne peut pas obtenir plus de quelques lignes d'échange sans s'en apercevoir. Puis, Woods utilisa des transducteurs sur du langage naturel dans le projet LUNAR pour interroger une base de données sur les échantillons de sol lunaire. Il s'agit de réseaux de transition entre des nœuds conservant des états, dont les arcs sont franchis lorsque des conditions sont vérifiées, analogues à ceux qui ont servi pour formaliser les langages de programmation comme Pascal. Le résultat est obtenu en relevant les valeurs des nœuds dans le chemin qui a réussi. Ces valeurs servent de paramètres pour une fonction appelée à l'extrémité de ce chemin. On gagne en précision, mais on perd de la robustesse puisque les énoncés non prévus ne sont pas reconnus. L'histoire du dialogue peut être conservée en interne puisqu'on est dans la période des machines de Turing persistantes, et donc le dialogue est moins décousu. À cette étape, le monde partagé des interlocuteurs est le « monde » de la machine : une base de données que les usagers interrogent. Ces méthodes ont été utilisées dans les systèmes à base de connaissance comme MYCIN pour aider l'acquisition des règles ou pour diriger les consultations. Le dialogue est écrit sans mise en forme matérielle (gras, couleur, police...). Ce sont des dialogues purement verbaux avec une séparation stricte des tours de parole alors que les dialogues entre humains sont multimodaux et interruptibles.

Ces programmes sont écrits en Lisp, langage créé pour faire du calcul formel, de la démonstration de théorèmes, et qui a permis l'écriture de nombreux programmes d'intelligence artificielle. Ils ont rapidement montré leurs limites à cause de leur incapacité à gérer les non attendus (mots

inconnus, phrases incomplètes) et à traiter les erreurs de manière positive comme dans les conversations courantes. Ils ne gèrent pas non plus les rituels d'entrée en matière ou de fin de dialogue [Goffman, 1974], qui sont vus comme des décorations sur le processus verbal.

2.2 La simulation

Dans le paradigme des machines de Turing, certaines simulations analytiques ont été faites. Elles s'appuient sur des systèmes d'équations différentielles ou sur des modèles statistiques. Mais dès 1964, la simulation du trafic d'un port amène le Computing Center d'Oslo à créer un nouveau langage SIMULA¹ pour concevoir des simulations par événements discrets. Il introduit les notions de classe, d'actions, d'événements, de processus autonome et de traitements en parallèle. Ce sera la base de la programmation par objets qui rendra possible la programmation des interfaces.

Dans une simulation par événements discrets, on crée des objets ayant un comportement autonome et on lance en parallèle tous les objets créés. Les interactions entre ces objets vont simuler le comportement global du système à modéliser.

2.3 Remarque

Comme l'a fait remarqué un de mes relecteurs, il y a bien de l'interaction homme-machine dès les débuts de l'informatique puisque les utilisateurs rentrent des paquets de cartes dans la machine et lisent les résultats. Mais la machine est séparée en deux modes de fonctionnement distincts, un mode physique où les interactions ont lieu, et un mode logique où les calculs ont lieu. Les interactions homme-machine ont lieu avec la machine physique, qui fait partir la machine logique, et qui attend qu'elle s'arrête. Par contre, dans la deuxième période, la machine logique prend en charge la commande et le contrôle de l'interaction.

3 Des machines de Turing aux machines interactives

Dans les années 80 sont apparus des terminaux individuels sur les machines, puis de nouveaux types de machines informatiques individuelles avec disque dur, écran et clavier. Elles ont d'abord fonctionné en mode « ligne de commande », purement textuel et asynchrone sur le mode des télétypes. Interlisp est le premier langage interprété et interactif, il sera suivi par les langages de commande des systèmes comme le Shell d'Unix qui amène un changement profond dans l'utilisation des systèmes avec la manipulation des flots d'entrée, de sortie et d'erreur. La machine prend en charge la commande et le contrôle, activités en prise avec le temps réel.

¹ www.engin.umd.umich.edu/CIS/course.des/cis400/simula/simula.html

Puis l'écran est devenu graphique, la couleur, le son sont apparus comme constituants de ces machines devenues interactives. La souris et autres dispositifs de pointage ont permis la manipulation directe des objets vus sur l'écran en réifiant les notions d'événement et d'action. La notion d'IHM (Interface Homme Machine) peut alors apparaître (machine Lisp de XeroxTM puis LisaTM et MacIntoshTM d'AppleTM). Pour construire des interfaces facilitant l'interaction, de nouveaux concepts sont utilisés comme les fenêtres, les menus déroulants, les boutons à cliquer, les cases à cocher... La métaphore du bureau a fait le succès du MacIntoshTM : elle transfère les objets (dossiers, fichiers, corbeille) et les actions du travail de secrétariat (couper, coller) dans l'univers de l'interface.

Le paradigme objet, créé pour gérer les interfaces graphiques et les simulations, a permis de réunifier trois points de vue, celui des fonctions, celui des données, et celui du contrôle de l'interaction. En considérant les types d'objets comme comportant à la fois une structure de données et des procédures de manipulation de ces données, il réunifie le paradigme du calcul avec le paradigme des données. En considérant les entrées-sorties, les constructions et les transformations d'objets comme des effets de bord utiles des calculs, il transforme fondamentalement la façon de concevoir les ordinateurs, des machines de Turing aux machines interactives [Wegner, 1998], recevant et lançant des événements. La représentation par des images, des icônes, des places, prend une place à côté de la représentation verbale. La manipulation directe avec la souris prend le pas sur la description verbale des actions. Les fonctions sont subordonnées aux objets et sont elle-même des objets qu'on peut examiner, modifier, composer. De boîte noire, l'ordinateur devient un système ouvert, qui reçoit des événements et des flux de données et qui en produit. Et petit à petit, les usagers ne voient plus que l'interface, ils oublient les dimensions fonctionnelle et mémorielle qui permettent aux activités de fonctionner.

Alors que, dans la première phase de l'informatique, le temps est un temps de calcul ou un temps représenté, dans les simulations, dans les IHM, le temps compte et il n'est pas possible de recommencer une exécution à l'identique puisque l'utilisateur intervient. C'est aussi le cas dans les applications « temps réel » qui gèrent des capteurs et des effecteurs sur des processus industriels. Au contraire, les équations et les fonctions sont indépendantes du temps et de l'espace concret, qu'elles représentent par des variables.

Les machines ont changé radicalement de nature avec ces changements techniques, tant matériels que logiciels et avec le paradigme objet. Au lieu d'exécuter des fonctions à tour de rôle, les machines exécutent en parallèle plusieurs processus communicants : le système d'exploitation, l'horloge, les applications, les agents. Chaque processus peut lui-même lancer des sous-processus ou threads, qui s'exécuteront en parallèle, comme des applets, des démons, des agents d'un SMA (système multi-agents). Les applications informatiques, à partir des années 80, sont des processus interactifs, utilisés pour leur activité et pas pour leurs résultats (traitements de texte, tableurs,

browsers, mail...). Un nouveau monde de l'informatique est né, peuplé d'outils beaucoup plus variés que les fonctions et les fichiers, et pourtant, la thèse de Church assimilant les machines informatiques aux machines de Turing continue à être transmise [Goldin et Wegner, 2005]. De même, la théorie de l'information est toujours considérée comme un des fondements de l'informatique, alors qu'elle ne prend en compte ni la pertinence des informations pour un utilisateur, ni l'argumentation, ni les relations entre les écritures et les processus. L'obsolescence des théories bloque la recherche d'une vraie théorisation des systèmes informatiques. On peut donc prédire l'arrivée d'une catastrophe à court terme avec l'émergence d'une théorie des processus interactifs.

3.1 Processus et systèmes

Les processus informatiques permettent de créer de nouveaux outils pour écrire, classer, calculer, communiquer. Ces outils lancent des processus interactifs, des objets actifs qui ne doivent s'arrêter qu'à la demande de l'utilisateur. Ils n'ont pas pour but premier de calculer un résultat, mais de mettre en place une interaction avec leurs usagers et leur environnement. Tous les PII (processus interactifs de durée indéfinie) suivent le même graphe état-transitions de la figure 1 ci-dessous. Ils ne diffèrent que par leur état actif, décomposé en un diagramme états-transitions spécifique à chaque processus.

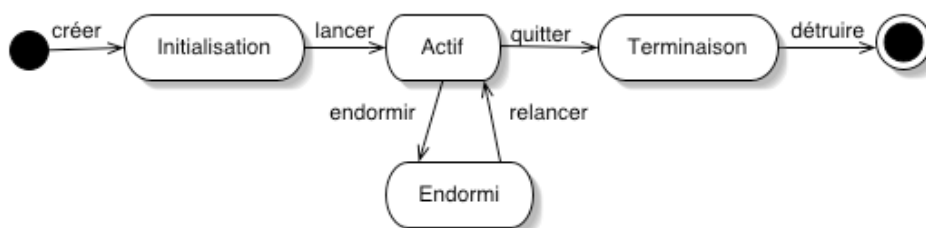


Figure 1 : Les états d'un processus de durée indéfinie

Quels sont les éléments à prendre en compte dans une théorie des processus interactifs ? Un processus interactif de durée indéfinie est par nature spatio-temporel et événementiel : il capte et lance des événements dans le temps et l'espace. Les PII sont en interaction avec des usagers et avec des processus physiques, biologiques, industriels. Ils sont dynamiques et en prise sur le temps présent. Ils font des actions physiques (ouvrir une vanne) ou signifiantes (poser une question). Ils modifient le monde socio-technique humain en instrumentant ses communications.

Les PII ont une certaine indépendance vis à vis des processeurs et du logiciel. Ils ne s'arrêtent jamais par eux mêmes, sauf en erreur. Ceux qui contrôlent les systèmes bancaires ou les centrales nucléaires ne s'arrêtent jamais. Ils ne s'arrêtent pas pour changer de version du logiciel, ils migrent sur la nouvelle version sans interruption. Ils ne s'arrêtent pas quand on change les machines qui les font tourner. Ils passent sur la nouvelle machine qui les reprend en charge dans l'état où ils sont.

Une théorie des processus interactifs doit prendre en compte trois entités structurelles : les objets, qui contiennent des fonctions et des données, les processus, qui créent, utilisent et détruisent des objets, et les systèmes, regroupant des processus en interaction forte, qui peuvent aussi être vus comme des processus. Avec la notion d'objets actifs, les processus peuvent être vus comme des objets. C'est seulement avec la notion de système qu'on peut avoir une théorie des processus prenant en compte la récursivité de cette notion, puisqu'un système est un processus qui contient d'autres processus. Elle doit aussi prendre en compte les événements et les flux d'événements, dont les relations avec les 3 notions précédentes sont exprimées dans la figure 2 ci-dessous.

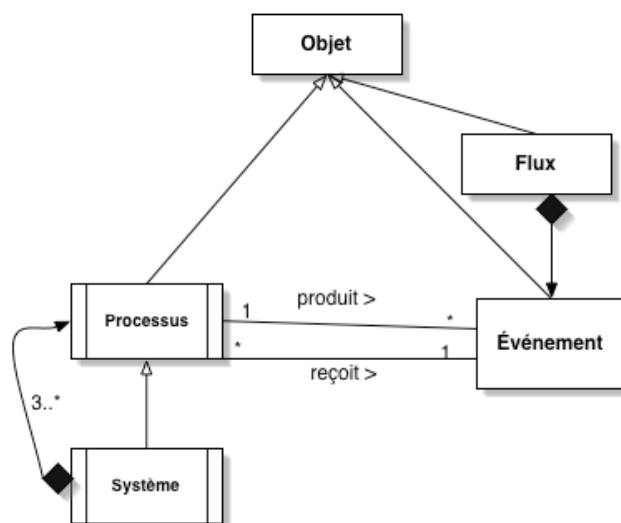


Figure 2 : diagramme UML des relations entre Objet, Processus, Flux et Système

Dans un système de processus, certains processus peuvent être des processus matériels, des processus biologiques ou des processus sociaux. Ils seront considérés par les processus informatiques en tant qu'ils sont instance d'une classe de processus abstraits qui capte et produit des événements et des flux. On voit bien cette situation avec les avatars représentant les personnes dans les systèmes de réalité virtuelle. C'est dans ce contexte des processus interactifs qu'on peut poser la question des IHM et du DHM de façon plus moderne et intégrer tous les aspects de l'informatique : calcul, données, interaction, contrôle.

3.2 Le dialogue

À partir des années 80, les IHM à manipulation directe ont pris la place qu'on attendait pour le DHM en évitant la représentation du sens. L'usage du langage dans les IHM est restreint : étiquettes sur des boutons, items dans des formulaires, phrases d'explication, messages d'erreurs. L'utilisateur peut taper des réponses codifiées : oui ou non, des noms propres, des nombres. Il peut aussi choisir sa réponse dans une liste déroulante. Quand l'expression libre est permise (aides à l'utilisateur), la compréhension se fait par mots-clés. La

machine ne comprend pas ce qu'elle dit et les usagers ne peuvent pas s'expliquer. Dans beaucoup de domaines – enseignement assisté, aides techniques, recherche documentaire – les machines peuvent jouer des rôles que les humains ne peuvent pas jouer parce qu'elles ne s'ennuient jamais quand elles répètent la même chose, parce qu'elles ont une mémoire sûre et sans limite pratique, parce qu'elles calculent plus sûrement, elles font moins d'erreurs. Mais les limites à ces usages sont dues aux difficultés de communication entre l'homme, qui utilise les langues naturelles et la machine qui utilise des langages artificiels construits sur des bases totalement différentes.

Les années 90 ont vu de grands projets sur le dialogue mobilisant des équipes importantes : TRAINS, VERMOBIL. La théorie des actes de langage est utilisée. La dimension située du dialogue est prise en compte avec l'enchaînement d'actions langagières et non langagières (délivrer un billet de train par exemple). Objets, actions et événements forment un monde partagé entre l'utilisateur et le logiciel. Une approche expérimentale se met en place avec le recueil et l'étude de corpus (Magicien d'Oz). La multimodalité oral-écrite est essayée, par exemple dans le système Halpin [Rouillard, 2000].

Or ces systèmes ne font que des simulacres de dialogue, en ce sens qu'il n'y a pas de retour de l'activité dialogique sur le sujet parlant, c'est à dire que la machine qui parle et écoute n'est pas modifiée par cette activité. Ils n'apportent donc pas un avantage décisif sur les IHM. Actuellement, aucun système à notre connaissance ne peut interrompre son interlocuteur et la multimodalité reste rigide et strictement codifiée.

3.3 La simulation

Les premières simulations informatiques des phénomènes physiques, biologiques et sociaux étaient très proches des modèles mathématiques et statistiques, cherchant à les implanter par des méthodes numériques d'approximation quand les systèmes d'équations n'avaient pas de solution analytique. Elles restaient donc dans le paradigme du calcul. Cette question de la modélisation mathématique des processus physiques, biologiques et sociaux a été discutée dans le dialogue entre Cornélius Castoriadis et Francisco Varela à France Culture [Castoriadis et Varela, 1999]. Le dépassement des difficultés de cette implantation numérique de la modélisation mathématique exige une autre modélisation informatique, en terme d'actions et d'interactions [Wegner, 1996]. Elle est à la fois une description des phénomènes et une reproduction dynamique des processus par des moyens numériques. Commencée dans les années 60 avec Simula, elle s'est développée avec les systèmes multi-agents, puis a pris un nouveau tournant avec la réalité virtuelle. Dans cette formalisation informatique par programmes, il s'agit de construire des processus numériques analogues aux processus naturels [Hofstadter, 88 p.513, 515]. Il faut que ces processus puissent changer de substance en conservant leur forme et leur dynamique.

Par focalisation sur les interactions, on peut les étudier d'une toute autre manière qu'en les mettant en équations. Les équations, du mouvement par exemple, peuvent jouer un rôle, mais il est subordonné. Le Centre Européen de Réalité Virtuelle de Brest a proposé ainsi des simulations phénoménologiques du comportement de la houle et des bateaux, des réactions sanguines aux médicaments [Tisseau, 2001].

4 L'informatique comme infrastructure des médias et des communications

Depuis la fin des années 80, on assiste à une interpénétration de l'informatique et des réseaux téléphoniques. Dans nos sociétés, l'informatique a envahi le contrôle des processus techniques et sociaux : téléphone, réseau électrique, usines. Elle a aussi transformé l'imprimerie, la presse, la télévision, d'abord au niveau de la fabrication, puis de la distribution. Alors que dans les années 90 la motivation d'achat des ordinateurs personnels était principalement les traitements de textes et les tableurs, la motivation d'achat actuelle est le Web, le mail, le chat. Les jeux vidéo sont un usage ancien mais ils gagnent en qualité et s'installent sur des machines dédiées comme sur des machines généralistes. Ils sont à l'origine de la réalité virtuelle qui se développe dans d'autres domaines comme la reconstitution de bâtiments ou de lieux et la simulation.

Cette pénétration de l'informatique dans tous les domaines techniques et sociaux est progressive, tant dans l'espace, le temps que par les applications développées. Elle ressemble à celle qu'on a connue au début du 20^{ème} siècle pour l'électricité. Elle amène de nouveaux champs de recherche comme la sécurité, le document, la fouille de données et de textes. Il y a une mutation dans le domaine de l'IA qui bascule progressivement de l'automatisation des tâches de raisonnement et de décision à l'assistance aux utilisateurs et aux communications : CSCW, forums, Web sémantique. L'activité collaborative prend le pas sur la représentation.

François Rastier [Rastier & al., 94 p.4] fait justement remarquer que « toute pratique sociale se développe dans trois sphères :

1. Une sphère physique constituée par les interactions matérielles qui s'y déroulent...
2. Une sphère sémiotique constituée des signes (symboles, icônes et signaux) qui y sont échangés ou mis en jeu. Ces signes doivent être rapportés à des systèmes et à des processus d'interaction entre systèmes...
3. Une sphère des processus mentaux propres aux agents et en général fortement socialisés. »

Les interactions homme-machine se placent simultanément sur ces trois niveaux :

Au niveau physique, toute communication passe par un média matériel et des contraintes sont posées par le temps et l'espace pour la transmission des messages à distance.

Au niveau social, il y a des routines interactives, des ethnométhodes, des conventions pour ouvrir et fermer le dialogue, passer la parole, acheter et vendre... il y a des systèmes de signes, des langues, pour que les énoncés puissent faire sens pour les allocutaires.

Au niveau mental, il faut être en disposition d'écoute, connaître le système de signes, pouvoir produire des sons, des gestes ou des traces interprétables, projeter sur l'autre des intentions de communication. Cette question est développée dans la section 4. de [Nicolle & Saint-Dizier de Almeida, 1999].

C'est l'interaction des machines à travers les réseaux qui a amené la prise en compte de la dimension sociale des activités et des modèles informatiques.

4.1 Le dialogue

Les recherches en DHM s'orientent vers les aides à la communication médiatisée par ordinateur. Ils s'attaquent à la question du langage par le biais des interactions inter-humaines. Alors que la musique a trouvé sa place dans les usages des machines, la parole orale reste très peu utilisée en interaction. La machine peut produire des énoncés oraux adaptés dans un grand nombre de situations, mais elle ne sait pas écouter les énoncés humains de manière satisfaisante, à cause des difficultés rencontrées dans l'analyse de la parole. Dans un certain sens, la différence entre l'écrit et l'oral est secondaire car l'oral et l'écrit fonctionnent suivant les mêmes principes sémiotiques : le sens se construit socialement et s'acquiert par la pratique. Plus centrale que l'opposition oral/écrit est l'opposition entre parole spontanée et parole préméditée (théâtre, discours, informations à la radio). Dans la communication inter-humaine médiatisée par les artefacts (mail, chats, SMS, forums), il y a de la parole spontanée sur le mode écrit. Le dialogue entre humains à travers les machines invente des formes nouvelles de pratiques sociales : mail, chats, qui transforment le rapport oral/écrit. Ces nouvelles pratiques posent des questions théoriques nouvelles, sur l'insertion des machines en réseau dans des chaînes d'interprétants au sein de pratiques sociales variées. Il y a deux directions d'évolution possibles :

1. L'apparition d'une approche de l'informatique centrée sur les usagers amène à poser la question de la cognition et du langage dans la conception des interfaces. Au lieu de mettre l'accent sur la formation des usagers, sur la documentation, on met l'accent sur l'adaptation de l'interface aux usagers, sur l'intuitivité des interfaces, sur les affordances.
2. Le dialogue en langue naturelle peut être envisagé comme un mode d'interaction avec les machines complémentaire des méthodes existantes

en IHM pour des situations plus complexes où les interfaces à boutons et les formules logiques sont de peu d'utilité :

- pour la recherche d'informations sur les fonctions du logiciel,
- pour comprendre ses erreurs,
- pour l'aide à la conception de choses qui n'existent pas encore,
- pour la co-construction de projets

On doit alors sortir des langages opératifs fermés pour dialoguer en langue naturelle, c'est à dire dans une langue différentielle, ouverte et évolutive.

4.2 La simulation

Avec les machines grand public et les réseaux, la prise en compte de la cognition humaine dans l'interaction homme machine renouvelle la vision de l'informatique et devient centrale dans la conception des logiciels. La simulation par l'informatique montre bien cette évolution : la simulation participative amène à faire intervenir l'observateur pendant la simulation pour affiner les modèles et pour tester des hypothèses au lieu de chercher à construire à l'avance un modèle qu'on validera ensuite [De Loor, 2006].

5 L'interaction et l'apprentissage comme fondements d'une nouvelle approche

Alors que des limites matérielles et logicielles ont été franchies à plusieurs reprises en informatique, les limites théoriques liées aux machines de Turing sont encore présentes dans la pensée des chercheurs en informatique et elles limitent leurs pratiques. Peter Wegner a décrit les machines interactives en référence tant aux interactions homme-machine qu'aux interactions des machines à travers les réseaux : les machines interactives avec des interactions multiples et cachées [Wegner, 1998]. Mais il faudra beaucoup de travaux pour leur donner une assise comparable à celle des machines de Turing qui sont étudiées depuis 70 ans.

5.1 L'interaction comme fondement des IHM

Le point de vue de l'interaction a montré sa puissance dans les simulations dès les années 60. Ce point de vue change la façon d'appréhender les IHM et le DHM, comme il change de nombreux domaines de l'informatique et de l'IA. Le focus en IHM a été mis longtemps sur la composition graphique des interfaces, sur les rapports entre les applications et les interfaces, sur l'ergonomie, l'esthétique et les chartes graphiques. C'est récemment qu'on s'est aperçu qu'il fallait modéliser l'interaction, pas les interfaces [Beaudoin-Laffont, 2004]. J'ajouterais même, pas les utilisateurs, car ils sont là.

Toutes les questions d'interfaces personnes machines peuvent être regardées d'un point de vue interactionniste, pour comprendre autrement les difficultés

rencontrées et proposer des solutions plus efficaces. Par exemple la recherche d'informations sur le Web est vue traditionnellement comme la réponse à une description que l'utilisateur fait de ses intentions. Mais l'utilisateur ne sait pas toujours vraiment ce qu'il veut, et il a du mal à l'exprimer. Certaines difficultés sont dues au modèle logique des requêtes, à cause des différences d'interprétation entre les connecteurs logiques et les connecteurs grammaticaux (*et ou non*). D'autres difficultés sont dues au modèle de recherche à partir des mots clés, qui considère les mots comme invariables (pas de prise en compte de la morphologie) et comme s'ils contenaient le sens (pas de prise en compte du contexte, des synonymies, des hypéronymes...). Ces critiques ont déjà été faites et des moteurs de recherche payants proposés aux entreprises tiennent compte de la morphologie et de la sémantique lexicale, mais le « mot graphique » est un point de vue trop étroit pour la recherche d'informations (locutions, importations, évolutions). Une autre difficulté provient de l'impossibilité de faire changer l'initiative, en amorçant des échanges incidents, pour obtenir des explications, préciser des notions, critiquer les résultats, c'est une application possible des recherches en DHM que d'introduire dans les IHM des possibilités de différer la réponse par un dialogue incident. Mais la difficulté principale vient de la vision du dialogue comme succession d'énoncés auto-construits, dont l'allocutaire doit « découvrir » le sens. Or à l'oral, le locuteur entend son énoncé comme l'allocutaire et l'interprète en même temps que lui. Et à l'écrit, on se relit pour voir si on a bien dit ce qu'on voulait dire. Ce n'est donc pas seulement le locuteur qui est propriétaire du sens de ses énoncés, mais tout auditeur, du fait des conventions sociales qui constituent la langue [Coursil, 2000]. Pour remédier aux difficultés des IHM, il faut changer radicalement de point de vue, partir des attentes de l'allocutaire et de son travail d'interprétation. Pour en avoir un exemple, voir le site Web du parlement européen, créé par Ludovic Delépine², et les réactions positives qu'il a reçues. La qualité de la conception de ce site vient des théories qu'il a développées dans sa thèse [Delépine, 2003].

5.2 Le dialogue

C'est à la suite de tentatives infructueuses pour formaliser les langues avec des modèles récursivement énumérables, comme on l'avait fait efficacement pour les langages de programmation dans les années 60, qu'un autre point de vue a pu être développé, le point de vue de l'interaction comme source et enjeu de la constitution des langues. L'interaction introduit, avec la notion d'événements, la dimension du statistiquement prévisible sans être formellement prévisible. On a vu dans l'analyse de la parole comment l'usage des modèles de Markov cachés a débloqué la situation créée par les modèles formels.

² www.europarl.europa.eu/news/public/default_fr.htm

Le dialogue homme/machine est au confluent de l'imprévisibilité des événements et de l'imprévisibilité de la parole. Il prend toute sa dimension avec la co-adaptation langagière. La co-adaptation langagière homme/machine est un processus en cours qui n'est contrôlé par personne. Elle peut être automatisée en partie à condition de construire un modèle conceptuel du langage sur des principes pertinents et réalistes [Vergne & Giguet, 1998]. Or ces principes amènent à réviser la plupart des notions utilisés en traitement automatique des langues : grammaires formelles, importance du lexique, représentation du sens. Le sens s'éprouve dans l'expérience du monde, il ne se représente pas. Seuls des agents (processus ayant des buts propres) ont accès au sens, pas les machines qui leur servent de support. Le sens est un processus lié à l'interaction, il se construit dans l'interaction qui en retour construit notre pensée. Le point de vue interactionniste permet de se focaliser sur d'autres aspects, de replacer le langage dans une activité de perception et d'action bouclées.

Les premiers dialogues étaient purement verbaux et construits d'une manière technico-logique. Les travaux de recherche sur les agents conversationnels de dialogue ont pris une autre direction, l'animation de personnages avec des voix de synthèse et l'expression des émotions par les attitudes et les mimiques. C'est assez spectaculaire, mais le dialogue sous jacent est du type de celui d'Eliza, comme si une frontière conceptuelle ne pouvait pas être franchie.

Pour toutes les applications informatiques simples, où l'ensemble des ordres à donner à la machine est facile à énumérer et à mémoriser, les interfaces à boutons ou à menus déroulants, qui fonctionnent avec un modèle récursivement énumérable, sont certainement supérieures au dialogue en langue naturelle, qui doit prendre en compte la complexité du langage. Les limites à leurs usages, les appréhensions et difficultés des usagers, tiennent souvent aux difficultés de l'interaction trop rigide qui en découle. Or, comme l'interface doit assurer la relation entre le logiciel et les usagers, c'est à travers les interfaces que les usagers ont ou non une bonne opinion du logiciel. Le recours au dialogue est donc inéluctable, mais à condition qu'il sorte des modèles du récursivement énumérable.

6 Du récursivement énumérable au complexe

La théorie du calcul comme la théorie de l'information sont des théories du récursivement énumérable. Dans le paradigme fonctionnel comme dans le paradigme objet, les langages de commande des systèmes d'exploitation ou les langages de programmation sont strictement normalisés, avec une sémantique compositionnelle. Ils acceptent et génèrent des ensembles de données et de règles récursivement énumérable. Ils ne permettent de dire que ce qui a été prévu au départ et les utilisateurs doivent donc se soumettre à un apprentissage précis. Mais les applications informatiques sortent du récursivement énumérable par leurs interactions avec des capteurs physiques

ou avec des humains. Il faut donc accepter de prendre en charge pratiquement et théoriquement le statistiquement prévisible.

L'apprentissage par l'interaction s'impose alors comme mode de conception des agents logiciels autonomes, doués d'une compétence langagière, mais cet apprentissage n'est pas, comme dans les réseaux connexionnistes, une phase préalable à l'utilisation de l'agent, il est intrinsèque à son activité d'attribution de sens.

Références

- Beaudouin-Lafon M., *Designing Interaction, not Interfaces*, Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, May 25-28, 2004
- Castoriadis C. et Varela F., in *Dialogues*, éditions de l'Aube, 1999
- Coursil J., *La fonction muette du langage*, Ibis Rouge Éditions Presses Universitaires Créoles, Guadeloupe, 2000
- De Loor Pierre, *Autonomisation de modèles de simulations participatives*, HDR, Brest, 2006
- Delépine, *Un assistant d'aide à la recherche de documents visités dans le contexte du Web : Approche sémio-technologique*, Thèse de l'Université de Dijon, 2003
- Dina Goldin and Peter Wegner. The Church-Turing thesis : Breaking the myth. In *Lecture Notes in Computer Science*, volume 3526, pages 152,168. Springer, 2005
- Hofstadter D., *Mathémagie*, Interéditions, 1988
- Nicolle A. & Saint-Dizier de Almeida, V., *Vers un modèle des interactions langagières*, in MOULIN B., DELISLE S., CHAIB-DRAA B. editors, *Analyse et Simulation de conversation : De la théorie des actes de discours aux systèmes multiagents*, pp. 133-169, L'Interdisciplinaire, 1999
- Nicolle A., *Sciences de l'artificiel, modélisation et rationalité*, Revue d'intelligence artificielle, vol. 16, n° 1-2, pp. 63-86, 2002
- Nicolle A., *Prolégomènes à une théorie des processus interactifs de durée indéfinie*, publication du séminaire Du Sujet : Théorie et Praxis, pp. 29-45, MSH Paris, 2004
- Nicolle, A., *Temps et processus*, Journées de Rochebrune « Le temps dans les systèmes complexes naturels et artificiels », Megève, France, ENST 2004 S 001, pp. 229, 239
- Rastier & al., 94 F. Rastier, M. Cavazza, A. Abeillé, « Sémantique pour l'analyse » Masson 1994
- Rouillard, J., *HYPERDIALOGUE SUR INTERNET. Le système HALPIN*, thèse d'informatique de l'université Joseph Fourier, 2000
- Tisseau, J., *Réalité Virtuelle – autonomie in virtuo*, 2001 www.cerv.fr/~tisseau/doc/hdr/hdrJT.pdf
- Vergne, J. et Giguet, E., *Regards Théoriques sur le "Tagging"*, TALN, 1998
- Wegner P., *Interaction as a Basis for Empirical Computer Science*, Computing Surveys, March 1995
- Wegner P., *Interactive Foundations of Computing*, Theoretical Computer Science 192, Feb. 1998

Invariance and criticalities in regional commuting flows:

an analysis of past trends and some scenarios for Piedmont

Sylvie Occelli

IRES Istituto di Ricerche Economico e Sociali del Piemonte,
via Nizza 18, 10125 Turin, Italy
Occelli@ires.piemonte.it

Résumé

This paper gives an outlook at the mobility changes which occurred in the Piedmont region over the last decades. First, a few descriptive indices are computed which allow us to have a sharpened descriptions of those changes. They show that, over the study period, and for the adopted level of analysis, the overall spatial flow pattern is quite resilient. Then, also because of the research stimuli raised by a number of policy questions concerning the effects of broadband diffusion on regional growth and its sustainability, an effort to challenge the resilience of the regional structure is made. A mobility scenario is built in which some *extreme* hypotheses of travel changes are investigated, based on the substitution possibilities offered by the Information Communication Technologies in relating residence and work places

Key words: Commuting flows, spatial pattern, accessibility, sustainable mobility, scenarios of ICT travel substitution...

1 Introduction

The levels of travels are a critical issue in most regions and metropolitan areas of developed countries.

From the transportation point-of-view, controlling their physical manifestation, the motorized traffic, is one major endeavour for coping with pollution and environmental externalities. From the spatial point-of-view, analysing their functional role, allows us to identify the network of relationships between cities, and derive useful descriptive measures of the underlying spatial organization (see Occelli and Rabino, 1997, Berroir et al., 2000).

In this paper, attention is turned to the analysis of changes in commuting flows, i.e. one major component of the so-called mandatory flows¹, which occurred in Piedmont between 1971 and 2001. This covers a period in which the regional system underwent deep economic transformations, i.e. those

¹ In 2004, journeys-to-work represented the 28% of the total daily travels taking place in Piedmont. Mandatory flows, which also include journeys-to-schools and business journeys, account for 39% of the total flows (see Occelli, 2006).

related to the so-called post-fordist transition, and in which relevant spatial diffusion processes of population and activities, took place from the main cities to the less densely populated areas.

The flow matrices between the 1206 municipalities, obtained from census data, at different points of time, are compared by means of synthetic measures, i.e. the nodal, entropy and job accessibility indices. As they make it possible to describe the underlying spatial pattern associated with a flow matrix, these indices provide proxies of its performances. Their analysis shows that in spite of the noticeable changes which were observed over the study period:

- the hierarchical spatial pattern associated with the commuting flows is markedly resilient;
- the entropy and job accessibility indices are those most sensitive for appreciating the regional modifications of the spatial pattern associated with the travel changes.

Then, as a result of the research stimuli raised by a number of policy questions concerning the effects of broadband diffusion on regional growth and its sustainability, an effort to challenge the resilience of that regional structure is made. A mobility scenario is built in which some *extreme* hypotheses of travel changes are investigated, based on the substitution possibilities offered by the Information Communication Technologies in relating residence and work places.

2 Changes in commuting flows in the Piedmont region over the last three decades

2.1 An overview

In Piedmont as in many other Italian regions commuting flows underwent significant changes over the last decades. These were produced by both economic changes, i.e. those associated with the transition to a service and more globalised economy, and spatial diffusion processes of both resident population and activities which moved from the inner and more congested parts of cities to the peripheral and less densely populated ones at their outskirts. The latter caused a substantial increase in commuting flows also paralleled by a rise in long and medium range journeys-to-work, and a sharp reduction of short range ones which previously took place within the municipality boundaries.

The overall trend of changes which occurred over the 1971-2001 period is summarized in Fig. 1 which shows the cumulated travelled distances for journeys-to-work at census years. The figure clearly shows that the greatest increase occurred between 1981 and 1991, when the total number of commuting flows increased by over 30% and the total distance travelled by more than 40%.

Those changes, however, had a modest impact on the average traveled distances, which remained relatively stable over the whole 1971-2001 period, see Fig.2.

The rise in the level of flows did affect the structure of their spatial pattern. This is markedly hierarchical and reflects the spatial organization of settlements in Piedmont which consists of a few large towns (only 63 communes out of 1206 have more than 30 thousand inhabitants) and a majority of small communes.

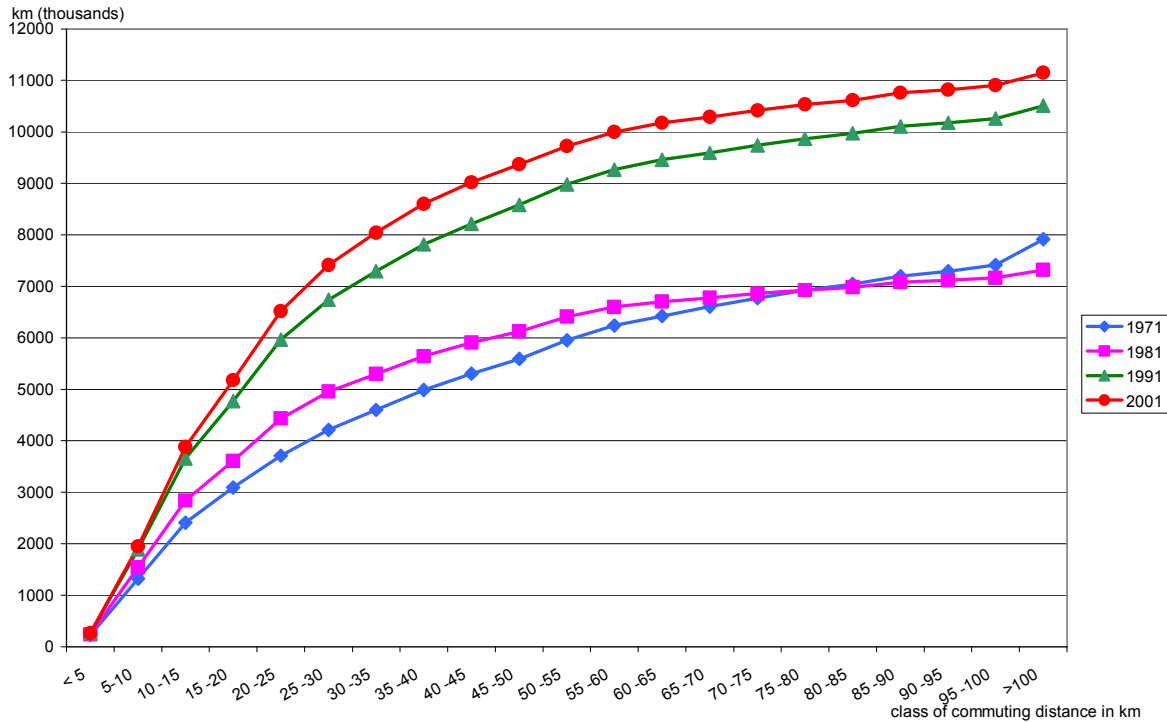


Figure 1 Cumulated travelled distance in journeys-to-work in Piedmont in the 1971-2001 census periods

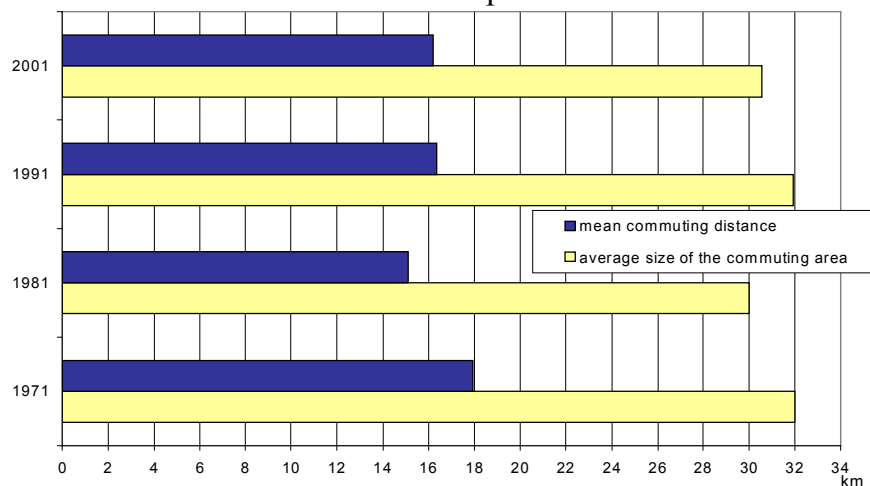


Figure 2 Average travelled distance in journeys-to-work in Piedmont in the 1971-2001 census periods

As a result of that rise, between 1971 and 1991, the hierarchical flows, i.e. the maxima outflows of journeys-to-work directed to towns ranking higher in the urban hierarchy than the towns which they originated from, underwent a

noticeable decrease. Although less accentuated, that trend (increase in the total flows and reduction of the hierarchical ones) continued also in the last decade (see Bottazzi and Rabino, 2006).

The resulting impact at the sub regional level can be appreciated by comparing the increased municipality gross mobility rates between 1991 and 2001, above all in those area surrounding the major towns see Fig.3.

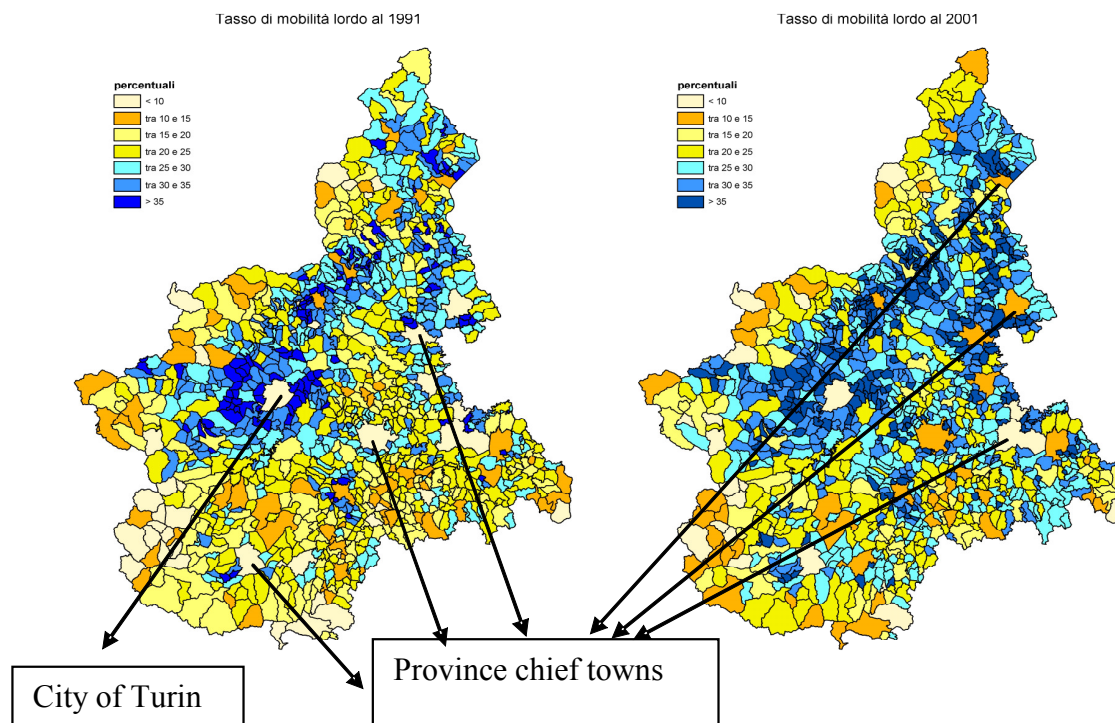


Figure 3 Gross mobility rates in the Piedmont communes in 1991 and 2001

2.2 A statistical overlook

To get a deeper insight into the changes which occurred in the commuting flows during the study period a few statistical indices were computed and namely: the nodal, entropy and job accessibility indices.

These are calculated from the matrices of flows between the 1206 communes which have been obtained from the 1981, 1991 and 2001 Population Census data².

The nodal index is simply defined as the number of links, associated with the commuting flows, that is the number of communes which are connected by commuting flows. The greater its value, therefore, the thicker is the network of relationships underlying a flow matrix³.

The entropy index which is expressed as:

² The 1971 flows are excluded because they were derived from a population sample and the resulting matrix is not fully comparable with the matrices available at the other census years.

³ Of course, several network indices exist and might be used to describe the features of the network established by commuting flows. In this application we chose to use a measure of the outdegrees of the nodes of the directed graph associated with the commuting flows.

$$E = - \sum_{ij} p_{ij} \text{Log } p_{ij}, \quad (1)$$

where

$$p_{ij} = f_{ij} / F, \quad (2)$$

and f_{ij} is the commuting flow between commune i and commune j and F is the total number of flows, occurring among all the communes⁴.

The higher the entropy value, the greater is the heterogeneity of the commuting matrix, i.e. flow network is denser. In this context, this index can be viewed as a proxy of the congestion associated with a certain flow matrix.

The job accessibility index is defined as:

$$A_i = \sum_j L_j d_{ij}^b \quad i, j=1, N \text{ or } j=1, F, \quad (3)$$

where

N are the 1206 communes

F are the set of the communes linked by commuting flows

L_j represents the number of jobs in commune j (expressed as the logarithm of the total inflows in commune j)

d_{ij}^b is the (logarithmic value of the) distance between commune i and commune j

b is a parameter measuring the impedance of the distance between communes⁵. In this application, b has been set equal to -3 . The reason of this choice is given in Appendix.

Given a zone i , therefore, the higher is the number of jobs in its surrounding zones and the closer these are, the greater is the job accessibility of zone i .

Eq. (3) is but the well known expression of a geographical potential, originally introduced by Hansen in the fifties as a measure of urban accessibility.

As indicated in the formula above, two computations of this index can be made. One is the conventional measure, in which all the communes are involved. The other is a more selective index which considers only those communes connected by the commuting flows.

Figure 4 shows the regional inter-census variations for the three indices. For comparative purposes also the changes in the commuting flows are recalled.

What the graph of Fig 4 clearly indicates is that over the study period all the indices raised. More specifically they show that:

- The trend of changes is similar in the two census periods: the growth in the level of flows is lower than that of the nodal and entropy indices. The latter on its turn, reveal a weaker increase than that of the accessibility index.
- The slow down in the growth rates observed in the 1991-2001 period is relatively less marked for the entropy and accessibility indices, than for the nodal index and the total number of commuting flows.

⁴ The flows directed outside the regional borders are excluded from the analysis.

⁵ Distances have been computed by means of a GIS analysis of the car transportation network.

Although quantitatively noticeable, at the regional level, the observed slow down did not substantially modify the overall spatial pattern of flows. This actually supports the established view that the structure of urban systems, no matter whether at the regional or national level, tends to be highly resilient. In the case of Piedmont case, however, such a resiliency seems to hinder other types of changes, of a more qualitative nature, which call for a more detailed analysis. Some clues in this respect are given by the modifications observed at the sub-regional (province) level, where two eastern provinces bordering Lombardy, Novara and Alessandria show a different trend of changes when compared with the one prevailing in the other provinces, see Fig. 5.

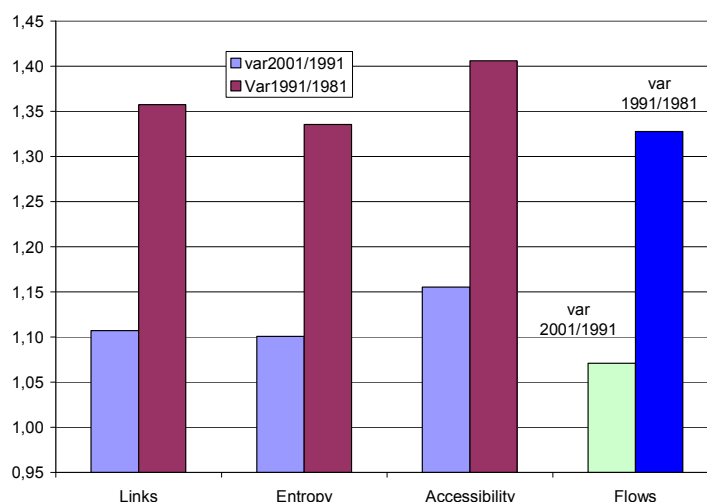


Figure 4 Variation of the nodal, entropy and (selective) accessibility indices and of the journeys-to-work in Piedmont the 1991-2001 and 1981-1991 periods

3 Scenarios of mobility changes: access to work by means of ICT

On a general level, the previous analysis suggests that the rise of travels has both negative effects, i.e. the growth in the total travelled distance and entropy level, and positive ones, i.e. the increase in job accessibility.

One most often debated and controversial question concerning mobility relates to its impact on sustainable development. The issue is critical on several grounds and raise many questions, i.e. how to reduce and/control the polluting and unsafe excess traffics and, even more crucially, how to decouple mobility rise from economic growth (see, Hourcade, 2006).

In the light of the endeavour which in Piedmont the regional government is currently undertaking to boost sustainable economic development⁶, the exploration of some of those issues can be considered as an effort worth being pursued.

⁶ We refer here to the fact that several governmental departments in Piedmont are currently busy in formulating new policy guidelines in many domains, such as transportation and regional planning.

In this direction, an hypothetic scenario is built aimed to explore the effects that substituting travels by *virtual* interactions, i.e. those digital interactions made it possible by Information and Communication Technologies, might produce on the level of commuting, given that the transportation demand for mandatory mobility does not change, Tab. 1 (see Bertuglia, Lombardi and Occelli, 1998).

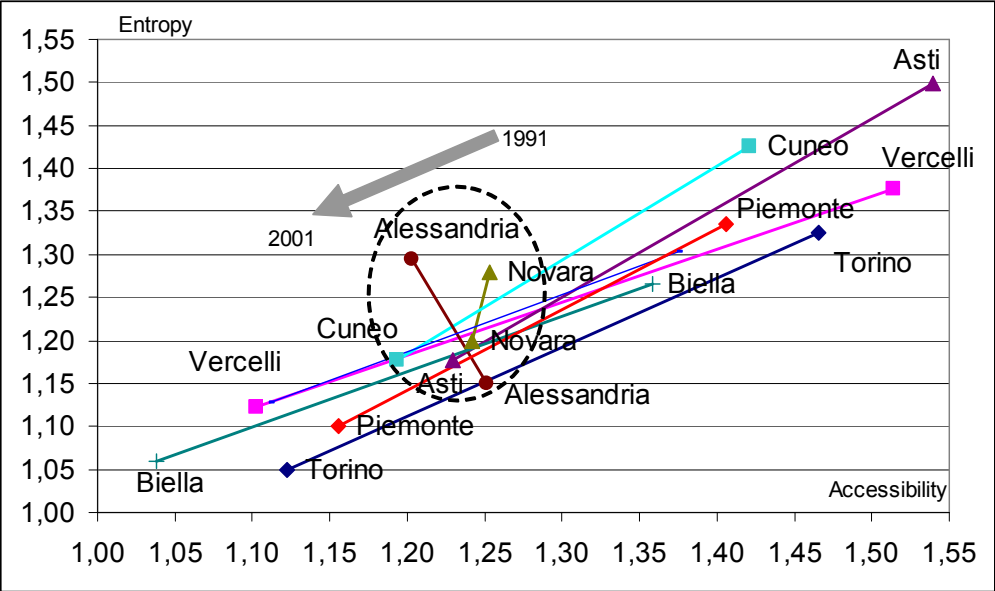


Figure 5 Rate of variations of the entropy and (selective) accessibility indices in the Provinces and in Piedmont in 1991-2001 and 1981-1991

Table 1 Types of effects of ICT on travels

Effects on activities	Effects on (physical) interaction	
	Substitution	Intensification
Direct short term effects mainly affecting physical interaction (i.e. transportation)	A) Fixed interaction demand: competition between transport and other means of communication i.e. reduction in the number, frequency or length of trips; increase in communications	B) Variable interaction demand: complementary between transport and other means of communication i.e. increase in virtual interactions; increase in the number and frequency of trips
Indirect long and medium term effects affecting activities and transportation	n.s.	C) Variable interaction demand also as a result of organisational and location changes of activities i. e. increasing number of contacts, diversification of the means of interaction by activity, location and employment

Of course, as emphasized in Tab. 1, the scenario is very crude and only partially reflects much more complex phenomena (see Landini and Occelli, 2005). In spite of its shortcomings, however, an application may be justified in the light of the policy endeavour mentioned above. The scenario supposes that:

- Due to the increasing diffusion of broadband connections in Piedmont, it cannot be excluded that the possibility to work at a distance would also increase;
- As a consequence, - in a situation of unchanged, if not decreasing, mobility rates, for mandatory mobility - commuting flows would reduce and result in both a saving in the travelled kilometres and an increase of job accessibility.

To build the scenario a set of information collected by the Piedmont ICT Observatory⁷ about broadband diffusion and adoption in the Piedmont local areas have been used. To specify the scenario the following set of hypotheses have been retained.

- A. Whenever a broadband connection between two municipalities exists then the flows between them may be reduced proportionally to the broadband adoption rate observed in the municipality where commuters live. A further more restricted hypothesis has been tested by considering only the commuters who usually travel more than the regional average travelled distance, 16; 2 km (see Fig. 2).
- B. Whenever a broadband connection between two municipalities exists, that distance may cancel out, thus making it available, in the residential zone, an increased level of (selective) job accessibility proportional to the broadband adoption rate observed in the municipality where commuters work. Two set of values for the adoption rates have been tested: a higher one as observed for firms with more then 10 employees (the regional value is 73%), and a lower one for firms with less then 15 employees (the regional value is 18%).

The main results of the set A of investigated hypotheses are shown in Figs. 6 and 7.

They clearly show that:

- If all the commuters living and working in a municipality covered by broadband would tele-work, then the total travels and travelled distances would decrease on the average by 65%. For the workers still commuting (Fig.7), the average travelled distances would remain unchanged at the regional level, but have a significant increase for the Turin and Biella provinces.
- If the commuters living and working in a municipality covered by broadband and using it would tele-work, then the total travels and travelled distances would decrease on the average by 15%. In this case, compared with the current situation, relatively small changes would be produced in the average travelled distances for the workers still commuting (Fig.7).

⁷ The documents can be accessed at www.sistemapiemonte.it/OsservatorioICT. The data used for specifying the scenario relate to: a) broadband municipality coverage; b) adoption rates by citizens and firms at provincial levels.

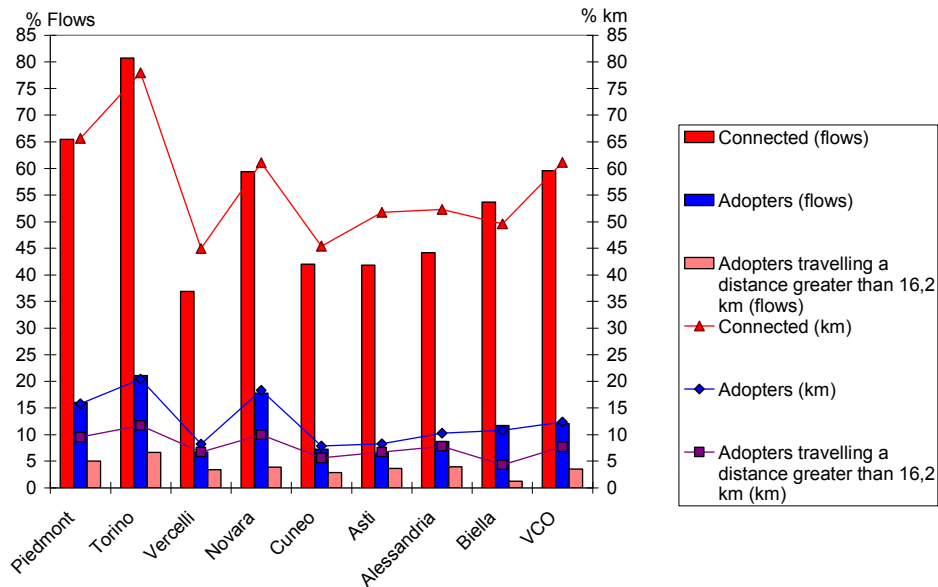


Figure 6 Percentage reductions of commuting flows and travelled distances in Piedmont and provinces as a result of the different hypotheses of travel substitution

- If workers, commuting a distance greater than the regional average (16,2 km), and living and working in a municipality covered by broadband and using it, would tele-work, then travels and the total travelled distance would decrease on the average by 15%. In this case, compared with the current situation, a reduction of the average travelled distances for the workers still commuting is observed both at a regional and province level (Fig.7).

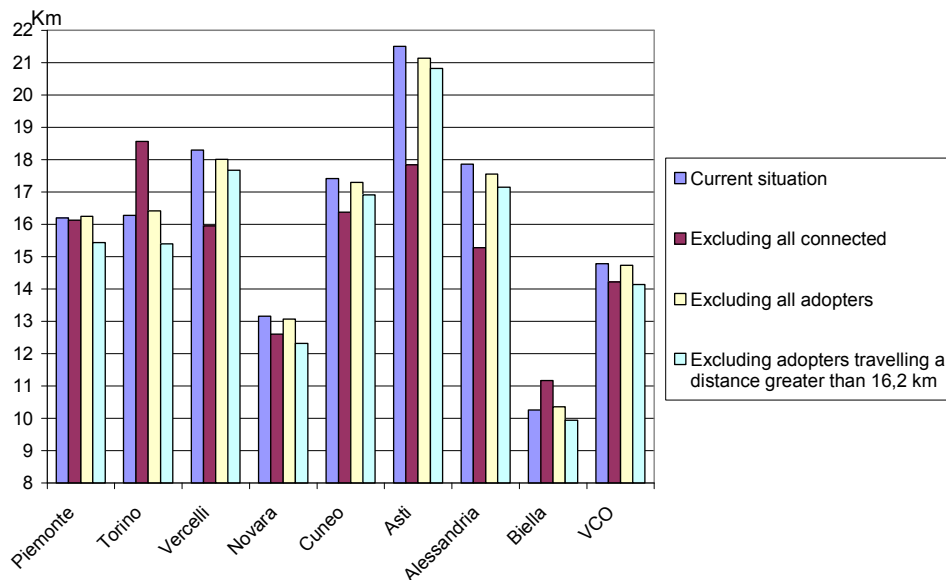


Figure 7 Average travelled distances for workers not tele-working in Piedmont and provinces as a result of the different hypotheses of travel substitution

The results of the set B of investigated hypotheses are summarized in Fig. 8.

They show that, for Piedmont, job accessibility would increase by a factor between 8 and 10. More interestingly they also point out that certain provinces that of Turin, VCO and Novara, would have the greatest benefits.

4 Concluding remarks

Apart from any comments about the conceptual and statistical plausibility of the results, the investigated scenario raise at least two main sets of questions worth being addressed in future research.

The first and actually still very open set of questions is both conceptual and methodological and concerns the appreciation of the specific features, overall profile and evolutionary path of a regional spatial structure. Using the terminology referred to by life scientists, this would turn out to assess to which extent a regional spatial organization is maintained as its structure (or part of it) is changed or needs to be modified.

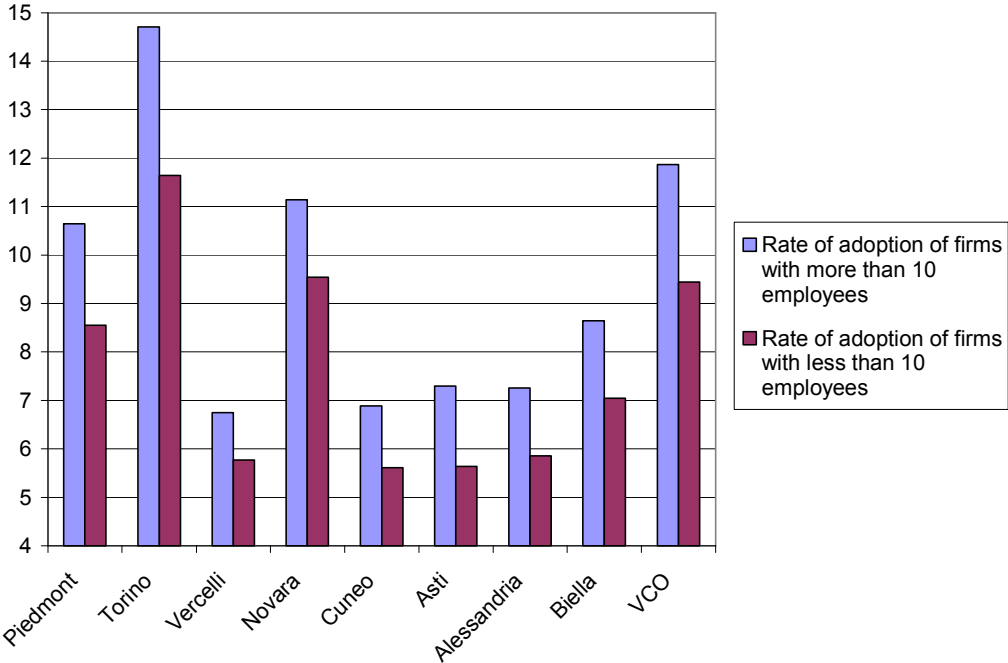


Figure 8 Changes in job accessibility for different hypotheses of broadband adoption rates in workplaces in Piedmont and provinces

The empirical analysis of commuting flows in Piedmont we discussed above seems to suggest that the modifications of the (urban) spatial asset which have been observed, are but adjustments which are undertaken to align the structural features to the change requirements of the regional system organization, - whose evolution rules, however, appear as naturally given or, at least, as uncritically overlooked- .

In this context, is to be put the second set of questions concerning the type of substitution effects likely to be produced by ICT. The ingenuity of the

scenario exercise which was carried is but a clue of the fact that the introduction of ICT requires to explicitly account of changes in the system evolution rules.

To deal with these issues we need to expand the conventional approaches to telework which consider it either as an individual phenomenon, i.e. one which bases the tele-work outcome on the frequency with which one is absent from the office, or as a correlate of technological progress, i.e. the substitution/complementary alternatives.

As recently pointed out (see Bailey, 2002) there is a need to study telework as a practice, applying at different systemic levels, with a broad range of potential impacts. For example at the individual level, one should consider the fact that telework might be a practice occasionally employed by individuals in order to avoid interruptions or reduce the pressures found in the workplace. Studies of corporate culture have pointed out that telework might alter the nature of the labour contract and that its choice may affect the organizations and be coincident with a shift in the balance of work requests. On a societal ground, time studies have recently highlighted the trend towards a merging of work time with private time which might cast telework as one option in a larger class of remote and virtual working at a distance arrangements. Finally, from the policy point-of-view, telework might be one among a broader palette of transport alternatives which, within a more informed society, are made available to citizens to access their jobs (see Occelli, 2006).

Whether these manifold facets of change will be roots of catastrophic-like events in the aggregate may well depend on the observation lens one would adopt. What recent surveys on ICT diffusion are showing is that whereas in most regions ICT equipments are increasing steadily, usage rates are still low, i.e. there are inherent cultural and societal inertia which hamper ICT impact and make it progressing slow.

Adopting a foresight lens, however, one cannot exclude that owing to the peculiar nature of ICT, i.e. the fact that ICT affect agents' conative functions (see Occelli, 2005), unexpected and qualitatively relevant changes might occur as a result of the both modified individuals' behaviours and their resulting impacts on organizations.

References

- Bailey D.E., Kurland N.B. (2002) A review of telework research findings, new directions and lessons for the study of modern work, *Journal of Organizational Behavior*, 23, 383–400.
- Berroir S., Cattani N., Occelli S., Rabino G.A., Saint-Julien T. (2000) Modèles régionaux et réorganisation des hiérarchies territoriales, RERU, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 5, 787-802.

- Bertuglia C.S., Lombardo S., Occelli S. (1998) Nuove tecnologie dell'informazione e sistemi urbani: elementi di riflessione ed un'agenda propositiva, in Senn L, Boscacci F. eds., *I luoghi della trasformazione e dell'innovazione*, AISRE, SEAT, Torino.
- Bottazzi A., Rabino G.A. (2006) L'organizzazione territoriale del Piemonte. Stato ed evoluzione, Paper Presented at the XXVII Aisre Conference, 12-14 October, Pisa.
- Hourcade J. (2006) Elargissement de l'union européenne, mondialisation. Le découplage entre croissance économique et la mobilité est-il souhaitable?, *Transports*, 437, 152-165.
- Landini S., Occelli S. (2005) Landini S., Occelli S. (2005) Info-mobility e propensione al telelavoro: un'analisi esplorativa per il Piemonte, WP. 195, Ires, Torino.
- Occelli S. (2005) Digital communities as collective *agents* of urban systems. Some evidence for the Turin Metropolitan Area, Turin, *NETCOM*, 19, 1-2, 79-100
- Occelli S. (2006) I cambiamenti della mobilità in Piemonte nei primi anni del 2000. Quaderno di Ricerca, 110, Ires, Torino.
- Occelli S., Rabino G.A. (1997) Understanding spatial structure from network data: theoretical considerations and applications, Paper presented at the 28th International Geographical Congress, The Hague, August, 4-10, 1996. Also published in www.cybergeo.org, n. 29.
- Wilson A.G. (1974) *Urban and regional Models in Geography and Planning*, Wiley, London.

APPENDIX

The determination of the distance parameter

To identify the values of the distance parameter most suited to the calculation of the job accessibility index a sensitivity analysis has been carried out, by exploring different values of the b parameter.

First an estimation of commuting flows, $F_{calc,ij}$, is made by formulating of an unconstrained spatial interaction model (Wilson, 1974):

$$F_{calc,ij} = O_i D_j d_{ij}^b, \quad (1)$$

where

O_i are the total outflows from commune i , $O_i = \sum_j F_{obs,ij}$

D_j are the total inflows in commune j, $D_j = \sum_i F_{obs,ij}$

$F_{obs,ij}$ are the observed commuting flows

d_{ij} is the distance between commune i and commune j (this has been derived from the graph of the car transportation network)

b is a parameter measuring the impedance of distance.

To cope with the high variability in the flow matrices, O_i , D_j and d_{ij} have been expressed in logarithmic term.

Then, a regression model is computed:

$$F_{obs,ij} = \text{constant} + a F_{calc,ij} + \text{error}, \quad (2)$$

where, $Fobs_{ij}$ are the (logarithmic transformation of the) observed commuting flows.

Equations (1) and (2) have been computed for each 1981, 1991 and 2001 flow matrix, with different values of the b parameter.

The results are graphically shown in Fig. 1, which plots the variance explained by model (2) depending on the values of (1) for the tested b values introduced in (1).

What Fig. 1 shows is that, for each flow matrix, the maximum value of the explained variance is obtained when $b=3$.

Although this result is worth being enquired further, it should not come unexpected given the fact that, as pointed out in the text, the average travelled distance remains relatively unchanged over the whole study period.

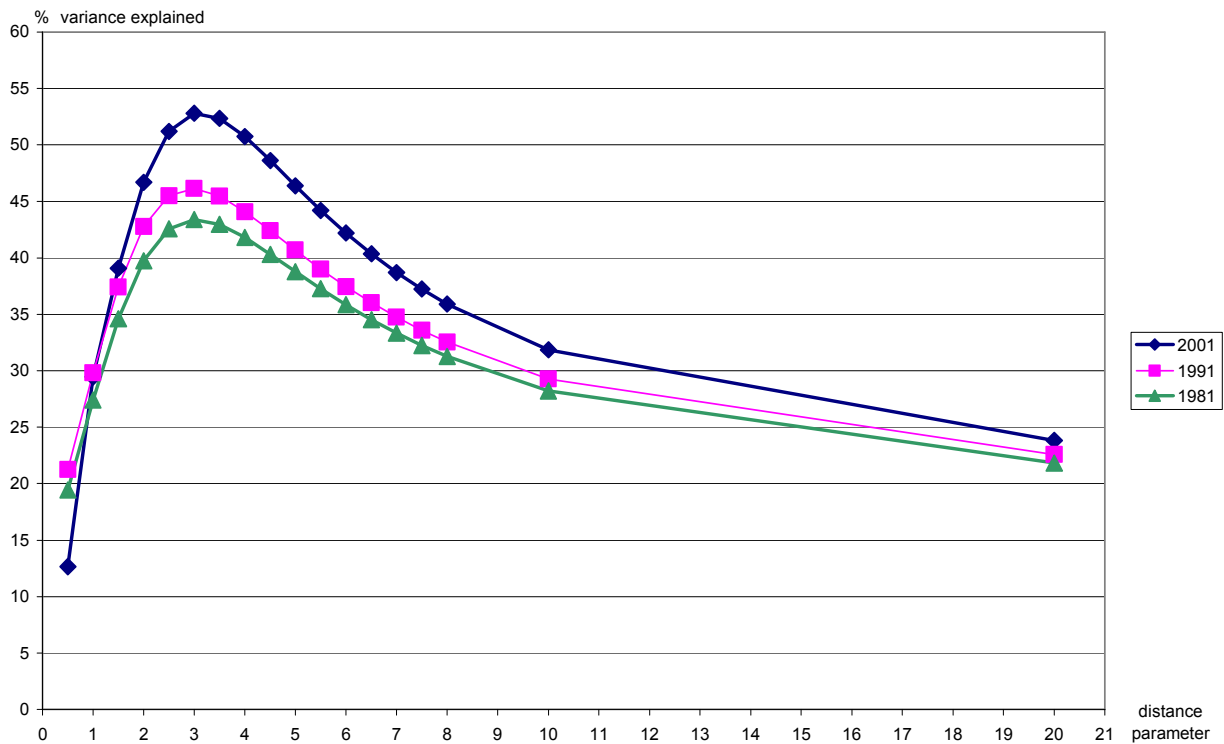


Figure 1 Variance explained by different values of the distance parameter in the estimation of the flow matrices at census years



San Diego, 25 septembre 1978, Pacific Southwest Airlines

Structurer l'espace perceptif : analyser et provoquer les catastrophes

Fabien Pfaënder, Barthélémy Maillet

Université de Technologie de Compiègne

{fpfaende,bmaillet}@utc.fr

Introduction

L'espace qui nous entoure est une source infinie d'informations diverses inscrites par nos semblables ou dessinées par la nature. La navigation dans cette richesse informationnelle permet d'acquérir des connaissances. Ces dernières sont largement tributaires des modalités de cette navigation. En effet, si l'espace exploratoire est en apparence libre et si chacun le parcourt à sa guise, il porte en lui-même des contraintes, des guides qui orientent la perception et les raisonnements qui en découlent. Les obstacles physiques sont une première classe de contraintes spatiales puisqu'elles empêchent l'action et structurent ainsi la perception. Cependant, ce ne sont pas là les seules guides possibles et l'espace en porte de nombreux autres qui participent tous d'un espace représentatif. Cet espace non-euclidien est formé par la perception que nous avons de ce qui nous entoure (Poincaré, 1968) avec tout ce qui peut orienter l'activité de découverte. Cet espace, à la base de notre activité de connaître, contient d'innombrables éléments, attracteurs, guides, structures qui participent tous à la construction du sens et qui sont intrinsèquement liés.

Comprendre de quoi cet espace se compose et comment il supporte une activité perceptive et interprétative est un enjeu important. En effet, cela permet non seulement de comprendre la cognition humaine, mais également d'analyser et améliorer bon nombre de dispositifs qui doivent s'inscrire spatialement. Décrire l'exploration de l'espace pour prescrire des règles d'inscriptions concerne ainsi de nombreuses disciplines, qui vont du design à l'IHM en passant par la visualisation d'informations. Nous proposons ici une perspective théorique pour une sémiologie spatiale à même de répondre à quelques-unes des attentes énoncées ci-dessus. Cette dernière base son approche sur une perception énaïve qui est le résultat d'une boucle entre les actions et les sensations. L'accroche ou les actions perceptives y sont constamment soumises à des attracteurs structurés dans l'espace, des catastrophes (Thom, 1983) qui dont il faut analyser les conditions d'occurrences pour comprendre comment naît le sens.

Dans un premier temps nous couplerons donc la notion de catastrophes avec une théorie perceptive de type constructiviste en vue d'analyser la structure perceptive. Nous tenterons également de montrer, grâce à des expériences ciblées, à quoi peut ressembler un espace représentatif et de voir comment l'espace se structure autour d'attracteurs simples. Il sera possible, dans un second temps, d'utiliser la structuration par les catastrophes pour orienter la perception et la cognition dans le design d'objets tangibles, la fouille de données visuelles ou les interfaces et l'IHM en général.

1 Perception et structure de l'espace

La découverte des principes de perception dans les interfaces et les objets devrait nous permettre de programmer les effets cognitifs de l'usage. Nous nous plaçons dans une perspective enactive qui est la plus à même de rendre compte du caractère dynamique de l'entendement sans souscrire au déterminisme.

1.1 – Principes théoriques fondamentaux

Depuis l'avènement de l'ordinateur, il est fréquent de considérer la perception comme un simple traitement des informations données aux entrées sensorielles par le cerveau (Tversky, 2005). En apparence séduisante, ce paradigme souffre de nombreux écueils, en particulier pour expliquer la relation dynamique entre les actions et les raisonnements associés qui apparaissent ici comme séparés. Afin de palier à cette vision trop procédurale, nous avons choisi de considérer que la cognition s'appuie sur une perception active du milieu environnant. Cette approche est difficile à maîtriser car les évolutions/constructions sont complexes, et, le milieu est lui-même composé de multiples supports de perceptions et d'attracteurs.

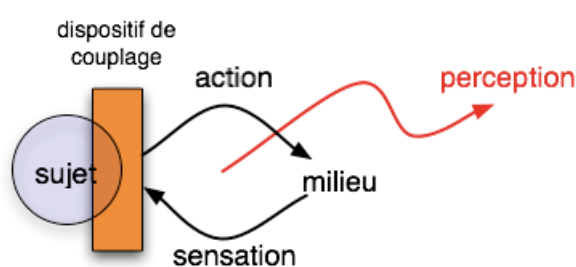


Figure 1 : La boucle sensori-motrice

Le sujet agit et obtient des sensations, proprioceptives ou non, en retour de ses actions. C'est la régularité entre ces actions et ces sensations, constituant une loi de contingence sensori-motrice (O' Reagan, 2001), qui permet de percevoir (Figure 1).

L'espace de l'exploration se constitue donc en même temps que la perception de ce dernier (Lenay, 2001). Il est possible d'en faire une description géométrique mais si l'on considère un point de vue en première

personne, cet espace représentatif souffre de nombreuses déformations suivant les guides à l'action qui peuvent exister au sein du milieu. De plus, les outils interviennent comme modificateurs du pouvoir d'action et de sensation. Ils s'insèrent non pas comme des intermédiaires entre le corps percevant et son milieu mais en couplage avec le corps pour former un nouveau corps. C'est le cas quand je manipule ma souris par exemple.

Si on considère la perception comme un processus dynamique, guider la perception, revient à guider les actions sur des structures qui vont les stabiliser. Or c'est précisément en analysant comment la perception est guidée que l'on peut comprendre comment l'on raisonne avec les informations présentes dans l'espace, qu'elles soient manipulables ou non.

1.2 Structures spatiales

Le rôle des structures est donc de servir de base à l'action perceptive. Considérons un espace vide de sens. Dans cet espace imaginaire ne se trouve aucune accroche sur laquelle agir et faire naître une perception. Un exemple simple est la page blanche, angoisse de l'écrivain bien compréhensible en ce qu'elle n'offre aucune prise sur laquelle faire courir l'entendement. Cet espace vide est brisé dès que l'on y introduit une saillance, une singularité sur laquelle le sujet peut s'appuyer pour poursuivre son exploration. Les actions désordonnées du sujet glissent donc progressivement vers les accroches possibles (voir 2.2) qui se trouvent en compétition pour attirer l'attention. La saillance la plus primaire est la ligne. C'est le premier vecteur d'accroche. Il peut s'agir soit de la limite d'une forme qui fait sens d'abord par sa frontière et non pas par son remplissage ; soit d'une ligne pure qui à son tour est soit un lien entre des éléments dans le cas d'un graphe par exemple, soit de guide de lecture dans un tableau de données ou un diagramme.



Figure 2 :
Trajectoire d'un sujet
dans un tableau
(Lenay, 2004)

Le tableau de données justement est une structure spatiale singulière par ses caractéristiques. Il illustre bien le guidage de l'action avec les lignes qui délimitent les cases. Une expérience menée en aveugle sur des tableaux de chiffres montre que les traces de l'exploration suivent les lignes et les colonnes, sans faire de diagonales, bien que celles-ci soient autorisées (Lenay, 2004). Les déplacements tous perpendiculaires et les écarts entre les lignes d'une taille comparable à celle d'une case montrent que ce ne sont pas les bords des cases qui sont les lieux les plus attracteurs mais les milieux des cases qui représentent le parcours idéal en minimisant les chances de glisser vers une autre case. Dans le cas du tableau, les lignes et colonnes sont donc des vallées à suivre tandis que les limites des cases sont des crêtes ponctuelles par lesquelles le sujet passe peu limitant instinctivement les chances de catastrophes qui conduirait à une désorientation spatiale car hors des guides.

Les structures spatiales fournissent donc des guides sous formes de puits ou de vallées attractrices qui font glisser vers elles la perception et orientent l'activité cognitive. Cette perception déformée ou formée par les lignes et leur prégnance est la source d'un espace représentatif biaisé par rapport à l'espace géométrique extérieur qui ne souffre pas de déformation. La ligne n'est ici pas une simple inscription spatiale mais plutôt une continuité d'irrégularités, une saillance étendue dont on connaît la forme qui peut être déclinée à d'autres modalités sensorielles que la vision.

Afin d'asseoir expérimentalement ces assertions basées sur les lignes et la déformation qu'elles entraînent sur l'espace perceptif ou représentatif, nous avons mené des expériences à la fois en statique sur un espace fixe, et en dynamique avec des objets ou des corps mouvants.

2 Déformation de l'espace perceptif

2.1 Le dispositif expérimental TACTOS

Le dispositif utilisé pour les deux types d'expériences est le même. Il est dupliqué pour l'expérience dynamique car alors deux sujets sont en interactions mais il reste composé fondamentalement d'une tablette graphique en guise d'effecteur et d'un stimulateur tactile de type braille pour le retour sensitif. La tablette sert à contrôler un champ récepteur à l'écran qui, en passant sur des formes, active les picots correspondant aux zones du champ activé. Le sujet est aveuglé par un masque et ses seules entrées sensorielles sont, d'une part, sa proprioception qui le renseigne sur les déplacements qu'il effectue sur la tablette, et d'autre part, le retour tactile.

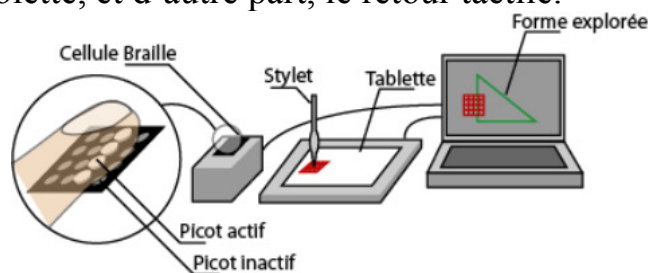


Figure 3 : le dispositif TACTOS

Ce dispositif expérimental volontairement minimaliste permet de mesurer précisément ce qui a été perçu par le sujet. En outre, il est parfaitement adapté à une exploration dynamique car le sujet est obligé d'agir pour confirmer/stabiliser sa perception des formes présentées. Cela limite les parasites que l'on rencontre en suivi oculomoteur par exemple où le parallélisme de l'œil doté de milliers de capteurs fait que l'on ne peut jamais savoir avec précision ce qui a effectivement été perçu par le sujet. Dans notre cas, le parallélisme se limite à 16 capteurs ce qui rend l'interprétation des résultats plus juste et plus facile.

2.2 Exploration d'un espace statique

Les expériences présentées ici sont une ré-interprétation sous un autre point de vue d'expériences préalablement conçues pour analyser les stratégies d'exploration des sujets et leur compréhension de ce qu'ils avaient "sous les doigts". Nous avons repris ces expériences consistant en l'exploration de formes simples ouvertes ou fermées, composées de quelques lignes seulement. On peut voir sur la figure 4 la trace de l'exploration du sujet sur la forme (en vert lorsque le sujet est sur la forme). L'espace autour de la forme est perceptivement vide. Il s'agit d'un vide de sens, c'est à dire le vide de saillance sur lesquelles s'accrocher.

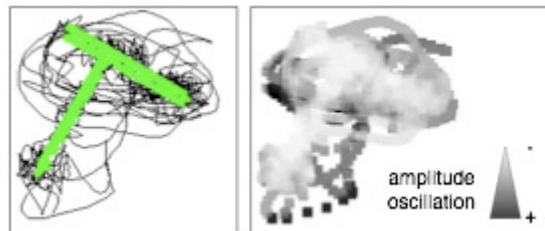


Figure 4 : Trajectoire exploratoire d'un sujet dans un espace statique

Sur ces formes, le sujet met en place une activité de micro balayage, qui consiste à franchir la ligne de part et d'autre de manière répétée pour sentir constamment la ligne passer sous les doigts. Lorsque le sujet se perd, il a tendance à augmenter l'amplitude de ses oscillations de façon à retrouver la forme et pouvoir l'explorer de nouveau. C'est ce descripteur que nous avons choisi pour caractériser la qualité de la perception de l'espace chez les sujets. Nous avons donc en tous points de l'exploration calculé l'amplitude des oscillations. L'image en niveau de gris de la figure 4 représente la carte 2D de ces différences d'amplitudes.

On y constate que sur la portion qui correspond à la forme, l'amplitude est faible alors qu'elle est plus importante tout autour. L'espace autour de la forme a donc été plus sujet à désorientation et l'on peut ainsi observer que les lignes proposées sont des repères importants pour les sujets qui les suivent facilement. La catastrophe survient avec de plus fortes pentes aux abords de l'intersection car on peut alors basculer d'une ligne à l'autre ce qui oblige à faire un choix qui surprend d'autant plus que chaque suivi de ligne possède son inertie. Aussi la fin d'une ligne ou le croisement avec une autre ligne modifie la structure des déplacements. Cette figure illustre alors l'espace perceptif du sujet avec ses vallées en clair qui coïncide avec les lignes et les abords glissants qui oriente les actions vers les lignes, attracteurs principaux de cet espace. La navigation dans l'espace est alors soumise à des catastrophes de nature à orienter le sujet vers les zones les plus stables qui idéalement portent le sens, car c'est là que le sujet vient le chercher.

2.3 Exploration d'un espace dynamique

Des expérimentations d'interaction dans un espace virtuel exploré par plusieurs utilisateurs ont également été conduites. Le dispositif consiste alors

en la mise en réseau de deux systèmes TACTOS. L'espace numérique partagé via le réseau permet alors des rencontres tactiles entre les sujets. A l'aide du stylet, le sujet déplace un avatar dans cet espace virtuel, et perçoit des stimulations lorsque son avatar rencontre celui de son partenaire. Pour un sujet, l'espace ne se constitue plus à partir d'un attracteur fixe qui guide sa perception, mais à partir d'un autre sujet qui, lui aussi, perçoit. Nous avons donc mis des couples de sujets en interaction pour expérimenter lesuivi, non plus de lignes, mais d'un autre sujet, mobile et doué d'une intentionnalité.

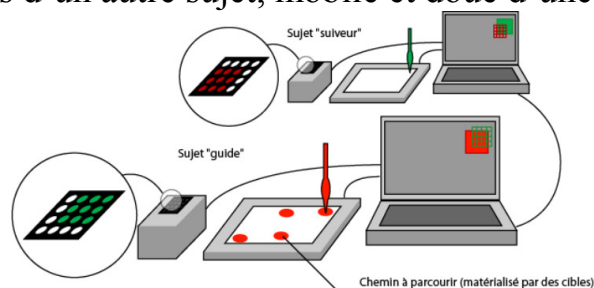


Figure 5 : Exploration d'un espace en réseau

Un chemin (matérialisé par des balises en relief) est indiqué à l'un des deux sujets et celui-ci doit guider son partenaire le long de ce chemin. Ce dernier doit évidemment être collaboratif et essayer de rester le plus possible au contact de son guide. Si je suis le suiveur, je ne perçois qu'une stimulation éphémère sur laquelle je ne suis pas sûr de pouvoir revenir (contrairement à une ligne fixe dans l'espace). Mon espace est donc construit complètement à partir des déplacements du guide : je dois suivre sa trajectoire, mais en raison du minimalisme de l'entrée sensorielle, ma seule solution est d'anticiper ses déplacements. On observe ainsi des microbalayages sur la trajectoire du suiveur (Figure 6) tandis que le guide a une progression plus rectiligne est plus régulière, pour favoriser l'anticipation de son partenaire (Maillet, 2006).



Figure 6 : trajectoire des sujets lors de la tâche de suivi (à gauche le sujet qui suit a des difficultés à anticiper la trajectoire de son partenaire, à droite la synchronisation est meilleure)

L'espace peut donc être vu comme une composition d'attracteurs dont les lignes sont les composantes premières qui s'assemblent ensuite en structures. Le passage d'une ligne ou d'une structure à une autre est un changement d'attracteur. Prévoir ces changements brutaux en explorant la manière dont on s'y déplace permet de comprendre la perception de l'espace des sujets et donc de tenter d'orienter leur navigation pour les aider à appréhender de nouveaux produits ou de nouvelles interfaces.

3 Inscriptions dans l'espace

3.1 Provoquer la catastrophe pour orienter

Les études fondamentales soulignent l'importance de la catastrophe comme rupture entre deux zones d'attracteurs ou comme frontière pour permettre à un sujet de percevoir une forme ou autrui. Fort de ce que nous avons pu la décrire, il peut être avantageux de provoquer ces changements ou glissements vers des attracteurs et ce dans différents domaines. Nous nous proposons d'en exposer deux en particulier qui illustrent la valeur de ces catastrophes : la visualisation d'informations pour l'étude de systèmes complexes et le design, considérant un objet comme un ensemble de possibilités ouvertes de fonctions qu'il faut choisir pour atteindre le but désiré.

3.2 Visualisation d'informations

La visualisation scientifique (Ce terme a été utilisé pour la première fois par Robertson, Card et MacKinlay en 1989) est un domaine d'application dans lequel il peut être nécessaire de provoquer des catastrophes pour percevoir et acquérir de nouvelles connaissances. Ces catastrophes sont toujours visuelles car le résultat des algorithmes est toujours visualisé dans une interface dédiée. Le point de départ est un jeu de données que l'on cherche à analyser. Ce jeu de données constitue un espace à percevoir qui va être parcouru. Dès lors on est face à deux situations : soit les données sont immédiatement interprétables et l'on peut alors en tirer des connaissances ; soit elles ne le sont pas et il faut trouver un moyen de trouver des prises dans cet espace par un processus exploratoire. Un espace sans prise, où l'on ne sait pas par quel bout commencer, est assimilable à un espace vide de sens car rien ne peut servir à fonder et servir de support à une activité. L'inscription de catastrophes perceptives consiste précisément à proposer une base perceptive sur laquelle le sujet va pouvoir commencer à agir.



Figure 7 : Exemple de visualisation

Reste qu'il est difficile d'inscrire ces catastrophes sur un système complexe n'ayant pas de prises car il faut respecter l'intégrité du système et non pas créer des prises artificielles. Pour cela on propose différentes visualisations conçues pour mettre en

avant différents aspects et qui sont suffisamment pauvre pour ne pas donner l'impression d'un imbroglio incompréhensible. Ces interfaces épurées évitent ainsi le trop plein d'informations qui devient un bruit de fond tout en conservant suffisamment d'informations pour ne pas proposer un tri. Dans un

système d'information web par exemple, on proposera des graphes épurés n'utilisant pas les noms des nœuds mais quelques couleurs et des arêtes fines que l'on manipule pour trouver des parties qui réagisse de manière singulière (Pfaënder, 2006). La catastrophe est provoquée par le choix de présentation et par les choix d'interactions. Bien sûr, rien ne dit que les saillances ou zones attractrices de la perception soient effectivement des prises valables (des hypothèses productrices) sur le système.

L'important ici est de rentrer dans ce processus de recherche et de découverte active qui ne peut exister sans un minimum d'investissement de la part de l'explorateur. La sensation de pouvoir en soi trouver des prises sur un système d'apparence fermé est une émotion importante que l'on doit entretenir sinon provoquer pour maintenir une activité et ne pas tomber dans la contemplation passive peu propice à la découverte de connaissances.

3.3 Design d'interactions

Comme dans le domaine de l'infoviz, les designers cherchent à attirer l'attention de l'utilisateur d'un produit (ou de son utilisateur potentiels) de façon à favoriser son engagement dans une activité exploratoire qui lui permettra de se l'approprier. Il s'agit là encore de donner à percevoir une prise, une "étincelle de vie" qui rende le dispositif saillant dans l'environnement. Celui-ci doit fournir les indices critiques requis pour son utilisation. Ces relations possibles entre les acteurs et les objets constituent ce que Norman appelle les affordances (Norman, 1999). Dans le cas d'objets mécaniques, ces relations apparaissent naturellement puisqu'il y a un couplage direct entre les actions possibles de l'utilisateur et a façon dont l'objet réagit. Ce couplage participe à la richesse de l'interaction avec les artéfacts que l'on manipule, puisque l'ensemble des capacités sensori-motrices des utilisateurs est mis en œuvre. L'utilisateur peut alors librement exprimer ses intentions, ses émotions suivant la façon dont il manipule le produit.

Cependant, la plupart des produits numériques qui nous entourent ne permettent pas une telle richesse d'interaction. Leur interface se limite souvent à des boutons de navigation et des menus représentés sur un écran. Ce sont presque exclusivement les capacités cognitives du sujet qui sont mises en œuvre : celui-ci doit impérativement connaître la fonction qu'il cherche à réaliser et le (souvent unique) chemin qui permet de l'atteindre. Malgré tout, les produits qui utilisent des technologies numériques offrent, par la miniaturisation des éléments fonctionnels, une liberté infinie au designer en le libérant de nombreuses contraintes de forme, de poids, de matériaux, etc. Celui-ci doit donc en profiter pour enrichir les possibilité d'interaction avec les produits, en prenant en considération des facteurs subjectifs tels que l'émotion, l'attachement ou le plaisir à l'usage.

Ainsi de nombreuses recherches ont été effectuées pour tenter de connaître les facteurs qui influencent les émotions suscitées par les produits (Desmet, 2003). En fonction des critères que l'on choisit d'évaluer on peut relier les caractéristiques du produit (caractéristiques objectives) aux émotions qu'elles suscitent ou évoquent chez les sujets (caractéristiques subjectives). On peut alors essayer d'employer les catastrophes (au sens où nous l'entendons ici : une perturbation ou saillance qui accroche la perception) pour prescrire ou orienter les interactions entre un individu et un dispositif (ou entre individus via des dispositifs) et les rendre plus transparents, plus plaisants à utiliser. C'est précisément ce que nous avons tenté de faire dans le cadre d'un projet de recherche en design sur un appareil permettant à des utilisateurs d'interagir par des stimulations tactiles.

L'objectif était alors de déterminer pour chacune des fonctionnalités du produit, une interaction pertinente, basée sur une gestuelle qui fasse sens pour l'utilisateur (Maillet, 2005). Pour cela, nous nous sommes largement inspirés de la méthode de « l'interaction relabelling » (Djajadiningrat, 2000). Des objets arbitrairement choisis (d'une taille comparable à celle d'un téléphone mobile) sont donnés à des sujets. On leur demande alors de manipuler les objets comme s'il s'agissait d'un outil d'interaction tactile. Les gestes effectués par chacun des sujets sont enregistrés à l'aide d'une caméra numérique. Ceci nous permet de collecter une "banque" de gestes pouvant être réutilisés sur l'appareil que nous cherchons à développer. Une étape d'évaluation par un autre groupe de sujets permet de ne garder que les gestes les plus explicites et les plus intuitives : celles qui font sens pour le plus grand nombre.

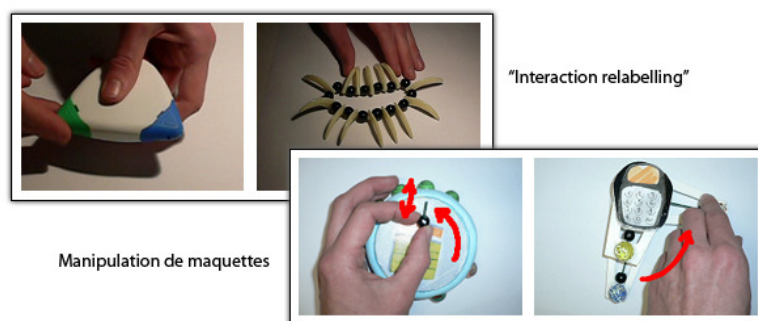


Figure 8 : Design d'interface basé sur la gestuelle

Des maquettes intégrant les gestes les plus pertinentes ont ensuite été fabriquées et évaluées lors d'entretiens individuels. Lors de ces manipulations nous avons observé que les maquettes, en fonction de l'interaction qu'elles mettaient en œuvre, suscitaient deux types d'attitudes chez les utilisateurs : soit une attitude "engagée" : les sujets sont actifs et explorent l'espace en direction des autres ; soit une attitude "réceptive" : les sujets sont plus passifs, ils cherchent d'avantage à attirer les autres vers eux.

Cette méthode permet donc d'offrir à l'utilisateur un nouvel espace d'interaction, dans la mesure où on lui propose une interaction basée sur une gestuelle qui fait sens pour lui. On remarque également que les produits

peuvent entraîner les sujets vers une attitude communicationnelle ou une autre. Ainsi, selon ce que l'on donne à percevoir à l'utilisateur d'un produit on peut orienter son comportement.

4 Conclusions

Les attracteurs et catastrophes sont donc des descripteurs intéressants pour décrire et prescrire la perception des objets tangibles ou intangibles. Quelle que soit la complexité de l'espace considéré, qu'il soit réel, espace de donnée ou encore objet à manipuler, il est toujours possible de les analyser en terme d'espace perceptif structuré par des catastrophes. Ces dernières, en proposant des guides à l'action, orientent l'activité perceptive. Reste alors à inscrire des informations en utilisant correctement ces guidages pour que les explorateurs construisent du sens au gré de leurs parcours.

Inscrire ces structures spatiales avec leurs attracteurs et leurs catastrophes au sein des interfaces permet donc d'en améliorer la pertinence. Ce travail peut également s'analyser à plusieurs niveaux car une fois la catastrophe perceptive comprise, il est possible d'analyser les catastrophes mais en termes cognitifs cette fois ce qui constitue un développement possible de la présente étude. En effet des usages stabilisés entraînent une routine intellectuelle qu'il peut être intéressant de perturber de manière contrôlée à l'aide de ruptures perceptives.

5 Bibliographie

Desmet, P.M.A. (2003). Measuring emotion; development and application of an instrument to measure emotional responses to products. In: M.A. Blythe, A.F. Monk, K. Overbeeke, & P.C. Wright (Eds.), *Funology: from usability to enjoyment* (pp. 111-123). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Djajadiningrat, J.P., Gaver, W.W. and Frens, J.W. (2000). Interaction Relabelling and extreme characters: Methods for exploring aesthetic interactions. *Proceedings of DIS'00, Designing Interactive Systems*. ACM, New York, 66-71

Lenay, C., Pfaender, F., Sens de la Spatialisation de l'Information et Prothèses Perceptives, *Revue PArôle*, n°29/30, p. 63-88, 2004

Lenay, C., Sebbah, F., « La constitution de la perception spatiale. Approches Phénoménologique et expérimentale », *Intellectica*, vol. 32, no 1, Rouen, 2001, p. 45-86.

Maillet, B., Guenand, A., Lenay, C. (2005) « An experimental work on tactile interaction: how to give to the user the possibility to adopt an engaged or a receptive attitude? », *Design & Emotion conference proceedings, Design & Emotion*, 27th - 27th september 2006, Gotenburg, Sweden

Maillet, B., Guenand, A., Lenay, C., Chêne, D. (2005). "A study on a user centered design of a tactile mobile phone", *dppi 2005 conference proceedings*, October 2005, pp. 249-269.

Norman, Donald A. (1999): Affordances, Conventions, and Design. In Interactions, 6 (3) p. 38-41)

Pfaänder, F., Jacomy, M., Explorer et Appréhender l'Internet, 13e journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, ENST 2006 S001, 2006

Poincaré, H., La Science et l'Hypothèse, Flammarion, 1968, chap 4.

Thom, Paraboles et catastrophes, Flammarion, Paris, 1983.

Tversky, B., « Visuospatial reasoning », The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning, Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

O' Reagan, K., Nöe, A. , « A Sensorimotor account of vision and Visual Consciousness », Behavioral and Brain Science, vol. 24, no 5, 2001.



Discontinuités, crises et morphogenèse : sur quelques processus à l'œuvre dans la structuration sociale.

Denis Phan

CREM UMR CNRS 6211 Université de Rennes 1
& GEMAS, UMR CNRS 8598 Université de Paris 1V –Sorbonne.
<mailto:denis.phan@univ-rennes1.fr>

Résumé

La structuration des phénomènes sociaux évolue souvent par discontinuités et ruptures. Des changements graduels, associés aux principes même de régulation des structures sociales, provoquent de manière souvent imperceptible à court terme une accumulation de tensions qui peut conduire vers une rupture à plus long terme. Les crises socio-économiques sont ainsi ambivalentes. Elles sont à la fois dégradation endogène de la viabilité d'un système de régulation et émergence d'un nouveau système.

L'article vise à souligner le rôle respectif des forces régulatrices « *top down* » et des forces constructives « *bottom up* » dans les phénomènes de dérive structurelle qui conduisent à des crises comme dans les phénomènes de morphogenèse qui gouvernent les recompositions structurelles. Après avoir suggéré un cadre théorique d'analyse très général, on présente de manière narrative un cas très simple de dérive vers un état de crise sur un marché, exemplifié dans le cas du marché des disques (ou CD). On montre que ce cas peut être formalisé pour partie par un modèle générique proposé par Gordon, Nadal et Phan (GNP), dont on expose très brièvement les grandes lignes

émergence :

En chinois, la notion de « *crise* » se représente par la juxtaposition de deux idéogrammes. Le premier signifie : « *danger* » (**wei**). Le second (**ji**), représente une « occasion » la part de « chance » associée à toute crise. Ce dernier, associé à un troisième non représenté ici, signifie d'ailleurs aussi « opportunité »...

Le premier idéogramme (**chu1**) signifie « (ap)paraître, survenir, se présenter », il est aussi utilisé pour représenter la plante qui émerge de la graine plantée dans le sol. Le second idéogramme (**xian4**)



signifie « visible, actuel, présent". Si quelque chose de nouveau émerge, cela devient soudainement visible et présent..

Caminante, no hay camino, se hace camino al andar.

Marcheur il n'y a pas de chemin, le chemin se construit en marchant

Marcheur, ce sont tes traces
Ce chemin et rien plus ;
Marcheur, il n'y a pas de chemin.
Le chemin se construit en marchant,
En marchant se construit le chemin,
Marcheur, il n'y a pas de chemin,
Seulement des sillages sur la mer.

Ce chemin, et rien de plus ;
Marcheur, il n'y a pas de chemin,
Le chemin se construit en marchant.
En marchant se construit le chemin,
Et en regardant en arrière
On voit la sente que jamais
On ne foulera à nouveau.
Marcheur, il n'y a pas de chemin,
Seulement des sillages sur la mer.

Antonio Machado (1875-1939)
Proverbios y Cantares CC - CXXXVI-XXIX

1 Introduction

La structuration des phénomènes sociaux évolue souvent par discontinuités et ruptures. Des changements graduels, associés aux principes même de régulation des structures sociales, provoquent de manière souvent imperceptible à court terme une accumulation de tensions qui peut conduire à une rupture à long terme. Dans un ouvrage récent sur le « paradoxe des conséquences » chez Max Weber, (Cherkaoui, 2006) énumère ainsi un certain nombre de phénomènes historiques macroscopiques qui ont été l'objet chez le sociologue allemand d'une analyse endogène, basées sur les conséquences non voulues d'évolutions structurelles provoquées par le comportement « raisonnable » des acteurs eux même, pris dans leur contexte. Si l'action finalisée des « agents » humains dotés de « bonnes raisons » (Boudon 2003) peut ainsi conduire de manière *non intentionnelle* à une dégradation endogène

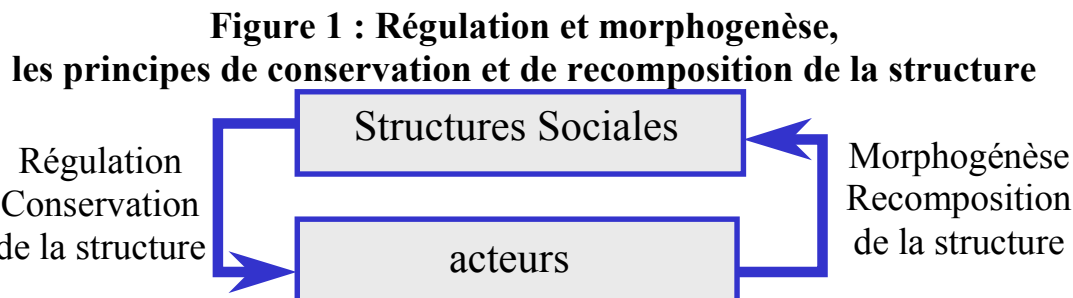
de la viabilité d'un système de régulation sociale, c'est de l'activité innovatrice de ces mêmes agents que peut ensuite émerger (intentionnellement ou non), de nouvelles formes régulatrices des rapports sociaux. Les crises socio-économiques sont ainsi ambivalentes. Elles sont à la fois dégradation endogène de la viabilité d'un système de régulation et émergence d'un nouveau système. Cet article vise à souligner le rôle respectif des forces régulatrices « *top down* » et des forces constructives « *bottom up* » dans les phénomènes de dérive structurelle qui conduisent à des crises comme dans les phénomènes de morphogenèse qui gouvernent les recompositions structurelles. Après avoir suggéré dans un premier temps un cadre d'analyse théorique générique, On se focalisera dans un second temps sur certains mécanismes qui peuvent conduire à une crise endogène, par rupture des conditions qui permettaient à un équilibre de se maintenir (sortie d'un bassin d'attraction). Dans ce but, on introduit un principe d'analyse très général désigné sous le nom d'*endométabolisme*¹ par (Lordon, 1993a, 1993b, 1995a). Comme ce cadre a été construit selon une approche strictement holiste, nous présenterons ensuite comme cadre alternatif un modèle générique *agent-based* introduit par Gordon, Nadal et Phan (Nadal et al. 2005 ; Gordon et al. 2005, 2006 ; Phan Semeshenko, 2007). Celui-ci, susceptible de produire au niveau agrégé le type de mécanismes suggéré par Lordon, est exposé très brièvement dans ses grandes lignes, à partir desquelles on présente de manière *narrative* un cas très simple de dérive vers un état de « crise » sur un marché, exemplifié dans le cas du marché des disques (ou CD). En conclusion, on trouvera quelques pistes sur la difficile question de l'émergence d'un nouveau régime.

2 Régulation dans les structures sociales, crise et morphogenèse : deux perspectives distinctes pour l'analyse des processus sociaux.

Les structures collectives de communication, de délibération, de décision et de transaction contribuent à coordonner les rapports sociaux et à réduire l'incertitude. C'est le cas en particulier des structures dites « institutionnelles », mais aussi d'autres cadres plus locaux et/ou moins formels. Ces structures assurent donc une *fonction régulatrice*. Elles ne suppriment pas les conflits sociaux, elles « en sont les produits et en normalisent les termes » (Aglietta, 1982, p.VII). Mais comment s'articulent les différents niveaux ? En restant à un niveau très élevé d'abstraction (sans s'engager par exemple sur la nature des « acteurs » considérés ou des formes de leur participation au processus considéré), on peut distinguer : l'action des pratiques sur les structures

¹ C'est l'interdépendance entre fonctionnement et développement qui constitue l'essence de l'endométabolisme. Le « *changement structurel endogène* » signifie que de son propre « *fonctionnement* », la structure tire les forces motrices de son « *développement* ». ainsi, « *l'endométabolisme est le processus par lequel le fonctionnement de la structure altère la structure* » (Lordon, 1993, p.504)

(dimension morfo-génétique ou « *bottom-up* »), et l'action des structures sur les pratiques (dimension régulatrice ou « *top-down* »).



Ce schéma est bien entendu extrêmement réducteur. Il conviendrait par exemple de penser les modalités d'intégration d'un certain nombre de niveaux intermédiaires, comme les « *unités actives* » au sens de Perroux (1975/1994), dont les activités sont *coordonnées* par des instances de niveau supérieur et qui agissent en retour sur les *unités actives* de niveau inférieur... Où doit-on s'arrêter dans le processus de décomposition ? Dans quel mesure est-il légitime d'analyser des unités collectives comme des « acteurs » (ou ce qui revient au même la notion d'acteur collectif fait-elle sens ?). Doit-on être *réductionniste* au sens de *l'individualisme méthodologique*² ou suffit-il comme l'affirme Sperber (1997, p.126) de décrire pour chaque niveau (la) manière qui permette de le mettre en rapport avec les niveaux voisins ? Pour illustrer rapidement les problèmes posés par l'imbrication des niveaux et les « unités actives » intermédiaires (entreprises, syndicats, et autres organisations) nous discuterons brièvement un exemple tiré de Williamson (1993), puis nous reviendrons sur les deux perspectives d'analyses dans le cas le plus simple présenté figure 1.

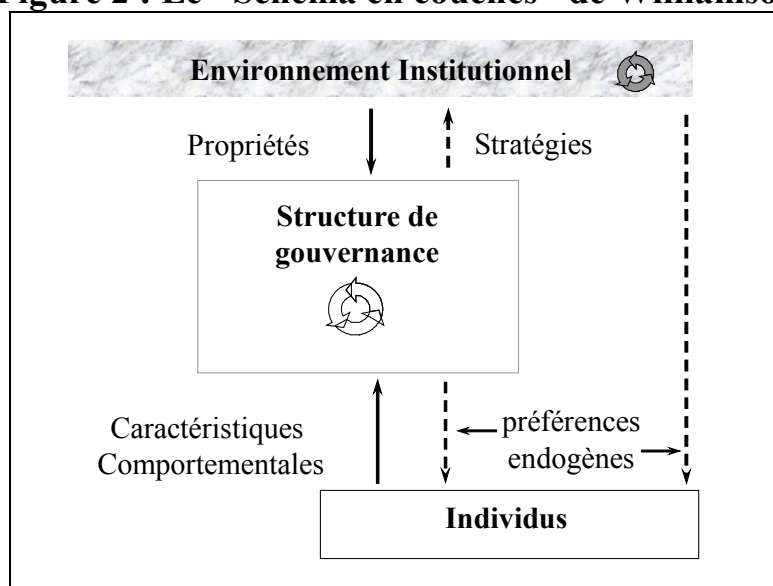
2.1 Un simple exemple multi-niveaux.

L'individualisme méthodologique des économistes de la *théorie standard* s'est longtemps accommodé d'une représentation de « l'entreprise » comme le plus petit acteur pertinent des questions économiques, alors que les évolutionnistes considèrent maintenant que les « routines », qui se trouvent à un niveau infra-individuel, sont les plus petits éléments à prendre en considération. On retrouve le même problème avec la Théorie des Coûts de Transaction (TCT), qui considère après Commons que la « *transaction* » est l'unité pertinente de l'analyse, mais reste floue sur le statut des acteurs concernés par la procédure qui conduit à la décision d'internaliser une transaction dans une organisation. Pour illustrer le problème posé par les imbrications multi-niveaux, on va donc

² Selon (Boudon 2003), selon le postulat de l'individualisme méthodologique, tout phénomène social est le produit d'Actions, de Décisions, d'Attitudes, de Comportement et de Croyances (ADACC). D'un point de vue ontologique, seuls les agents (humains) peuvent être le support des ADACC et donc, toute « entité collective » ne peut « décider » ou « agir » qu'en vertu de règles capables de transformer les ADACC de ses membres en décision collective. La question est alors de savoir à quelles conditions ces règles permettent ou non (théoriquement et pratiquement) la réduction de l'action des « unités actives » à leurs déterminants individuels.

prendre l'exemple de la vision néo-institutionnaliste de l'entreprise, où cette dernière peut être considérée comme un niveau intermédiaire entre des acteurs individuels et un environnement institutionnel plus large.

Figure 2 : Le "Schéma en couches" de Williamson



Source : Phan, Sommer (1997) d'après Williamson 1993

Sur ce schéma de la figure 2, adapté par (Phan, Sommer, 1997, 2000) à partir de Williamson, (1993), on observe *l'environnement institutionnel*, défini au sens de (Davis et North 1971) comme « l'ensemble des éléments politiques, juridiques et sociaux qui servent de cadre à la production, aux échanges et à la répartition ». Dans l'approche néo-institutionnaliste, (par exemple North, 1991), ces éléments se manifestent sous la forme de *contraintes* « top-down » qui structurent les interactions politiques, économiques et sociales. Pour Williamson, les propriétés relatives des divers modes de coordination des transactions (en particulier leurs coûts de gouvernance) dépendent des caractéristiques de ce macro-environnement institutionnel (Williamson, 1993, 1996). Des modifications de l'environnement institutionnel peuvent ainsi altérer *de manière exogène* les performances relatives des structures de gouvernance qui organisent ces transactions. La relation qui lie le niveau des individus à celui de la structure de gouvernance traduit l'influence des caractéristiques comportementales individuelles (rationalité limitée, opportunisme...) sur le choix des structures de gouvernance. Si Williamson reconnaît que l'environnement institutionnel et les structures de gouvernance possèdent des dynamiques d'évolution propres, il considère que celles-ci relèvent de *deux niveaux différents d'analyse*. L'environnement institutionnel concerne les relations globales entre acteurs et activités, alors que les structures de gouvernance concernent le niveau micro-économique des transactions. Pour cette raison, le degré d'intentionnalité dans la mise en place et l'évolution des structures devrait être différent (Williamson, 1996, p.5). Il considère par ailleurs que l'effet en retour des structures de gouvernance sur l'environnement institutionnel est du « second ordre » (Williamson 1993). Pour l'ensemble de ces raisons, il soutient que *ces deux niveaux doivent être étudiés séparément*.

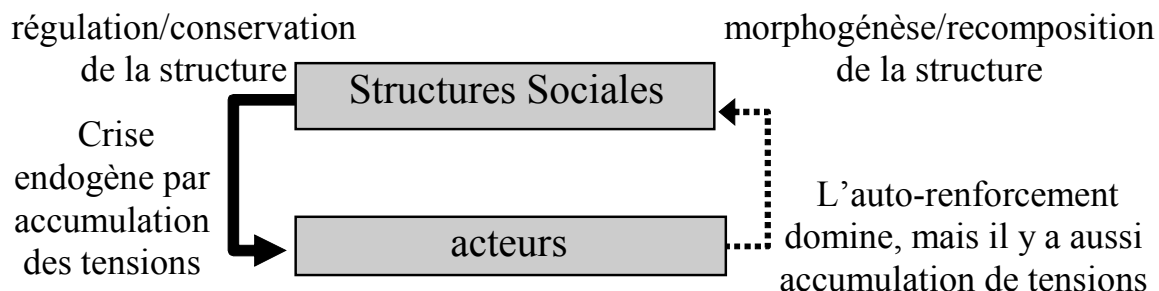
Les deux niveaux supérieurs peuvent également influencer sur les choix individuels au travers de certaines formes de « conditionnement social » ; l'effet de « préférences endogènes » traduit ainsi l'influence de l'environnement institutionnel et des structures de gouvernance sur le niveau individuel. Les effets identifiés par Williamson mais considérés comme secondaires par ce dernier sont représentés sur la figure 2 par les traits en pointillé (préférences endogènes et stratégies). Ceux-ci ne sont pas approfondis par la TCT et sont négligés par rapport aux deux relations principales (en trait plein). La TCT se réfère souvent à ces effets secondaires, sur le ton de la *narration*, mais Williamson soutient qu'il existe des cadres d'analyse plus adaptés que la TCT pour les étudier (Williamson, 1993, p.115). L'argumentation de Williamson sur les « effets secondaires » n'est pas pleinement convaincante. C'est le cas en particulier si considère un horizon temporel suffisamment large pour concevoir l'importance de tels effets en retour. Par exemple, l'accumulation de petits événements peut créer un effet de tension qui se dénoue brutalement au-delà d'un certain seuil, selon un principe, présenté plus loin, que (Lordon 1993a, 1993b, 1995a) a bien mis en évidence. Une structure de gouvernance qui engendrerait ainsi de telles tensions serait ainsi *stable à court terme* (localement), tout en étant fortement *instable à long terme*. Par ailleurs, si on considère que l'on peut modifier intentionnellement l'environnement institutionnel de manière « stratégique », une structure de gouvernance inefficace du point de vue de la TCT dans un environnement institutionnel donné pourrait se révéler plus efficace dans un environnement transformé, comme par exemple les structures « H » et « J » chez (Aoki 1990). Finalement, le schéma de Williamson n'est pas sans poser de problèmes. En plus de la question de l'intégration de la technologie (qui est discutée en détail dans : Phan, Sommer, 1997, 2000), l'organisation elle-même, dans la mesure où elle intègre un certain nombre de normes participant des formes institutionnelles a également une dimension institutionnelle négligée à la fois par Williamson et par les évolutionnistes (Coriat, Weinstein, 1995). L'objet de cette section était de souligner quelques problèmes posés par la prise en compte de niveaux intermédiaires et d'unités actives, mais développer plus ces questions nous conduirait trop loin par rapport à notre objectif initial. Pour la clarté de l'exposé, nous nous en tiendrons là, tout en retenant que les phénomènes évoqués sont beaucoup plus complexe que ce qui va être évoqué dans ce qui suit, par souci d'aller à l'essentiel.

2.2 La fonction régulatrice des structures et les deux aspects de la crise

L'hypothèse méthodologique centrale à la démarche préconisée ici consiste à chercher à établir une correspondance - asymétrique et historique - entre les dimensions méthodologiques et les processus effectifs. Dans les périodes de fonctionnement plus régulier (ou « en régime ») des structures sociales, les forces de conservation l'emportent sur les forces de recomposition.

L'incertitude est réduite par l'existence de compromis sociaux et de croyances collectives (cf. Orléan 2002, 2004 ; Phan 2005 ; Phan, Ferber, 2007). Ces régularités résultent largement de la cohérence d'ensemble du système.

Figure 3 : Le sens des influences dominantes « en régime »



Au niveau global, la cohérence d'ensemble du système est progressivement remise en cause dans les périodes même de son fonctionnement régulier par des innovations associées au développement normal du régime considéré (effet « bottom-up » et crise endogène). Si l'on considère que la production de ces innovations sont caractéristiques de ce régime, on peut les formaliser d'un point de vue global, c'est la théorie de l'endométabolisme (Lordon, 1993a, 1993b, 1995 cf. note 1). Il ne faut pas oublier cependant la nature remontante de ces innovations. Dans la période *en régime* elles ont d'abord un effet d'auto-renforcement sur la structure. Dans la période de *crise*, les innovations ont une double dimension : déterminées par rapport au contexte d'où elles sont issues, elles sont bien le produit du régime qui les a engendrées, mais dans la mesure où elles sapent les fondements de l'ancien régime, elles contribueront ainsi à l'émergence d'un nouveau régime.

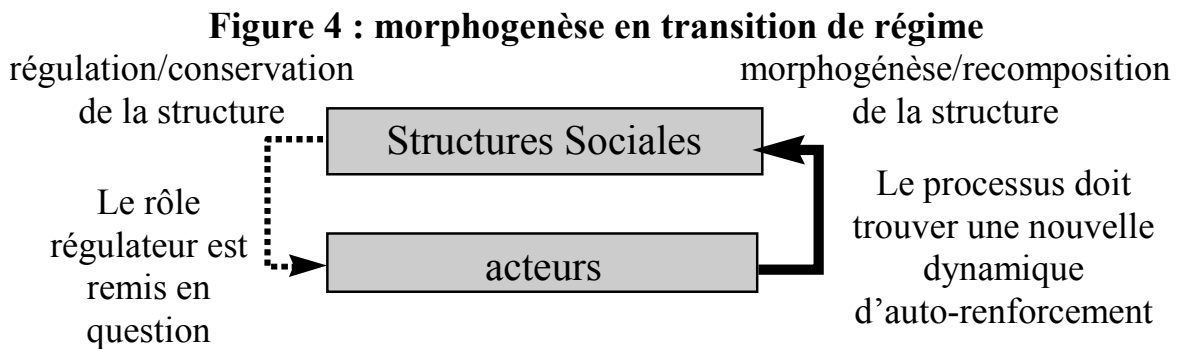
Ainsi, la numérisation du signal dans les télécommunications est une innovation cohérente avec les recherches menées par les spécialistes en transmission pour améliorer les performances du réseau. Cependant, en transformant la voix en données, cette innovation en apparence incrémentale et conforme à la logique de ce que nous définirons comme « l'ancien régime des télécommunications » a contribué à saper les fondements du compromis passé entre AT&T et la FCC dans les années cinquante qui stipulait que l'informatique et le traitement des données relèvent d'un régime de concurrence, alors que la téléphonie vocale bénéficie de la protection du monopole régulé (Phan 1996).

Au niveau intermédiaire du processus de socialisation, les principes qui fondaient la régularité d'un système sont ainsi progressivement remis en cause dès lors qu'ils n'assurent plus leur fonction régulatrice (coordination, réduction de l'incertitude...) de manière satisfaisante pour les individus et/ou les « unités actives » (affaiblissement de l'effet « top down » cf. par exemple, Aglietta (1976/1982) p.IX-X). Au niveau des acteurs, la crise se traduit ainsi directement ou indirectement par un affaiblissement de la correspondance entre les pratiques et les représentations individuelles d'une part, et les structures sociales correspondantes d'autre part. Les dissonances cognitives (Festinger, 1957), qui résultent de cette contradiction entre les déterminants individuels et les structures sociales, renforcent les facteurs de remise en

cause de ces conventions fondatrices. La morphogénèse d'un nouveau régime se développera ainsi dans cette situation conflictuelle (effet « *bottom-up* »).

2.3 L'autre face de la crise : morphogénèse et recomposition structurelle

Durant les périodes de crise, on assiste à une remise en cause des *ordres* établis et donc à une montée de l'incertitude. De ce désordre peut émerger un ordre nouveau, produit de l'action non nécessairement concertée des individus sur les structures sociales. Ainsi, si le Phoenix doit renaître de ses cendres : « *on ne descend jamais deux fois le même fleuve* » (Héraclite)...



Dans la mesure où la crise provoque précisément la remise en cause individuelle des formes globales de la régulation, les forces de création individuelles sont partiellement libérées de leurs contraintes et *les sources de la morphogénèse d'une nouvelle structure ne pourront généralement être perçues à partir du seul niveau agrégé*. Le rôle des dynamiques individuelles et collectives, des « apprentissages par la diversité » (Foray, 1994; cf. également pour une application au secteur des TIC : Dang Nguyen, Phan 1997, 1998) doit être placé au centre de l'analyse de la transition structurelle. Pour comprendre ces processus de morphogénèse, on a besoin de disposer d'une théorie des pratiques, croyances et interactions sociales, qui prenne en compte en particulier ce que l'on appelle les apprentissages individuels et collectifs (Vriend, 2000), la dimension émergente des phénomènes (Dessalles, Phan 2005), ou encore la diversité des « visions » de l'avenir, des stratégies et des formes d'apprentissages (Dang Nguyen, Phan 1997, 1998)

L'analyse de la succession de formes structurelles au niveau macroéconomique et dans le temps long (*perspective institutionnaliste - évolutionniste*) comme l'analyse de l'adaptation des structures mentales qui organisent les croyances au niveau microéconomique dans le temps court (*perspective cognitiviste*) appellent une réflexion théorique sur les mécanismes de morphogénèse qui seuls peuvent rendre compte de l'évolution économique comme d'une succession de processus de déstructuration / restructuration, ou de « destructions créatrices » qui ne peut se dérouler, selon Schumpeter que dans le temps historique. En introduction de *Capitalisme, Socialisme et Démocratie*, celui-ci appelait ainsi à :

« La conception d'une théorie portant, non pas seulement sur un nombre indéfini de situations spécifiques disjointes ou sur la logique des quantités

économiques en général, mais sur la succession effective de ces situations ou sur l'évolution économique telle qu'elle se poursuit, sous sa propre impulsion à travers le temps historique, en engendrant à chaque instant la situation qui d'elle-même donnera naissance à la suivante. » (Schumpeter, 1942, p. 68-69).

3 Le premier point de vue : crise endogène comme sortie du bassin d'attraction d'un équilibre sous l'effet de l'évolution d'une « variable lente »

Dans cette section, on discute deux modèles formels d'entrée en crise endogène, ou la « crise » peut être interprétée, avec les méthodes des *systèmes complexes adaptatifs* (Weisbuch, 1989) comme la sortie du bassin d'attraction d'un équilibre donné, provoquant une discontinuité, et partant une rupture qualitative.

3.1 La formalisation de la dynamique et des crises de régulation chez Lordon.

Frédéric Lordon (Lordon, 1993a, 1993b, 1995a) distingue deux types de variables qui évoluent selon des temporalités différentes. On a donc une *dynamique lente* et une *dynamique rapide*.

Les variables «structurelles» du modèle (le vecteur λ) s'ajustent lentement :

$$(1) \quad \overset{\circ}{\lambda} = \varepsilon.g(X, \lambda), \quad \text{avec : } 0 < \varepsilon \ll 1$$

La dynamique des variables d'état (le vecteur X) rend compte de la croissance et des fluctuations conjoncturelles (dynamique rapide).

$$(2) \quad \overset{\circ}{X} = f(X, \lambda) ;$$

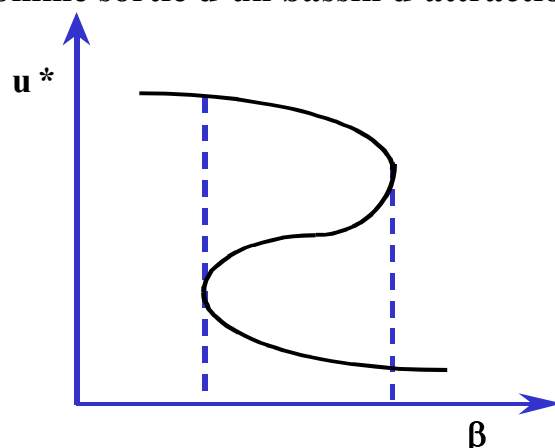
A court terme, les variations de l'équation (1) peuvent être négligées (c'est l'*approximation «adiabatique»* des physiciens - cf. Haken, 1983). Mais a long terme, les variations cumulées mènent le vecteur structurel vers un point de bifurcation ou la stabilité structurelle du système disparaît : il entre en « crise », par sortie du bassin d'attraction d'un équilibre (Figure 5).

Lordon applique ce principe dans sa thèse en complétant le modèle de Goodwin (1951) par l'introduction d'une fonction de progrès technique endogène de type logistique, dépendante positivement de l'accumulation et donc de la part $(1 - \mu)$ des profits dans la répartition :

$$(3) \quad \alpha(\mu) = (\alpha + \exp(-\beta(1 - \mu)/s))^{-1}$$

La qualification des équilibres dépend des variations du paramètre β , qui peut être endogénéisé à long terme, faisant apparaître des situations de crise endogène (disparition d'un équilibre).

**Figure 5 : crise endogène par dérive d'un coefficient structurel « lent »
comme sortie d'un bassin d'attraction**



Source : d'après Lordon (1993a, 1993b, 1995a)

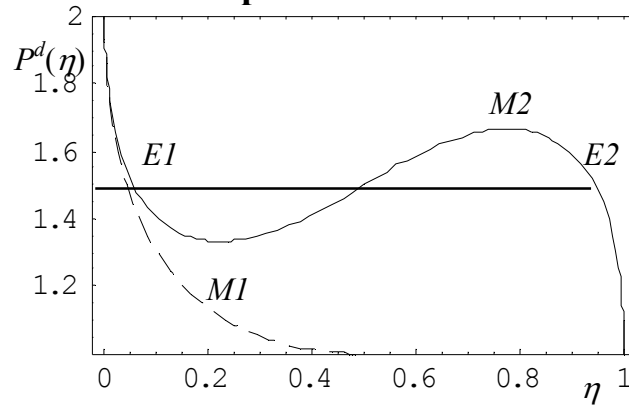
Remarque : les variables considérées sont macroéconomiques et les équations déterministes : si elles fournissent un principe explicatif pour *l'entrée endogène en crise* (endo-métabolisme), elles sont insuffisantes pour rendre compte de la morphogenèse. Notre hypothèse de travail est que ce processus ne peut s'expliquer qu'à partir d'une prise en compte de *l'interaction des comportements individuels en situation d'incertitude, conditionnellement aux structures existantes*.

3.2 Les conséquences de l'évolution de l'influence sociale dans un modèle de marché avec externalité

Un premier pas dans la recherche de possibles fondements « agents » aux mécanismes macroscopiques proposés par Lordon peut être fait grâce aux outils de la *mécanique statistique* (Phan *et al.* 2005). Nous nous limiterons ici à la discussion d'un modèle simple où la dérive d'un paramètre structurel peut faire apparaître un second équilibre, source de discontinuité. Mais nous n'aborderons pas les aspects dynamiques du processus, nous limitant à la discussion des propriétés d'équilibre, dans une perspective que les économistes qualifient de « statique comparative ».

Dans un article de 1991, Becker évoquait la possibilité d'un marché d'un restaurant soumis à des « effets externes » entre les clients. Lorsqu'il n'y a pas d'externalité, les économistes considèrent qu'une courbe de demande est monotone décroissante (les quantités demandées baissent lorsque le prix augmente, comme sur le trait pointillé sur la figure 6 ci dessous). Sur cette figure, l'axe des prix $P^d(\eta)$ se trouvent en ordonnées et l'axe des quantités (ici la proportion η d'acheteurs dans la population cible) en abscisses. Dans l'article de Becker, les externalités se traduisent donc par une courbe de demande a-typique : il y a une inflexion, et la courbe (en traits pleins sur la figure 6) devient croissante avec les prix (entre M1 et M2) pour ensuite reprendre une allure « convenable » pour une courbe de demande (les quantités croissent de manière monotone si les prix décroissent).

Figure 6 - courbe de demande « classique » et « a-typique » en présence d'effets « externes » dans les paramètres de choix des consommateurs.



Dans ce cas, On peut montrer qu'une des conséquences de cette forme particulière est l'existence de deux équilibres de marchés stables pour un prix donné. Sur la figure 6, on se donne un prix P , représenté par une la ligne droite parallèle à l'axe des abscisses. Les deux équilibres stables ($E1$ et $E2$) correspondent aux points où la droite représentative des prix coupe la courbe de demande dans une zone où la demande décroît avec les prix (condition de stabilité). En effet, lorsque les effets d'imitation ou d'influence sociale sont assez forts, ils peuvent provoquer une « remontée » de la courbe de demande globale entre $M1$ et $M2$, lorsque le taux d'adoption augmente, la situation est alors instable et correspond à des effets qualifiés de « boule de neige » « *bandwagon* » (Leibenstein, 1950 ; Rohlfs, 2001) ou encore « avalanches » (Steyer, 1993 ; Phan, Pajot, 2006). Une autre conséquence importante, qui est précisée plus loin, est qu'un vendeur en situation de monopole sur un tel marché doit arbitrer entre proposer un prix élevé et vendre à peu de clients, ou vendre à un prix bas à beaucoup de clients. Ce pourrait être la situation où se trouve actuellement l'industrie du disque. Chaque label a un contrat exclusif avec des artistes qui lui permet de se trouver en situation de monopole sur au moins un disque donné d'un artiste. Doit-elle continuer à vendre les CD à un prix élevé comme par le passé (au risque de se voir pirater par des copies illégales). Ou doit-elle vendre à un prix très bas³ au plus grand nombre ?

Le petit modèle de Becker qui n'était ni spécifié ni fondé micro économiquement ne permettait pas d'aller plus loin que ce qui a été dit. Un cadre générique *agent based* introduit dans une série d'articles récents (Nadal *et al.* 2005 ; Gordon *et al.*, 2005, 2006 ; Phan Shemeshenko, 2007) permet en particulier de reposer ces questions de manière plus précise. Nous le désignerons ci-après par le « modèle GNP⁴ ». Dans ce modèle, les agents ont à faire des choix binaires en comparant ce qu'ils sont prêts à payer avec le prix qu'on leur propose. Leur *disposition à payer* dépend d'une caractéristique idiosyncratique contenue dans un paramètre H_i auquel vient s'ajouter un terme

³ Nous n'aborderons pas ici la question de la dématérialisation du support qui vient complexifier la situation, mais n'en change pas les grands principes

⁴ Pour « Gordon, Nadal, Phan » voir (Phan, Shemeshenko, 2007) pour une présentation simple des aspects « demande » et (Gordon *et al.* 2006) pour une étude complète et générique.

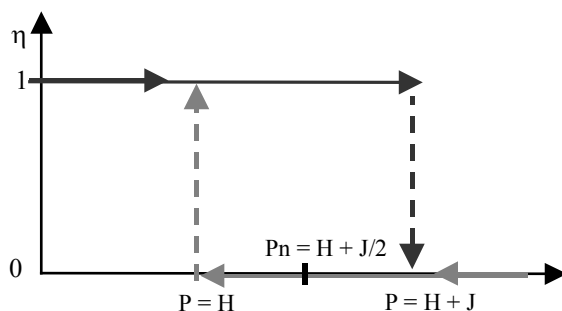
d'influence sociale que l'on désignera pour simplifier par $J.\eta$, où η est le taux d'adoption du produit (par exemple le nombre de personnes qui ont acheté un CD de « X » en pourcentage de la population totale) et J le paramètre de magnitude de l'influence sociale. Comme η varie entre zéro et un, plus J est important par rapport à H_i , plus l'agent i prendra en compte le choix « des autres » pour effectuer son propre choix. A la limite si $J = 0$ il n'y a pas d'influence sociale et si $H_i = 0$ et $J = 1$ les agents sont de purs imitateurs. Plus formellement, la fonction de choix de chaque agent s'écrit :

$$(4) \quad \max_{\omega_i \in \{0,1\}} [\omega_i V_i(\eta)] \quad \text{avec} : V_i(\eta) = H_i + J\eta - P$$

La *disposition totale à adopter* (payer) est $H_i + J.\eta$. Si personne n'adopte (ou n'achète) $\eta = 0$, et les préférences de l'agent sont entièrement exprimées par la part *idiosyncrasique* H_i qui mesure ce qu'il est prêt à payer pour adopter. Celle ci peut être négative : par exemple, il faudra me payer pour que j'accepte de faire quelque chose que je répugne à faire (sauter à l'élastique par exemple). La disposition totale à payer augmente ensuite à proportion du taux d'adoption η , jusqu'à atteindre $H_i + J$ quand tout le monde a adopté ($\eta = 1$). Le comportement de l'agent est alors donné par la comparaison entre la disposition à payer et le coût (subjectif ou objectif – on parlera alors de prix) de l'opération. On désigne par $V_i(\eta)$ le *surplus monétaire potentiel* (« *ex ante* ») de l'agent i . si cette valeur est positive (il est prêt à payer plus que cela lui coûte), il adoptera ($\omega_i = 1$) et il lui restera un *surplus effectif* (ou « *ex post* ») $\omega_i . V_i(\eta)$. Le surplus effectif *ex ante* correspondra alors au surplus potentiel *ex post*. Si le surplus *ex ante* est négatif, le choix de non adoption ($\omega_i = 0$) permet de maximiser le surplus *ex post*, en évitant un surplus négatif conformément à l'équation (4). Ce surplus effectif est alors égal à zéro.

Pour bien comprendre ce qui se passe au niveau agrégé, considérons le cas limite où tous les agents sont semblables c'est à dire ont la même disposition à payer ($H_i = H$ pour tous les agents). Partons d'une situation initiale où aucun agent n'a adopté le produit ($\omega_i = 0$ pour tout i). En l'absence d'anticipation sur le nombre d'adopteurs, le choix de chaque agent dépend uniquement du signe de $H - P$. Si $H > P$ toute la population adopte simultanément le produit. Notons $P_h = H$ ce seuil d'adoption. Il est important de remarquer que *le phénomène inverse ne se produit pas au même seuil*. En effet, quand tous les agents ont précédemment adopté, la fonction de surplus dépend maintenant de la comparaison entre la disposition à payer $H + J$ et le prix P , puisque tous les agents sont devenus des consommateurs. Le seuil de sortie du marché sera donc maintenant : $P_j = H - P + J$. Si les prix augmentent au-delà de P_j , tous les agents quitteront le marché. Dans ce cas extrême, on observe donc un intervalle de prix $[P_h, P_j]$ dans lequel la demande globale reste constante et ne varie pas avec les prix, mais où un même prix correspond également à deux équilibres possibles. La largeur de cet intervalle dépend uniquement du paramètre d'influence sociale J (Figure 7).

Figure 7 : seuils critiques dans la relation entre l'adoption et le prix, avec des agents identiques.

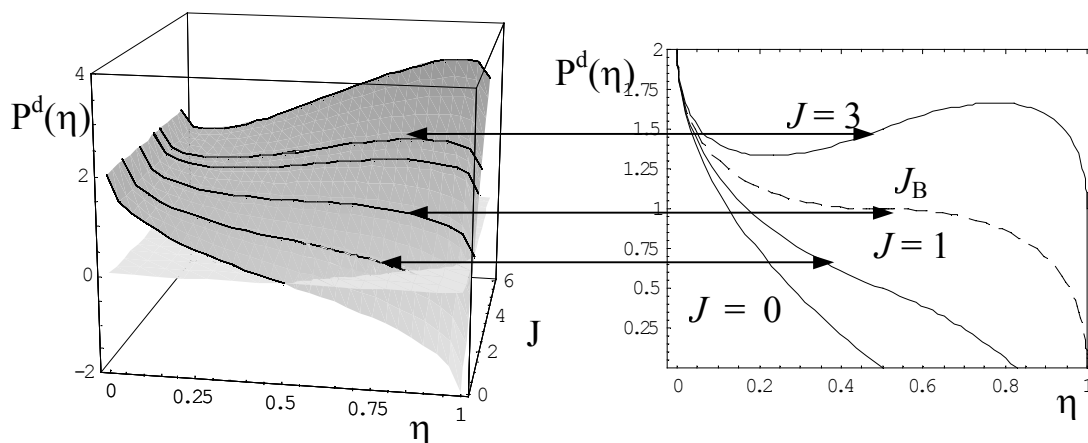


Source (Phan, Shemeshenko 2007)

En présence d'hétérogénéité des préférences (dispersion des H_i), on peut calculer précisément une fonction de demande inverse (comme sur la figure 6) comme une fonction qui dépend de la fonction inverse de la distribution de probabilité des caractéristiques idiosyncratiques $G(H-H_i)$ (équation 5).

$$(5) \quad P^d(\eta) \equiv H + J\eta + G^{-1}(\eta)$$

Figure 8 : apparition d'équilibres multiples dus à l'influence sociale dans le modèle GNP de marché avec externalité.



(a) $P^d(\eta, J)$ avec $0 \leq J \leq 5$

(b) $P^d(\eta)$ avec $J \in \{0, 1, 2, 3\}$

Source : (Phan, Semeshenko, 2007)

On voit sur la figure 8 que les courbes de demandes de (Becker 1991) représentées sur la figure 6 son subsumées sous la courbe de demande plus générale correspondant à l'équation (5). Cette courbe se déforme sous l'effet de l'influence sociale (paramètre J) et englobe les deux autres comme cas particulier. On montre alors qu'il y a une valeur critique J_B a partir de laquelle il peut exister deux équilibres de marché pour un même prix comme dans le cas simple où tous les agents sont semblables. La figure 8 montre cette fonction de demande inverse dans le cas où la distribution des H_i est triangulaire (symétrique). Mais la multiplicité des équilibres de marchés au delà du seuil critique J_B est une *propriété générique* du modèle, valable pour un grand nombre de distributions bornées ou non bornées (Gordon *et al*, 2006) En

particulier (Nadal *et al.* 2005) ont étudié le cas d'une distribution Logistique, qui se rencontre très fréquemment dans les distributions empiriques.

Quel rapport entre ce modèle et notre problème de crise endogène par sortie d'un attracteur ? Il nous faut maintenant introduire un autre acteur, le vendeur pour le comprendre. (Nadal *et al.* 2005 ; Gordon *et al.*, 2005, 2006) ont traité de manière extensive le cas où une entreprise en situation de monopole opère sur un tel marché. On peut alors montrer qu'il existe un nouveau seuil critique $J^* > J_B$ à partir duquel il est plus intéressant pour le monopole de vendre beaucoup à bas prix que de vendre peu à un prix élevé.

4 Discussion du cas du marché des CD et de l'émergence d'un nouveau régime.

A partir de là, il est intéressant d'étudier la nature de la crise que traverse actuellement l'industrie du CD. Dans les années soixante dix, les majors ont poursuivi un processus de concentration engagé dans les années soixante et basés sur la promotion à la radio et à la télévision d'un nombre restreint d'artistes capables de faire engranger de gros revenus à ces industries. *L'effet d'influence sociale*, soutenu par les radios et les télévisions est le nerf de la guerre. Mais la croissance de cet effet d'influence se traduit dans le modèle GNP par une *dérive progressive* de la valeur du coefficient J , et donc par une déformation graduelle de la forme de la courbe de demande (figure 8).

4.1 Une crise endogène ?

Est-on passé au-delà du seuil $J > J^*$ à partir duquel il est plus intéressant de vendre à bas prix à beaucoup plutôt que cher à peu ? En l'absence de données empiriques il est difficile de le dire. Par contre, on peut raisonnablement conjecturer que nous sommes entrés dans une zone à équilibre multiple ($J > J_B$). C'est là que le caractère endogène de la crise apparaît en pleine lumière et vient renforcer l'effet d'influence sociale dont nous avons cherché à montrer l'intérêt comme facteur de discontinuité et de rupture qualitative. En effet, la logique même des majors est basée sur la diffusion intensive des candidats aux « tubes » sur les chaînes radio et TV, et les artistes les plus piratés sont précisément ceux qui vendent beaucoup grâce à cette promotion. Les majors, comme les artistes en question, ne pourraient s'en passer.

Bien entendu, une analyse complète devrait également prendre en compte l'incidence de l'échange de fichiers sur l'Internet, mais ceux-ci se concentrent plus particulièrement sur les artistes qui passent le plus en radio, même si de nouvelles formes de promotion purement interne à l'Internet sont en voie d'émergence⁵. Mais pour se limiter aux opérations légales, il convient de remarquer que la Loi n'interdit pas l'enregistrement de la radio, puisque les

⁵ Il faudrait aussi évoquer le cas de la mise à disposition de contenus épuisés ou non distribués, qui mériterait une réflexion spécifique.

droits sont déjà payés par les diffuseurs. Par ailleurs, les techniques qui permettent l'enregistrement numérique des radios en direct ou en différé sont de plus en plus sophistiquées. Les échanges de fichiers sur le réseau, plus médiatisés, ne sont donc qu'un arbre qui cache la forêt, même si l'on peut considérer qu'ils ont également fortement contribué à *déstabiliser de manière exogène* l'ancien régime économique. Le premier atteinte sérieuse au régime des années soixante-dix quatre-vingt serait plutôt venu de la copie numérique des CD par gravure, indice du prix excessif des produits compte tenu du nouvel environnement technologique et institutionnel (cf. section 2.1). Le téléchargement (légal comme illégal) vient ensuite soulever un second problème qui est celui des coûts de distribution du support physique, bien illustré par la faillite récente de *Tower Records*, pionnier américain de la grande distribution⁶. Mais de toutes manières, la logique même qui a permis l'expansion des majors portait en elle sa propre limite, que ce soit sans les nouvelles technologies (notre modèle) ou avec. Un autre « modèle économique » (*régime*, dans notre terminologie) reste donc à inventer.

4.2 Quelques considérations sur l'émergence d'un nouveau régime.

(Abernathy et Utterback, 1978) ont étendu aux stratégies industrielles et technologiques sur les marchés l'usage du concept de « *paradigme* », utilisé pour la recherche fondamentale par (Kuhn, 1970). Le terme de paradigme se réfère ainsi cycle de vie d'un nouveau produit ou d'une nouvelle industrie (l'automobile par exemple). Dans une première phase « *pré-paradigmatique* », les caractéristiques du produit ne sont pas encore fixées et de nombreuses solutions (opportunités) sont en compétition. Mais au fur et à mesure du processus de diffusion la trajectoire technologique du produit réduit les opportunités viables et les caractéristiques de production et d'usage se précisent pour aboutir à une situation stabilisée qui caractérise un nouveau paradigme qualifié de « *dominant design* ». Celui-ci s'impose ainsi aux acteurs concernés (Utterback, 1994). Bien entendu, les notions de régime et de paradigmes sont des abstractions (des modèles) utilisées pour la commodité de l'analyse. Lorsqu'on observe les phénomènes empiriques, les effets des relations décrites par ces modèles abstraits se superposent « comme les tuiles d'un toit » (Bouvier, 1978).

L'entrée en crise d'un régime ou paradigme particulier résulte généralement de la conjonction des stratégies d'adaptation internes et externes au domaine considéré, stratégies elles mêmes suscitées par la réduction des opportunités internes associées à la mise en place d'un « *dominant design* » qui se traduit souvent par des phénomènes de concentration et /ou de hiérarchisation du domaine considérés (comme dans le cas de l'automobile étudié par Abernathy et Utterback, mais aussi dans le cas de l'industrie de la musique enregistrée qui nous a servi d'exemple). Ces stratégies sont caractéristiques de l'épuisement de

⁶ « La mort de Tower Records symbolise l'agonie du CD, » Le Monde 1/12/2006

l'ancien régime et en modifient les relations constitutives ce qui contribue à mener ce régime au-delà de son domaine de viabilité. L'ancien système entre alors en crise, mais celle-ci favorise en retour l'émergence ou la diffusion de nouvelles opportunités technologiques. Compétitions technologiques et stratégies d'acteurs jouent alors un rôle déterminant dans la morphogenèse du nouveau paradigme. (Dang Nguyen et Phan, 1997, 1998) ont proposé une typologie des représentations qui guident l'action des agents en situation de transition paradigmatique. De nombreuses représentations d'acteurs peuvent être qualifiées de rétrogrades ou « *backward looking* », dans la mesure où les stratégies sont basées sur des représentations technico-économiques tournées vers le passé (c'est clairement le cas pour l'industrie du CD). Il peut aussi y avoir des stratégies fondées sur des « visions » individuelles, qui restent l'essence de l'esprit de l'entrepreneur « schumpéterien » (Fransman 1994), des comportements mimétiques ou encore coopératifs. L'émergence résultera de la composition de ces points de vue, qui peuvent cohabiter dans les systèmes de croyances des individus comme dans les croyances collectives (Dessalles, Phan, 2005 ; Phan Ferber 2007). La compréhension de ces phénomènes est un chantier juste ouvert qui demandera encore beaucoup de travail.

Références

- Abernathy W.J., Utterback J.M. (1978); « Patterns of industrial innovation » ; *Technology Review* Vol 80/7 p.40-47.
- Aglietta M. *Régulation et crise du capitalisme*, Paris, Calman-Lévy, 1976 (réédition 1982).
- Aoki M. "Toward an Economic Model of the Japanese Firm", *Journal of Economic Literature*, 28 (1), 1990 p. 1- 27. (traduction partielle publiée dans *Problèmes Économiques* n° 2.225, 15 mai 1991 p. 1-14 sous le titre : "Le Management Japonais : Le Modèle J de Aoki).
- Becker G.R. "A Note on Restaurant Pricing and Other Examples of Social Influences on Price", *Journal of Political Economy*, 99(5) 1991 p.1109-1116.
- Boudon R. *Raison, bonnes raisons*, Col. « Philosophe en sciences sociales », Paris, Presse Universitaires de France, 2003.
- Bouvier J. (1978) ; Evaluation de la recherche : « Approches de l'inflation, l'exemple français », CEPREMAP- CORDES ; *Recherches Économiques et Sociales*, N°12, CGP & CORDES, Documentation française, Paris.
- Cherkaoui M., *Le paradoxe des conséquences, essai sur la théorie wébérienne des effets inattendus et non voulus des actions* Genève-Paris, Droz, 2006
- Coriat B., Weinstein O, *Les nouvelles théories de l'entreprise*, Paris, Poche Références, 1995
- Dang Nguyen G., Phan D. « Apprentissage et diffusion du paradigme numérique dans les Technologies de l'Information et de la Communication », in : Guillon B. *et al.* eds. *Économie de la Connaissance et des Organisations*, Paris, L'Harmattan 1997, p. 177-207. version anglaise étendue et révisée : "Learning and the Diffusion of the Digital Paradigm in Information and Communication Technology" in S. MacDonald, G. Madden (eds.), *Telecommunications and Socio-Economic*

- Development*, Amsterdam, Elsevier Science, Publishers, North Holland 1998, p. 275-294.
- Davis L., North D.C. *Institutional Change in American Economic Growth* ; Cambridge University Press, 1971.
- Dessalles J.L., Phan D “Emergence in multi-agent systems: cognitive hierarchy, detection, and complexity reduction part I: methodological issues” in Mathieu, Beaufils, Brandouy (eds.), *Agent-Based Methods in Finance, Game Theory and their Applications*, Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 564 Berlin, Springer 2005, p. 147-161
- Gordon M.B., Nadal J.P., Phan D. & Vannimetus J. “Seller's dilemma due to social interactions between customers”, *Physica A*, N°356, Issues 2-4 2005 p.628-640
- Gordon M.B., Nadal J.P., Phan D., Semeshenko V. “Discrete Choices under Social Influence: Generic Properties”, in: *WEHIA 2006, 1st International Conference on Economic Sciences with Heterogeneous Interacting Agents*, 15-17 June, University of Bologna, Italy
- Festinger L. *A Theory of Cognitive Dissonance*, Stanford Ca, Stanford University Press, 1957
- Foray D., « Les nouveaux paradigmes de l'apprentissage technologique », *Revue d'Economie Industrielle*, N° 69, 1994 ? p. 93-104,
- Fransman M.”Information, Knowledge, Vision and Theories of the Firm”, *Industrial and Corporate Change* 3 (2), 1994, p.1-45.
- Goodwin R.M. “The Non Linear Accelerator and the Persistence of Business Cycles”, *Econometrica*, 29, 1951, p.1-17.
- Haken H. *Synergetics*, Berlin Springer Verlag, 1983
- Leibenstein H. “Bandwagon, Snob, and Veblen Effects in the Theory of Consumers’ Demand”, *Quarterly Journal of Economics*, 64, 1950. p.183-207.
- Lordon F. *Irrégularité des trajectoires de croissance, évolutions et dynamique non linéaire. Vers une schématisation de l'endométabolisme*, Thèse inédite dir. R.Boyer, EHESS 1993a.
- Lordon F. « Modéliser les fluctuations, le changement structurel et les crises » *Revue d'Economie Politique*, 104/2-3, 1993b.
- Lordon F. « Formaliser la dynamique et les crises régulationnistes » in : Boyer R., Saillard Y. eds. *Theorie de la régulation, l'état des savoirs*, Paris, La Découverte, 1995. p. 264-272.
- Nadal J.P., Phan D., Gordon M.B., Vannimetus J. “Multiple equilibria in a monopoly market with heterogeneous agents and externalities”, *Quantitative Finance*, 5 (6) 2005, p.1-12
- North D.C. *Institutions, institutional change and economic performance*, Cambridge University Press, 1991.
- Orléan A. « Le tournant cognitif en économie », *Revue d'Economie Politique* 5, 2002, p. 717-738.
- Orléan A. “What is a Collective Belief” in Bourguine, Nadal, 2004 op.cit., p.199-212.
- Phan D. « L'ouverture des réseaux de télécommunications : mise en perspective historique et enjeux des évolutions en cours », in Brousseau *et al.* eds. *La mutation des télécommunications des industries et des marchés*, Paris, ENSPTT-Economica. 1996, p. 323-386.

- Phan D. « Coordination, cognition et réflexivité aux fondements des croyances sociales » 12^e journées de Rochebrune : rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, *Réflexivité et auto-référence dans les systèmes complexes* ENST 2005 S 001, Paris.
- Phan D., Ferber J. “Thinking the Social dimension of the Artificial World: Ontological status of Collective Beliefs” soumis à: *International Transactions on Systems Science and Applications*, draft 2007.
- Phan D., Gordon M.B, Nadal J.P.. “Social Interactions in Economic Theory: an Insight from Statistical Mechanics”, in Bourgine P., Nadal J.P. eds. (2004) *Cognitive Economics*; Berlin, Springer Verlag, 2004, p. 225-358.
- Phan D., Pajot S. “Complex Behaviours in binary choice models with global or local social influence”, in Bruun C. ed. *Advances in Artificial Economics The Economy as a Complex Dynamic System*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems , 584, Berlin, Springer, 2006, p 203-220.
- Phan D., Semeshenko V. “Equilibria in Models of Binary Choice with Heterogeneous Agents and Social Influence”, soumis à *European Journal of Economic and Social Systems*, 2007
- Phan D., Sommer L. « Que peut nous apprendre la théorie des coûts de transaction sur les relations opérateurs - équipementiers dans le secteur des télécommunications ? », *Réseaux*, N°8 -1997, p.111-136. Version anglaise étendue et révisée : ”Governance and Technological Change : Transaction Costs in Telco-Equipment Supplier Networks” in Bohlin E. et al. eds.: *Convergence in Communications and Beyond*, Amsterdam Elsevier Science, 2000, p.141-172
- Perroux F. *Unités actives et mathématiques nouvelles, révision de la théorie de l'équilibre économique général* ; Dunod, Paris 1975 ; réédité dans *Pouvoir et économie généralisée*, PUG, Grenoble, 1994
- Rohlf J. *Bandwagon effects in High-Technology Industries*, Cambridge, Ma., MIT Press, 2001.
- Sperber D. « Individualisme méthodologique et cognitivisme », in Boudon R., Chazel F., Bouvier A. eds., *Cognition et sciences sociales*, Paris, PUF, 1997, p.123-136.
- Steyer A. (1993) La « théorie des avalanches », *thèse de doctorat HEC*, 144 p.
- Schumpeter J.A. *Capitalism, Socialism and Democracy*, London, Allan and Unwin, 1942 ; traduction. française : *Capitalisme, Socialisme et Démocratie*, Paris, Payot, 1951
- Utterback J.M. *Mastering the dynamics of innovation*, Boston, Harvard Business School Press 1994.
- Vriend N.J. “An illustration of the essential difference between individual and social learning, and its consequences for computational analyses”, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 24, 2004 p. 1 -19.
- Williamson O.E. “Transaction cost Economics and Organization Theory”, *Industrial and Corporate Change*, 2 (2), 1993, p. 107-156.
- Williamson O.E. *The Mechanisms of Governance*, Oxford, Oxford University Press 1996.
- Weisbuch G. *Dynamique des Systèmes Complexes : une introduction aux réseaux d'automates*, Paris, InterEditions / CNRS, 989.

Les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophe

Damienne Provitolo

ThéMA UMR 6049 CNRS, Université de Besançon, France

<mailto:damienne.provitolo@univ-fcomte.fr>

Résumé

Cet article a pour objectif de porter un regard sur les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophes. On entend ici le terme de catastrophe comme une désorganisation sociale et spatiale du système territorial affecté par un événement perturbateur. A partir des recherches menées par de nombreux chercheurs sur les risques et les catastrophes et de nos propres travaux, différentes formes de complexité ont pu être identifiées. Cinq d'entre elles sont présentées. La première est relative à la complexité structurelle. Les systèmes de risque et de catastrophes sont en effet gouvernés par de nombreuses composantes en interaction (aléa, vulnérabilité, effets de dominos) qui génèrent des phénomènes non linéaires. La deuxième fait référence à la complexité de niveaux d'organisation, c'est-à-dire à l'émergence de nouvelles propriétés qui peuvent soit renforcer soit affaiblir la catastrophe. Le passage de la panique individuelle à la panique collective en est un exemple. La troisième a trait à la complexité d'échelle. Saisir la complexité des risques et catastrophes, c'est non seulement comprendre les emboîtements d'échelles spatiales, mais aussi les emboîtements d'échelles temporelles. La quatrième correspond à la complexité des formes spatiales de la catastrophe. Généralement, ces formes sont représentées à partir de modèles de gradients qui rendent compte de la diminution de l'intensité du risque et de la catastrophe avec l'augmentation de la distance au foyer émetteur. Mais certains auteurs portent davantage leur attention sur les formes fractales des catastrophes. Enfin, on peut identifier une cinquième complexité qui est liée à la dynamique imprévisible d'un système. Les chercheurs développent en effet de plus en plus des modèles de simulation permettant d'analyser et de comprendre les systèmes complexes. Ces différentes formes de complexité ne s'excluent pas mais peuvent au contraire se combiner. Cela rend d'autant plus difficile la gestion des catastrophes.

1 Introduction

Le comportement des systèmes complexes de catastrophe est un problème auquel sont confrontés de nombreux chercheurs, et ce dans des domaines de connaissances distincts. Ce texte n'a pas pour objectif de faire un tour d'horizon sur les différents modèles de risque ou de catastrophe existants, même si parfois nous nous référerons à certains d'entre eux. L'objectif est autre. Il s'agit de proposer une synthèse des formes de complexité qui s'appliquent aux risques potentiels et aux catastrophes réelles. Tout au long de cet article, nous emploierons les termes de risque et de catastrophe de façon équivalentes, car tous deux sont régis par les mêmes variables, l'aléa, la vulnérabilité et les effets dominos.

Dans cet article, les complexités des catastrophes sont abordées sous des angles différents qui constituent nos trois parties. La première partie de ce texte est consacrée à la complexité de structure et de niveaux d'organisation. La deuxième partie porte sur les complexités d'échelles spatiales et temporelles. La troisième partie enfin expose les formes du risque et de la catastrophe ainsi que leur complexité dynamique et imprévisible. Tout au long de cette présentation seront proposées en filigrane différentes approches théoriques de la complexité. Ces théories permettent de fournir un cadre formel à l'étude des catastrophes ainsi que des modalités de réponse à leur gestion spatiale et temporelle.

2 Les complexités de structure et de niveaux d'organisation

Cette première partie rend compte dans un premier temps de la structure complexe des systèmes de risques et de catastrophes, des interactions entre les différentes composantes qui régissent ces systèmes. Dans un second temps, la complexité des catastrophes est décrite par le biais des niveaux d'organisation.

2.1 La complexité structurelle

Les sciences de la complexité proposent une approche holistique des phénomènes. L'analyse holistique cherche à comprendre la mécanique des systèmes en mettant l'accent non seulement sur les entités qui le composent mais aussi et surtout sur les relations qui existent entre ces entités [1]. C'est donc à partir de cette entrée holistique que nous abordons la complexité structurelle des systèmes de risque et de catastrophe. Deux niveaux de complexités structurelles ont pu être identifiés.

Le premier niveau repose sur la définition du risque. Ce dernier est en effet désormais défini comme la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité ($R = A * V$). Nous préférons toutefois délaissier ce terme de combinaison, qui met difficilement en valeur l'idée d'interactions entre les composants, pour définir le risque comme un ensemble complexe d'aléa(s) et de vulnérabilité(s). Ce qui signifie que le risque ne peut être réduit ni à l'une ou l'autre de ses parties ni à la somme de ses parties.

L'aléa et la vulnérabilité sont considérés comme des entités qui s'influencent mutuellement par le biais d'interactions complexes. Prenons l'exemple d'un risque d'inondation en milieu urbain. L'aléa à l'origine de l'inondation peut être un aléa climatologique dans le cas de précipitations exceptionnelles ou un aléa technologique lors d'une rupture de barrage ou de digues. Imaginons une inondation par débordement de fleuve déclenchée par de fortes précipitations. Cet aléa initial ou de premier ordre va déclencher un aléa que l'on pourrait nommer de deuxième ordre, une crue de fleuve par exemple. Quand le fleuve accumule un potentiel d'eau excédentaire, il atteint

un seuil critique, et rétablira l'équilibre en redistribuant cette eau sur une surface plus étendue, une ville par exemple. La violence de la crue débordante dépendra donc non seulement de l'aléa de premier ordre mais aussi de la qualité de drainage du bassin (endiguements des cours d'eau, entretien des berges, calibrage des arches de ponts). L'inondation par débordement de fleuve est donc à la fois fonction d'un aléa climatologique mais aussi de la vulnérabilité des digues, des berges, vulnérabilité dépendant des aménagements réalisés par la société et agissant donc par le biais d'une boucle de rétroaction sur la dynamique de la crue. Cet exemple montre que la catastrophe résulte de franchissements de plusieurs effets de seuils critique en interaction, les seuils critiques de débordement du fleuve et de rupture de digues. Sous forme de graphe sagittal, et en référence à la théorie générale des systèmes de L. Von Bertalanffy [2], ce seul scénario combine un couplage par rétroaction et un couplage par interaction (fig.1). Ces formalismes graphiques, pédagogiques, sont une première représentation de la complexité structurelle des risques et catastrophes.

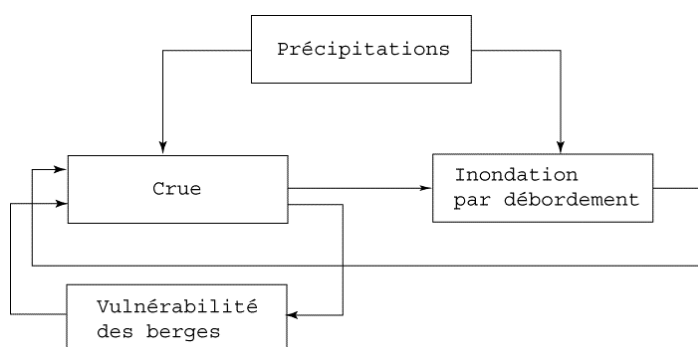


FIG. 1 - Un exemple de types de couplage entre sous-systèmes

L'autre type de complexité est relative à l'augmentation des niveaux de complexité lorsque l'on passe du risque complexe sectoriel (aléa, vulnérabilité) au risque complexe transversal (aléa, vulnérabilité et effets de dominos). Cette augmentation des niveaux de complexité résulte du nombre encore plus élevé de composantes et de leur multiplicité d'interactions. Ainsi, le risque complexe transversal intègre des effets en cascade de nature variée : naturelle et technique ou technologique, naturelle et sociale ou encore, pour prendre un dernier exemple, naturelle, technique et sociale. Ces effets de dominos, particulièrement prégnants en milieu urbain, sont créateurs de franchissement de multiples seuils de gravité dans des domaines variés et pour une même « hypercatastrophe ». Ainsi, un orage peut créer des inondations qui vont à leur tour entraîner des perturbations de plus ou moins grande ampleur : des glissements de terrain, la destruction de réseaux vitaux, l'apparition de mouvements de panique chez les automobilistes pris par les flots, etc. Cette complexité structurelle concerne des catastrophes de nature et de genre variés. La figure 2 représente, sous forme de graphe systémique, le déroulement d'une catastrophe d'origine sismique avec un effet de domino. Le désastre survient à la suite du tremblement de terre, puis du fait des

incendies, des ruptures de canalisation et de l'effondrement des bâtiments. Ces enchaînements d'événements sont une réalité. Il suffit de se souvenir du tsunami déclenché par un séisme qui frappa l'Océan indien en décembre 2004, ou du cyclone Katrina qui dévasta la côte du Golfe du Mexique en août 2005, pour percevoir l'ampleur de la complexité générée par des effets en cascade. Comme l'ont fait remarquer, dans leur mission de retour d'expérience, X. Guihou, P. Lagadec, E. Lagadec [3], lors du passage du cyclone Katrina à la Nouvelle-Orléans, le problème majeur n'a pas été le vent en tant que tel mais l'inondation durable survenue à la suite de la rupture des digues de protection.

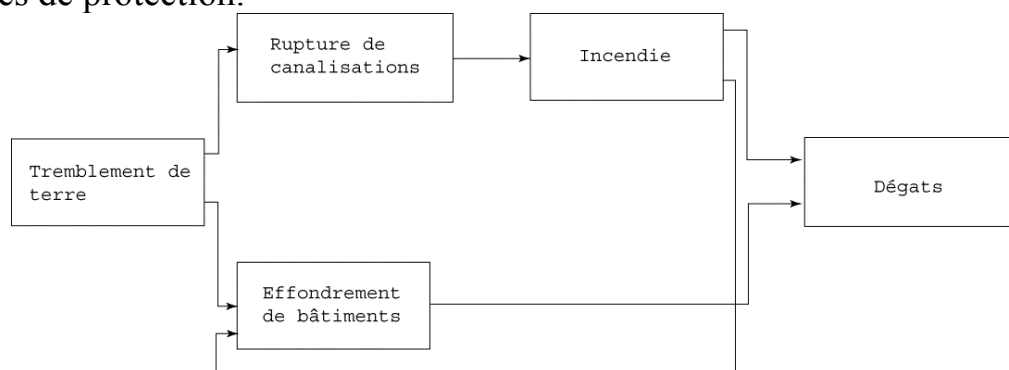


FIG. 2 - Un exemple de réactions en chaîne déclenchées par un séisme

Cette complexité structurelle est rarement prise en compte par les gestionnaires des catastrophes. En effet, ces derniers appréhendent le plus souvent les risques en fonction d'une typologie sectorielle bien établie : les risques d'inondation, de tremblement de terre, de feux de forêt, de tsunami, les accidents nucléaires etc. pour n'en citer que quelques uns sont identifiés dans les différents documents de prévention et de gestion des risques majeurs (Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs). Mais ces différents documents intègrent peu la complexité transversale des catastrophes urbaines.

Il conviendrait, pour tout type de risque, d'identifier les effets dominos et d'intégrer cette connaissance dans les études de danger. Ces études sont par exemple au cœur du processus de gestion des risques pour les installations classées. En effet, en France, la loi du 19 juillet 1976 précise que l'étude de dangers d'une installation classée pour la protection de l'environnement doit exposer les dangers que présente l'installation en cas d'accident, ainsi que les effets dominos internes (entre équipements d'un même site) ou externes (de sites voisins). L'étude de danger précise donc l'ensemble des mesures mises en oeuvre pour réduire le risque à l'intérieur et à l'extérieur de l'établissement. Mais ces études de danger n'existent que pour le risque industriel. Il conviendrait de les étendre aux risques d'origine naturelle.

2.2 La complexité de niveaux d'organisation

Comme le précise A. Dauphiné [4], l'imbrication de divers niveaux d'organisation est source de complexité. Cette complexité fait référence à

l'émergence de nouvelles propriétés qui peuvent augmenter ou affaiblir l'ampleur du désastre. Dans le domaine des catastrophes, la complexité organisée résulte essentiellement de l'auto organisation des systèmes. L'auto organisation est un processus émergent d'organisation [5]. Mais elle se différencie de l'organisation car elle ne résulte pas de forces extérieures (même si le système reste ouvert sur son environnement) mais de l'interaction de ces éléments. Dans le cadre de nos travaux [6], nous avons modélisé et simulé un phénomène de foule auto organisée, celui de l'émergence de la panique collective à partir de l'apparition de paniques individuelles lors d'une inondation (terrain d'étude : la ville de Gênes).

Le modèle de la panique est un modèle de type stocks-flux réalisé dans le cadre de modélisation en dynamique de système. Pour modéliser et simuler la diffusion de la panique à l'intérieur d'une population, nous nous sommes inspirée du modèle épidémiologique de W. Kermack et de A. Mc Kendrick. Le modèle construit comprend deux catégories de populations : la population susceptible de paniquer et la population paniquée. Ces deux populations sont présentes dans la zone inondable. Le modèle tient compte des taux de contact au sein de la population susceptible de paniquer, de l'interaction entre les populations paniquées et non paniquées et des taux de contamination. Ce modèle, régi par des équations différentielles discrétisées en équations aux différences, simule l'évolution de la panique, sa diffusion au sein d'une population non paniquée. A partir des résultats de simulation, on a pu démontrer que la panique collective n'est pas une somme de comportements agrégés. Elle relève d'interactions entre les composantes en contact du système. Le passage d'un niveau micro de panique individuelle à un niveau macro de panique collective résulte de la présence d'un circuit de rétroaction positive. Comme le précise E. Daudé [7], à partir de l'observation d'un individu ou d'un ensemble d'individus, il n'est pas possible de prédire si une diffusion peut ou ne peut pas se réaliser. Au démarrage de la simulation réalisée, seule une personne est paniquée. Cette panique individuelle se diffuse ensuite très rapidement, en raison des interactions dynamiques entre les personnes, à la grande majorité de la population présente sur les lieux du désastre, et ce sans qu'il y ait bien évidemment un appel à la panique générale. La panique collective émerge donc de la panique individuelle.

L'émergence de la panique collective participe à rendre la gestion de la catastrophe plus délicate et à majorer le nombre de victimes qui sont le plus souvent piétinées et écrasées. Par exemple, le tremblement de terre qui ébranla Tokyo en 1923, et les incendies qui s'ensuivirent, provoquèrent des mouvements de panique générale. En tentant de rejoindre l'autre rive du fleuve Sumida qui longe le centre de Tokyo pour échapper à l'avancée des flammes, des centaines de personnes, prises de panique, basculèrent dans l'eau où beaucoup trouvèrent la mort [8].

Ces niveaux d'organisations ne sont pas propres à ce type de phénomène de foule. On les retrouve pour d'autres catastrophes, parfois au niveau de l'aléa et/ou de la vulnérabilité, parfois au niveau des effets de dominos. Des

scientifiques ont ainsi démontré que les avalanches de neige sont un phénomène auto organisé de même que les tremblements de terre, les feux de forêts, ou encore, parfois, l'organisation des sinistrés. Dans le cas des tremblements de terre, le frottement des plaques tectoniques les unes contre les autres engendre une pression qui croît lentement et qui finit par provoquer une cassure, cassure qui, par effet de domino et par transfert de force, peut en créer une autre jusqu'à aboutir à une réaction en chaîne à l'origine d'un séisme [9]. Cette auto organisation ne se limite pas à l'aléa sismique. G. Esteva [10] a en effet étudié l'auto organisation de la population lors du tremblement de terre qui frappa le Mexique en 1985. La population a structuré ses actions sans concertation préalable mais directement sur le terrain. L'auto organisation des sinistrés a participé à sauver des vies.

Ce qui caractérise donc les systèmes auto organisés c'est l'émergence et le maintien d'un ordre global sans qu'il y ait un leader. Cette auto organisation signifie que l'on ne peut observer les mêmes propriétés aux niveaux micro et macroscopiques. Au niveau microscopique, on observe des éléments ayant des propriétés et qui peuvent interagir entre eux. Au niveau macroscopique en revanche on s'intéressera à l'émergence de nouvelles propriétés et structures.

3 Les échelles spatiales et temporelles du risque et de la catastrophe

Le risque et la catastrophe ne peuvent être réduits à une seule dimension, à une seule échelle, ni à une période de temps donnée [11]. Cette deuxième partie aborde donc leur complexité à travers le prisme des échelles.

3.1 La complexité d'échelle spatiale

Les chercheurs, et plus particulièrement les géographes, qui travaillent sur les catastrophes, peuvent de moins en moins réduire ces dernières à une seule échelle spatiale. La catastrophe dépasse en effet les frontières physiques, ne fonctionne plus dans un contexte stable et relativement délimité [12].

Ainsi, une catastrophe qui prend forme à un niveau local, peut avoir des conséquences au niveau régional, national, transfrontalier voire mondial. Avec les attentats du 11 septembre 2001 à New York, le monde vit un phénomène local à résonance planétaire : ces attentats se sont déroulés dans le quartier d'une ville, ont affecté cette ville, puis tout le pays et la planète. De par l'acte terroriste, l'onde de choc s'est donc diffusée d'un site bien identifié localement à l'ensemble de la planète. Dans ce cas, l'effet domino déborde le cadre urbain d'origine. La catastrophe prend spatialement une dimension internationale. Ainsi, pour un même aléa d'origine, aux causes différentes, à savoir une explosion d'avion en vol, la catastrophe n'aura pas les mêmes conséquences dans le temps et dans l'espace. Si l'explosion en vol résulte d'une défaillance technique, certes complexe mais appartenant à une même

dimension technique, les conséquences de la catastrophe seront gravissimes dans l'immédiat mais limitées dans le temps et dans l'espace. En revanche, si l'explosion résulte d'un acte de terrorisme, dont les causes associent notamment les domaines de l'économie, de la politique, du territoire, les conséquences seront complexes dans le temps et dans l'espace. De même, avec le tsunami qui ravagea le sud de l'Asie en décembre 2004, le monde découvre « les risques naturels d'échelle continentale à effet global » [13]. Ces événements nous rappellent que la catastrophe n'est pas forcément un événement localement spatialisé aux effets circonscrits. Et ces emboîtements d'échelle spatiale révèlent parfois l'inadéquation du maillage administratif de gestion du risque.

3.2 La complexité d'échelles temporelles

Cette complexité nécessite d'appréhender les risques et les catastrophes dans leur environnement temporel complet. Trois phases temporelles peuvent être distinguées. La première est relative à la temporalité du risque potentiel, c'est-à-dire à ce qui se passe avant la catastrophe. La deuxième concerne la temporalité de la catastrophe, soit tout ce qui se passe pendant l'événement catastrophique. La troisième enfin correspond à l'après catastrophe et au retour d'expérience. Cet environnement temporel complet mélange deux temporalités, le court terme et le long terme. De cet environnement temporel complet et de la double temporalité qui lui est liée émerge la complexité des risques et catastrophes.

L'une des premières formes de complexité provient des interactions entre les dynamiques des temporalités du risque, de la catastrophe et de l'après catastrophe. En effet le comportement de ces trois environnements temporels, en s'influant mutuellement mais non simultanément, est rendu complexe de par l'apparition de boucles de rétroaction [14]. Pour reprendre les termes de R.-A. Thiétard [5], « les actions d'hier sont à l'origine de réactions aujourd'hui qui mènent, à leur tour, à de nouvelles actions demain », et ces actions, de par leur interaction génèrent la complexité. Relativement au risque et catastrophe, les actions d'hier sont celles mises en place au sein du système risque, notamment par le biais de mesures de prévention et par la politique d'aménagement du territoire. Ces actions d'hier vont agir sur le déroulement du désastre et entraîner ainsi des réactions pendant la catastrophe. Puis, à l'issue de l'événement, une analyse post catastrophique, plus connue sous le vocable de retour d'expérience, doit permettre d'identifier et d'analyser les défaillances et les erreurs dans la prévention des risques et la gestion des catastrophes. Des missions de retour d'expérience furent par exemple réalisées à la suite des pluies verglaçantes qui paralysèrent Montréal en janvier 1998 ou du cyclone Katrina qui affecta La Nouvelle-Orléans en 2006. De nouvelles stratégies de lutte contre le retour d'une éventuelle catastrophe sont alors mises en place. Les systèmes de risque et de catastrophe, qui fonctionnent sur des temporalités distinctes, sont donc liés

par l'analyse des défaillances et des erreurs de prévention et de gestion et par la mémoire des événements passés (fig. 3).



FIG. 3 - *Les interactions entre les systèmes de risque et de catastrophe*

De plus, pendant la catastrophe, les temporalités de l'aléa, de la vulnérabilité et des effets de dominos fonctionnent rarement de concert. En effet, les boucles de rétroaction qui régissent tout système de catastrophe interviennent simultanément ou successivement au sein de la structure modélisée. Des modèles de simulation montrent que les dynamiques temporelles de ces trois entités sont le plus souvent décalées [15] [6]. Le rythme temporel d'un aléa sismique ou d'une crue de type méditerranéen à l'origine d'un désastre est bref, en revanche, celui de la vulnérabilité est le plus souvent plus long. De plus, on perçoit des délais entre le moment où l'aléa se déclenche, et son impact sur la vulnérabilité et sur les effets de dominos. Lors de la réalisation d'un modèle de simulation d'inondation urbaine de type méditerranéen (terrain d'étude Gênes et Nice), nous avons montré l'existence de bref décalage temporel entre le temps de l'aléa et celui de la vulnérabilité de la population. Ces décalages ne sont pas spécifiques aux inondations. On les retrouve lors de catastrophe d'origine naturelle, telles les glissements de terrain ou les avalanches, et d'origine technologique. Pour prendre un dernier exemple, un aléa sismique qui se déclenche au temps t pourra occasionner une rupture de digue au temps $t+1$ qui elle-même générera un accident technologique au temps $t+2$. Ces trois aléas, qui s'inscrivent sur différentes temporalités, engendreront également des vulnérabilités de nature et de temporalité distinctes : les vulnérabilités du bâti, de la digue, et de la population apparaîtront là encore soit avec un emboîtement partiel soit avec écart temporel plus ou moins marqué. L'imbrication de ces différentes temporalités rend la gestion de la catastrophe complexe car les services d'urgence doivent savoir où et quand secourir. Et la complexité sera encore accrue par l'intervention de multiples acteurs dont les prises de décision sont rarement directes et instantanées. L'absence de simultanéité des éléments de la catastrophe complexifie donc leur dynamique [14].

Le recours à des modèles de simulation permet d'appréhender cette complexité de dynamique temporelle. Or, force est de constater, que les nombreux documents d'analyse de risque, font abstraction de la temporalité de la catastrophe, alors qu'elle est l'un des points essentiels de la gestion. Il conviendrait donc d'effectuer un changement de perspective d'analyse des catastrophes, afin d'appréhender leur dynamique temporelle et spatiale, ce

que ne font pas les documents actuels qui sont davantage statiques, ou qui, au mieux étudie l'évolution diachronique d'une catastrophe et non sa dynamique.

Deux pistes de recherches nous semblent intéressantes à creuser pour appréhender la complexité de la dynamique temporelle des systèmes de risque et de catastrophe. La première fait référence à la théorie des équilibres ponctués de N. Eldredge et S. J. Gould ; la seconde est relative au concept de résilience. La théorie de l'équilibre ponctué enseigne qu'aux longues phases de stabilité qui caractérisent les risques, s'opposent des fluctuations brèves mais intenses qui déterminent la catastrophe. Cette période de stagnation est appelée stase. Le lit d'une rivière connaît une longue période de stase, avant de connaître un débordement. Les réseaux de faille connaissent également de grandes périodes de stase avant de libérer brutalement l'énergie lors de tremblement de terre. Il en est de même lors d'éruption volcanique ou le magma s'accumule lentement dans la chambre volcanique avant le réveil du volcan. La majorité des catastrophes pourraient donc s'inscrire dans la théorie des équilibres ponctués. Il existe quelques exceptions aux temporalités plus étirées. Tel est le cas de la sécheresse au Sahara ou de l'épidémie du sida qui frappe le globe. Cette piste de recherche mérite donc d'être creusée. Cette théorie permettrait de comprendre aussi bien les phases de stabilité que les désastres [16]. Elle offrirait également la possibilité de comprendre les catastrophes en dehors d'un cadre disciplinaire et donc d'établir des comparaisons entre des désastres de nature et de genre variés.

L'étude des systèmes de risque et de catastrophe sous l'angle de la résilience permettrait quant à elle de mesurer la capacité du système à retrouver son état initial après un choc ou une pression continue [17]. Le degré de résilience d'un système serait dépendant des couplages d'échelles spatiales et temporelles. Pour mesurer ce degré de résilience, un groupe de recherche multidisciplinaire qui étudie les dynamiques des systèmes complexes adaptatifs, *Resilience Alliance*, propose une méthode d'analyse. Tout d'abord, il convient de définir le système, ses limites spatiales et temporelles et d'identifier les variables clés de son évolution. Ensuite, l'étude de l'évolution dynamique du système est réalisée par le biais de la dynamique de système. Les résultats de simulation obtenus permettent d'identifier les comportements non linéaires et les seuils qui conduisent à un changement brutal. Ce concept, difficile d'accès, est cependant opératoire. Ainsi, depuis 1996 aux Pays-Bas, la stratégie de lutte contre les inondations n'est plus fondée sur la seule résistance des digues aux tempêtes mais sur la mise en place d'une stratégie de résilience du système littoral [18].

4 Les formes et dynamiques des risques et catastrophes

Les risques et les catastrophes ont des formes spatiales et des dynamiques temporelles qu'il convient d'identifier et d'analyser car leur connaissance

participera à la mise en œuvre de mesures de prévention et de gestion plus efficaces.

4.1 Les formes spatiales de la catastrophe

La théorie de la diffusion est souvent retenue pour étudier les formes euclidiennes du risque et de la catastrophe. Celles-ci naissent à partir du foyer émetteur et continuent leur progression spatiale, notamment en fonction de la rugosité et de la morphologie de l'espace. Généralement, ces formes sont représentées à partir de modèles de gradients qui rendent compte de la diminution de l'intensité du risque et de la catastrophe avec l'augmentation de la distance au foyer émetteur. Ce foyer peut être représenté par un point, une ligne, et ce, notamment selon l'échelle à laquelle l'analyse est réalisée. Dans le premier cas, celui du point, correspond une forme aréolaire. Dans le second cas, celui d'une ligne coïncide une forme linéaire. Souvent, ces deux formes se combinent, et ce particulièrement lors de catastrophes complexes : combinaison de diffusion linéaire, hiérarchique, ou encore par contagion à partir d'un ou de plusieurs foyers émetteurs. Ces différentes diffusions sont bien connues du géographe.

Toutefois, certains chercheurs émettent d'autres hypothèses. Les formes spatiales de la catastrophe seraient plus complexes et diversifiées car fractales. Jusqu'à présent, la fractalité de ces formes a été démontrée à partir de la théorie des systèmes auto organisés critiques, théorie élaborée par P. Bak dès 1987. Cette théorie enseigne que les systèmes auto organisés critiques possèdent une double signature fractale : une fractalité temporelle et une fractalité spatiale [9]. Donc, s'il est possible de démontrer que l'ensemble des catastrophes sont des systèmes auto organisés critiques, cela signifie que leur forme spatiale est complexe car fractale. Cette théorie a fait l'objet d'applications dans le domaine des aléas naturels. En France, D. Sornette [19] a démontré qu'un séisme ne saurait être dépendant d'une seule faille, ce qui est plus communément admis, mais plutôt d'un champ de faille dont l'organisation spatiale est fractale. Ce qui expliquerait pourquoi les tremblements de terre ne se produisent pas toujours là où on les attend. Cette théorie est également employée pour comprendre l'évolution des incendies de forêt et des éruptions volcaniques. Les aménagistes des incendies forestiers utilisent couramment des modèles issus de la géométrie euclidienne (les formes sont régulières : rond, carré, triangle) pour prévoir le périmètre d'un incendie se propageant à partir d'un seul point. Toutefois, des chercheurs ont montré que le périmètre d'un incendie est très irrégulier et que le front d'avancée d'un incendie de forêt est de nature fractale.

Mais les recherches menées jusqu'alors sur la complexité spatiale des catastrophes ne permettent pas de dire si les formes spatiales fractales s'appliquent à tout type de catastrophe. La connaissance relative aux formes euclidiennes ou fractales de la catastrophe nécessite donc d'être approfondie.

La connaissance des formes des risques et des catastrophes a des implications majeures en matière de prévention et de gestion. En effet, les formes des catastrophes semblent être plus complexes et diversifiées que les formes de risque qui sont représentées le plus souvent par des cartes gradients de type statique. Il existerait donc un décalage partiel ou total entre l'aire du risque et l'aire de la catastrophe. En terme de prévention et de gestion des catastrophes, les conséquences sont non négligeables. Les effets d'une catastrophe seront d'autant plus minimisés que les formes de celle-ci seront bien identifiées. Dans le cas de figure inverse, les services de secours rencontreront davantage de difficultés pour intervenir sur des zones jugées initialement sans risque ou dont les contours furent mal appréhendés. Par exemple, l'évaluation du risque technologique détermine le plus souvent une zone de danger circulaire autour de l'établissement industriel. Ce type de modèles tient peu compte des caractéristiques de l'urbanisation et donc de la vulnérabilité du site. Ainsi, dans le cas de l'usine AZF de Toulouse, la forme de la catastrophe a largement dépassé la zone du risque. En terme de gestion, cela signifie que des zones vulnérables n'ont pas été identifiées en tant que telles et n'ont donc pas été intégrées dans la mise en place de mesures de prévention du risque et de gestion de la catastrophe.

4.2 Les dynamiques imprévisibles des catastrophes

Un système dynamique permet de décrire l'évolution des phénomènes au cours du temps. Comme le précise J. de Rosnay [20], la simulation étudie le comportement dans le temps d'un système complexe à partir du ou des modèles réalisés pour le représenter. La complexité du comportement temporel de la catastrophe provient des boucles de rétroaction qui relient les multiples variables du système, des interactions entre ces boucles, des retards entre les variables et des éléments non linéaires [14]. Deux grands types de force régissent les systèmes dynamiques de la catastrophe. Les unes poussent le système vers l'instabilité et le désordre. Ce sont les boucles de rétroaction positive. Les autres amènent le système à retourner à son état initial. Ce sont les boucles de rétroaction négatives. Et ces deux types de boucles de rétroaction se combinent dans les systèmes complexes. Cette complexité dynamique sera encore accrue par la présence de non-linéarité entre les variables (c'est-à-dire de non proportionnalité stricte entre cause et effet), et de décalage temporel dans leur mise en scène. Relativement aux catastrophes, la planification, l'intervention des gestionnaires des désastres sont des forces qui amènent le système à tendre vers son retour initial et donc à la stabilité et à l'ordre. En revanche, les effets de dominos poussent le système au désordre et à l'instabilité.

Dans leur livre intitulé « La systémique, penser et agir dans la complexité » [14], G. Donnadiou et M. Karsky présente un exemple intéressant de catastrophe écologique. Le modèle réalisé décrit la pollution d'un milieu aquatique par un polluant et l'effet de cette pollution sur les

espèces animales (poissons, daphnies) et végétale (algues). Plusieurs scénarios de simulation sont réalisés afin d'appréhender l'impact de différents niveaux de pollution sur ces espèces. Avec un faible niveau de pollution, les populations retrouvent, plus ou moins rapidement selon les espèces, un état d'équilibre. A l'opposé, une très forte pollution aura des conséquences catastrophiques avec la disparition des daphnies. Au niveau intermédiaire de pollution, le système retrouvera son équilibre à la suite d'une série de mouvements oscillatoires. Ces résultats de scénarios n'étaient pas surprenants en eux-mêmes car de telles situations avaient déjà été observées. En revanche, le dernier scénario présente des résultats originaux. En augmentant légèrement le niveau de pollution du scénario intermédiaire, les résultats de simulations produisent un effet appelé par les auteurs de « catastrophe différée » : après une série de comportements oscillatoires, les poissons et les daphnies disparaissent alors même que tout donnait à croire que le système écologique était en train de se rétablir ! Il s'agit là d'un résultat imprévisible, complexe mais non chaotique. Seules la modélisation et la simulation de ce système complexe permettent la découverte de résultats contre-intuitifs.

Lors de nos travaux [21] [15] [6], nous avons modélisé et simulé la dynamique temporelle d'une catastrophe d'origine naturelle, une inondation. Le modèle réalisé intègre, sous forme de stocks et de flux, les différentes entités de la catastrophe, l'aléa et la vulnérabilité mais aussi des effets de dominos liés aux problèmes de circulation urbaine et de déclenchement de panique. En fonction des valeurs affectées aux différents paramètres du modèle (politique de prévention, rapidité d'intervention des secours, taux de contact et de contamination entre la population paniquée), les formes de la dynamique du système de la catastrophe se modifient. Ainsi, le système connaît des évolutions différentes. Il n'adopte pas le même comportement. De même les simulations ont présenté des comportements contre-intuitifs, imprévisibles : la diminution des taux de contact et de contamination qui régissent les relations entre les personnes paniquées et non paniquées n'entraîne pas toujours celle de la population paniquée. De par la présence de lois dynamiques non linéaire, le système peut donc adopter des comportements imprévisibles.

5 Conclusion

Cet article a permis de distinguer les différentes complexités des catastrophes. Il a également mis en lumière la nécessité de dépasser des logiques d'approches fragmentées pour préférer au contraire des démarches plus globales. En ce sens, les sciences de la complexité peuvent être requises pour appréhender la complexité de ces systèmes. Ces nouvelles approches ont d'ailleurs permis de faire évoluer l'évolution du concept de catastrophe. Pour mener à bien de telles recherches, des partenariats transversaux associant de nombreuses disciplines, des sismologues et des géographes, des mathématiciens et des informaticiens, des aménageurs du territoire, des

sociologues et des historiens, des systémiciens, doivent être mis en place. Il est en effet nécessaire de décloisonner les recherches disciplinaires si l'on souhaite mieux comprendre le risque ou la catastrophe. Mais de tels partenariats ne sont pas suffisants. Il conviendrait en effet de mener ces recherches sur les catastrophes complexes à l'aide d'un cadre théorique et méthodologique.

A l'heure actuelle, il n'y a pas de théorie unique pour modéliser les systèmes complexes mais plusieurs approches différentes [22]. Tout au long de cette présentation, nous avons tenté d'exposer, certes brièvement, différents cadres théoriques et méthodologiques (théorie de la diffusion, théorie des fractales, théorie de l'auto organisation critique, modélisation en dynamique des systèmes, théorie des équilibres ponctués, résilience) permettant d'apporter des éléments de réponse aux différentes formes de complexités. Mais, comme a pu l'écrire Susan Cutter [23], « l'absence d'une théorie unifiée capable d'expliquer les réactions des sociétés à leur environnement reste une cause de frustration ». Peut être devrions nous alors réfléchir à une méta théorie pour modéliser et simuler la complexité des catastrophes.

Les théories présentées offrent indéniablement de nouvelles pistes de recherche pour comprendre les catastrophes, aux origines variées, que subissent les sociétés. Mais chacune de ces théories permet d'appréhender l'une des formes de complexité des catastrophes et non l'ensemble de ces complexités. Par exemple, si les théories de l'auto-organisation critique et fractale font indéniablement progresser la connaissance sur la complexité des formes spatiales de la catastrophe, elles ne permettent pas en revanche d'appréhender leur complexité structurelle. Chacune de ces approches de la complexité produit une connaissance partielle du risque et de la catastrophe. Or, comme les différentes formes de complexité ne s'excluent pas mais peuvent au contraire se combiner, il serait intéressant de pouvoir recourir à une théorie unifiée permettant d'appréhender les diverses formes de complexité. Cette méta théorie, en offrant une vision complète et non plus partielle des complexités, permettrait de mieux comprendre les catastrophes, et de mettre ainsi en œuvre des mesures de prévention et de gestion plus efficaces.

6 Références

- [1] A. Ménard, E. Filotas, D. J. Marceau, *Automates cellulaires et complexité : perspectives géographiques*, (2005). <http://www.iag.asso.fr/aarticles/AUTOMATES>
- [2] L. Von Bertalanffy, *Théorie générale des systèmes*, Dunod, Paris, 296 p, (1973).
- [3] X. Guihou, P. Lagadec, E. Lagadec, *Les crises hors cadres et les grands réseaux vitaux- Katrina*, Mission de retour d'expérience, EDF, 34 p, (2006). http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/EDF_Katrina_Rex_Faits_marquants.pdf
- [4] A. Dauphiné, *Les théories de la complexité chez les géographes*, Economica, Paris, 248 p, (2003).

- [5] R-A. Thiétart, « Management et complexité : concepts et théories », Cahier n° 282, Centre de Recherche DMSP, (2000).
- [6] D. Provitolo, « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines », *Cybergéo*, n° 328, (2005).
- [7] E. Daudé, « Apports de la simulation multi-agents à l'étude des processus de diffusion », *Cybergéo*, n° 255, (2004).
- [8] P. Hadfield, *Tokyo séisme : 60 secondes qui vont changer le monde*, Ed. Autrement, Paris, 149 p, (1992).
- [9] P. Bak, *Quand la nature s'organise. Avalanches, tremblements de terre et autres cataclysmes*, Flammarion, Paris, 283 p, (1999).
- [10] G. Esteva, « L'auto-organisation des sinistrés », in : *Etats d'urgence /* sous la direction de P. Lagadec, Seuil, Paris, 409 p, (1988).
- [11] L. Arreghini, H. Mazurek, « Territoire, risque et mondialisation. Quelques réflexions à partir du cas des pays andins », in : *Espaces tropicaux et risques : du local au global /* sous la direction de G. David, Presses Universitaires d'Orléans, p. 240-258, (2004).
- [12] P. Lagadec, « Risques, crises et ruptures aux frontières du chaotique (Risk, emergencies, breaking situations on the borderline of chaos) », *Revue Contrôle*, Dossier Le Risque, n°168, 165 p., (2006).
<http://www.asn.gouv.fr/publications/dossiers/c168/controle168.asp>
- [13] P. Lagadec, « Tsunami, Asie du Sud-Est, 26 décembre 2004 – Analyses à chaud », Cahier n°1, Ecole Polytechnique, Laboratoire d'économétrie, Paris, (2005).
- [14] G. Donnadiou, M. Karsky, *La systémique, penser et agir dans la complexité*, Ed. Liaisons, Rueil-Malmaison, 269 p, (2002).
- [15] D. Provitolo, *Risque urbain, catastrophes et villes méditerranéennes*, Thèse de doctorat en géographie, Université Nice-Sophia Antipolis, 365 p, (2002).
- [16] A. Dauphiné, D. Provitolo, « Les catastrophes et la théorie des systèmes auto organisés critiques », in : *Les risques /* sous la direction de V. Moriniaux, Ed. du Temps, Nantes, 256 p, (2003).
- [17] J-P. Mathieu, *Dictionnaire de physique*, Paris, Masson, 567 p, (1991).
- [18] M. Vis, F. Klijn, K.M. De Bruijn, M. Van Buuren, « Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands », *Intl. J. River basin Mangement*, vol. 1, n° 1, (2003).
- [19] D. Sornette, *Critical Phenomena in Natural Sciences : chaos, fractals, selforganization and disorders*, Berlin, Springer Verlag, 2^{ème} édition, 528 p, (2006).
- [20] J. De Rosnay, *Le macroscope*, Seuil, Paris, 346 p, (1977).
- [21] D. Provitolo, « Modélisation et simulation de catastrophe urbaine : le couplage de l'aléa et de la vulnérabilité », *Actes du colloque SIRNAT, 29-30 janvier 2003, La Prévention des Risques Naturels, Orléans*,
<http://www.brgm.fr/divers/sirnatActesColl.htm>, (2003).
- [22] B. Morel, R. Ramanujam « Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of organizations as Adaptive and Evolving Systems », *Organization Science*, vol 10, n° 3, p. 278-293, (1999).
- [23] S. Cutter, « Les réactions des sociétés aux risques écologiques », *Revue Internationale des Sciences Sociales*, n° 150, Paris, p. 603-615, (1996).

Topologie d'une cité fantôme : une approche catastrophique ou chaotique

Sylviane R. Schwer

IREMP13 et LIPN, UMR 7030 CNRS et Université Paris 13

Résumé

Dans cet article, nous nous proposons dans une première partie de donner un aperçu de la théorie des catastrophes de René Thom, et plus précisément l'application qu'il en donne à la linguistique ainsi qu'une approche généraliste de la théorie du chaos [5]. Dans une seconde partie, nous présentons les premiers éléments d'une analyse du roman *Topologie d'une cité fantôme* d'Alain Robbe-Grillet (1976), l'une des figures de proue du *nouveau roman* en fonction de ces théories. Nous nous concentrerons essentiellement sur l'*Incipit*, en tant que frontière entre le texte et le non-texte.

L'idée première de cette analyse m'a été proposée par Ilias Yocaris, qui pensait que la théorie des catastrophes thomienne pouvait modéliser les discohérences du roman, en restant dans le cadre théorique du nouveau roman défini par Ricardou et Robbe-Grillet lui-même, en particulier lors du Congrès de Cerisy de 1975. Le point d'achoppement fut le déterminisme de la théorie thomienne qui semble incompatible avec la réputation d'indéterminisme fondamental de la création pour le nouveau roman. Il nous a semblé utile alors de revenir sur la notion d'(in)déterminisme dans la description du chaos. Le déterminisme mathématique n'est ni fatalisme ni nécessitarisme lequel se fonde sur le principe de causalité pour organiser l'évolution des systèmes. Le déterminisme signifierait alors prédictibilité alors qu'il existe des systèmes déterministes non prédictibles. Déterminisme et libre-arbitre ne sont pas incompatibles. L'un relève de la science, l'autre de la philosophie. La théorie du chaos nous montre essentiellement le motif suivant : un déterminisme local et un indéterminisme global, avec pour frontière (élément catastrophique !) le temps de Lyapunov. Voilà donc revenu le « moment » dans son rôle de « frontière » .

Or, que m'est-il apparu à la première¹ lecture de *Topologie d'une cité fan-*

1. Ce roman constitue ma première rencontre avec le nouveau roman.

tôme ? C'est une recherche systématique d'abolition de toute causalité par le moyen le plus immédiat, l'abolition de toute temporalité, en tant que structure ordonnée. Ce qui donne une impression d'indescriptible chaos, car les époques historiques différentes sont amenées à coexister simultanément à travers les couches archéologiques du motif central de la cité fantôme et les descriptions des différents états du ou des lieux clos privilégiés que sont chambres, prisons, harems, lupanars, temples et théâtres, lieux certes clos mais également incubateurs. A travers l'exploration du narrateur – ce récit est écrit à la première personne du singulier, un JE qui erre tout autant à travers l'espace délimité d'une cité qu'à travers le temps en fonction des jeux de sa mémoire associative qui l'entraîne d'un locus spatio-temporel à un autre, conduite par des objets, des sons et des traits du regard –, narrateur qui est lui-même simultanément et/ou successivement spectateur, détective, meurtrier², le roman définit un espace à partir duquel tous les points temporels sont également accessibles et pour lequel son propre JE-ICI-MAINTENANT dans l'histoire devient de plus en plus vague au fur et à mesure de la progression dans l'ordre que le texte offre. Car si l'auteur abandonne toute chronologie historique, il préserve néanmoins la chronologie textuelle, ce qu'a abrogé Grégory Chatonsky³.

Ce texte correspond donc à plusieurs égards aux thèmes du colloque : d'une part dans les objets mêmes de la narration : la cité fantôme est la trace d'une ou plusieurs catastrophes (destruction par le feu et/ ou explosion volcanique et/ou explosion dans le centre historique de la ville ?), le thème récurrent est le meurtre et/ou le viol, et d'autre part dans le traitement de la narration, et plus précisément des passages d'une scène narrative à une autre, éléments catastrophiques par excellence, qui assurent à la fois les changements de référentiels spatio-temporels tout en assurant la continuité du récit qui nous intéresse ici.

Dans la première partie, nous présentons donc le jeu des huit marquages catastrophiques que René Thom a défini et que nous pouvons utiliser pour une lecture linguistico-catastrophique de *Topologie d'une Cité Fantôme* d'Alain Robbe-Grillet. Il ne s'agit pas ici d'appliquer la théorie mathématique des catastrophes au texte, mais de jouer avec les métaphores utilisées par René Thom pour définir ses catastrophes élémentaires. Puis nous nous proposons de revenir sur les notions de chaos et de catastrophe afin de nous donner le cadre d'étude initiale du roman qui constitue la seconde partie du présent article. Nous souhaitons que les journées de Rochebrune nous permettent d'approfondir ce travail.

2. Agatha Christie avait exploré les doubles personnalités meurtrier/détective [3] et narrateur-spectateur/meurtrier [4].

3. Il a numérisé le texte phrase par phrase et a lancé les dés pour recréer un texte. Dans la majorité des cas, cela restitue un « nouveau roman » .

1 Chaos et catastrophes

1.1 La Théorie des Catastrophes

Cette théorie, développée par René Thom [12] est un modèle mathématique dont le but est d'expliquer les changements et discontinuités au sein de systèmes continus. Cette théorie, bien qu'ayant été développée en parallèle, fait actuellement partie intégrante de la Théorie du chaos. Cette théorie a été employée pour tenter de comprendre et prévoir le comportement des systèmes complexes comme le marché des changes, la bourse, les invasions de sauterelles, les changements biologiques, le comportement des ponts. Mais les tentatives d'appliquer la théorie des Catastrophes aux systèmes comportant un grand nombre de variables (plus de cinq) sont problématiques.

Le principe de la théorie des Catastrophes est le suivant :

Un système possède deux sortes d'états, les états stables – ceux qu'il peut conserver au repos – et les autres, les états instables, ceux qu'il « traverse » dans les moments de tension – ou de changement. Il y a aussi deux sortes de changements : (i) Les changements doux, continus qu'on peut modéliser de façon incrémentale ; (ii) Les changements brusques provoquant une modification radicale de l'existant vers un nouvel état de stabilité. Ce sont les *changements catastrophiques*. Les changements catastrophiques sont inévitablement la cause d'une période chaotique, avant que le nouvel état de stabilité soit trouvé. Si un système est « au repos » (sans changement), alors il tendra à occuper un état stable préféré. Si un système est soumis à des forces de changements, alors celui-ci essaiera dans un premier temps d'absorber les contraintes dans ses états instables pour retrouver son état stable privilégié. S'il y échoue, un changement « catastrophique » peut se produire à l'issue duquel un nouvel état stable sera acquis, sans possibilité de revenir « spontanément » à l'ancien.

L'exemple classique suivant illustre le principe. Imaginons une bouteille incassable placée debout sur un bureau. Elle est dans un état stable. Poussons le col de la bouteille très lentement avec le doigt. La bouteille, par l'intermédiaire de son col, subit une force de changement qu'elle absorbe continuellement. Jusqu'à un certain point de pression, c'est-à-dire à l'intérieur d'un ensemble « continu » – ou plus précisément « contigu » d'états instables intermédiaires – la bouteille est capable de revenir « seule » à son état stable antérieur. En continuant à pousser le col dans la même direction, à une certaine position – correspondant à un certain état instable – elle tombera. Elle est maintenant dans une nouvelle condition stable d'équilibre. Un changement « catastrophique » s'est produit. Les lois restent déterministes mais pas les systèmes.

René Thom distingue sept catastrophes élémentaires (c'est-à-dire dans un espace à une seule variable d'état) : le pli, la fronce, la queue d'aronde, le papillon, l'ombilic hyperbolique, l'ombilic elliptique, et l'ombilic parabolique qu'il utilise [12, p.332–333] pour l'analyse des substantifs (objets spatialisés) et des verbes (procès temporisés selon deux catégories complémentaires : ayant un sens constructif pour les uns et un sens destructif pour les autres) :

Le pli correspondrait à la notion spatiale de bordure, de limite, et à la notion temporelle d'inchoatif ou de terminatif, c'est-à-dire une notion aspectuelle de phase initiale ou finale, ce que nous nous hasardons à généraliser en transition. Il est associé aux courbes à un paramètre⁴ a : $V = x^3 + ax$.

La fronce correspondrait à la notion spatiale de faille géologique, et dans le temps à la notion dynamique de changement/devenir/génération, de rupture (casser, rompre) ou d'unification (lier, unir). Elle est associée aux courbes à deux paramètres a et b : $V = x^4 + ax^2 + bx$.

La queue d'aronde correspondrait à la notion spatiale de fente ou de coin et aux procès de séparation disjointe (déchirer, fendre, repousser) ou de raccomodage (coudre, traverser). Elle est associée aux courbes à trois paramètres a , b et c : $V = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx$.

Le papillon correspondrait à la notion spatiale de poche, de couverture (« d'écaille ») et aux procès d'épluchage (s'écailler, s'exfolier) de transfert (remplir, vider, donner, prendre, recevoir). Il est associé aux courbes à quatre paramètres a , b , c et d : $V = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$.

L'ombilic hyperbolique correspondrait spatialement soit au sommet de la vague (« crêt ») soit à la voûte et dynamiquement aux notions de se briser, de s'effondrer ou de recouvrir. Il est associé aux courbes à trois paramètres a , b et c : $V = x^3 + y^3 + axy - bx - cy$.

L'ombilic elliptique correspondrait spatialement à la notion d'aiguille, de pique, de poil et aux procès correspondant de piquer, pénétrer, boucher (un trou), anéantir. Il est associé aux courbes à trois paramètres a , b et c : $V = x^3 - 3xy^2 + a(x^2 + y^2) - bx - cy$.

L'ombilic parabolique correspondrait spatialement aux notions de jet (d'eau), de champignon, de bouche et aux procès de briser (un jet), éjecter, de lancer, de percer, couper, pincer, prendre ou lier, ouvrir ou fermer (la bouche). Il est associé aux courbes à trois paramètres a , b et c : $V = x^2y + y^4 + ax^2 + by^2 - bx - cy$.

Les phrases exprimant un état sont quant à elles associées au « plat », c'est-à-dire à l'être dans sa matière et sa durée. Il correspond à la courbe d'équation

4. Les fonctions de base ou attracteurs sont celles sans paramètres.

$V = x^2$ possédant un unique état stable attracteur à tous les niveaux de la courbe, c'est-à-dire à une absence de catastrophe.

1.2 Le chaos

Pour les Grecs, le chaos était l'abîme, « un espace d'errance indéfinie, de chute ininterrompue ». Le chaos est dans la plupart des mythologies l'état du monde avant l'intervention d'une puissance organisatrice, qui ordonne et stabilise ; C'est donc un magma inorganisé et en perpétuel mouvement, la Chora Platonique. C'est le sens familier qu'il a gardé de nos jours, à savoir le désordre, la violence, l'inintelligibilité, l'impossibilité de trouver des indices qui permettraient de s'orienter, de comprendre. Le chaos est donc un état macroscopique stable, comme ensemble d'états instables inorganisables. La catastrophe est une transition, le passage entre deux états stables. En ce sens, l'intervention organisatrice est elle-même une catastrophe. Scientifiquement, le mot chaos apparaît en 1975 [6] et a été rapidement adopté tant par la communauté scientifique que par les médias. Cette théorie remet en cause la conception déterministe de l'univers, mis en place par Newton et formulée si brillamment par Laplace (1795) :

Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de ce qui va suivre. Une intelligence qui pour l'instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'Astronomie, une faible esquisse de cette intelligence.

Dans ce contexte déterministe, la bonne solution est la plus simple selon l'adage *simplex sigillum veri*⁵. Toute complexité n'est qu'illusion, que simple apparence, les lois de la nature sont simples. James Clerk Maxwell (1876) remet en question ce principe déterministe « Les mêmes causes produisent les mêmes effets » en faisant remarquer que chaque événement est unique, qu'il ne se produit qu'une seule fois en un temps et un espace déterminés. Une identité absolue des causes en des temps et/ou des lieux différents est impossible. Il y aura toujours un détail, aussi infime soit-il, qui rompra l'identité. Il faut alors substituer au principe déterministe celui-ci : « Les causes semblables produisent des effets

5. Le simple est le sceau du vrai.

semblables ». Mais est-il toujours valide ? Une réponse est donnée par le baron d'Holbach :

Enfin, si tout est lié dans la nature, si tous les mouvements y naissent les uns des autres quoique leurs communications secrètes échappent souvent à notre vue, nous devons être assurés qu'il n'est point de cause si petite ou si éloignée qui ne produise quelque fois les effets les plus grands et les plus immédiats sur nous-mêmes. C'est peut-être dans les plaines arides de la Lybie que s'amassent les premiers éléments d'un orage qui, portés par les vents, viendra vers nous, appesantira notre atmosphère, influera sur le tempérament et les passions d'un homme que ces circonstances mettent à la portée d'influer sur beaucoup d'autres, et qui décidera, d'après ses volontés, du sort de plusieurs nations.

C'est ce qui est connu de nos jours sous le nom d'effet papillon proposé par le météorologiste Edward Lorenz au début des années 1960 : un furtif battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut fort bien être la cause d'une tornade au Texas. Henri Poincaré (1854-1912) attribue au hasard la disproportion entre petites causes et grands effets : une minuscule erreur sur l'état initial, une faible perturbation se propage et peut avoir des effets catastrophiques. Cette propriété de très grande sensibilité aux conditions initiales, ou instabilité est une des définitions du « chaos ». Henri Poincaré rompt avec la pratique d'étudier un mouvement particulier, liée à des conditions initiales déterminées. Il étudie l'ensemble des mouvements possibles. Henri Poincaré montre, en reprenant le problème des trois corps célestes, que harmonie et simplicité ne sont qu'illusions, que simples apparences, plus précisément qu'elles ne sont vraies qu'approximativement, pendant des durées suffisamment courtes. Sur une durée assez longue, tout n'est que complexité. On peut alors définir deux types de mouvements : (i) les mouvements stables, qui à des conditions initiales proches associent des trajectoires proches ; (ii) les mouvements instables, qui à des conditions initiales proches associent des trajectoires qui s'écartent de plus en plus rapidement (selon une loi exponentielle) l'une de l'autre. On définit une durée, appelée temps de Lyapunov, qui détermine le seuil de « proximité », c'est-à-dire de stabilité des mouvements. A plus long terme, pour reprendre les propres termes de Maxwell dès 1876 : « Il est manifeste que l'existence de conditions instables rend impossible la prévision des événements futurs, si notre connaissance de l'état présent est approximative et non exacte ». Or c'est précisément le cas de toute connaissance physique car toute mesure physique est imprécise, et les progrès techniques réduisent l'imprécision sans jamais l'annuler. Nous pouvons pourtant moduler cette conclusion grâce à l'existence du temps de Lyapunov : l'instabilité n'annule pas la possibilité de toute prévision, elle ne fait que la limiter dans le

temps.

Ainsi, le domaine scientifique du chaos est en opposition flagrante avec ce que ce mot évoque. En effet, comme le souligne François Lurçat [9], bien loin d'exprimer la terreur devant l'abîme, les travaux scientifiques du domaine du chaos permettent de faire « entrer dans le domaine de l'intelligible et du rationnel des phénomènes qui en étaient naguère exclus. Ils affinent notre conception du déterminisme en introduisant la notion de prévisibilité », en réduisant l'infini temporel à la localité.

2 Etude du roman

Le thème central de *Topologie d'une cité fantôme* est celui de la la vierge violée, scénario d'une série de meurtres (ou meurtres en série) à des époques variées du meurtre de la vierge antique au mannequin désarticulé. Sur le récit entier plane l'ombilic elliptique que René Thom associe spatialement à la notion d'aiguille, de pique, de poil et aux procès correspondant de piquer, pénétrer, boucher (un trou), anéantir. L'objet schème est un « objet allongé » avec comme référent un « couteau à large lame » (Incipit, § 8), arme de mort, mais aussi de viol, en un mot de destruction du vivant par un autre vivant, avec comme réplique des objets plus ou moins phalliques (une règle d'ébène, une verge, un sceptre, etc.). Rappelons que géométriquement, l'ellipse est la seule conique⁶ fermée. Elle peut se réduire par contraction à un point limite. C'est aussi la projection dans le plan de l'ellipsoïde, courbe qui progresse dans sa troisième dimension, mais qui revient régulièrement aux mêmes points dans le plan des deux autres dimensions. Si le temps est la dimension de progression, et si l'on oublie l'aspect quantitatif pour n'affecter aux points du plan de l'ellipse que des événements récurrents et non des durées, nous avons une image assez juste de la récurrence plus ou moins régulière de certains événements qui rythment la vie, comme l'alternance des jours et des nuits, des saisons, ... L'ellipse représente, à une déformation topologique près, la seule conique qui permette une représentation circulaire du temps, ce qui permet de voir, selon l'orientation du JE, tantôt le

6. On appelle conique, d'après les définitions d'Apollonius de Pergame (-262, -180 AJ. C.), les courbes planes obtenues dans l'espace tridimensionnel (notre espace) par l'intersection d'un plan avec un double cône se touchant par leur sommet : Il y a trois sortes de coniques : la parabole (de para : à côté et ballein : lancer, jeter) qui représente la trajectoire d'un projectile lancé et retombant à terre. L'hyperbole (de hyper : au-delà et ballein : lancer, jeter donc au-delà de toute limite, et qui signifie aussi excéder, dépasser) qui apparaît comme antinomique à l'ellipse. L'ellipse (déficient, défectueux) car elle possède ce que depuis Képler on appelle une excentricité inférieure à 1, alors que celle de l'hyperbole est supérieure à 1 (celle de la parabole vaut 1).

passé, tantôt l'avenir d'un même événement, pour peu que l'on accepte encore ces termes dans cette configuration. A la limite, il n'y a plus aucune différence entre ces points, qui deviennent tous équivalents. Il n'y a alors plus ni passé ni avenir, mais un unique présent qui se réinvente *ad libitum*, en maintenant dans le même plan instant passé et instant à-venir et ce qui permet de la même façon les renversements chronologiques, comme exprimés dans la superbe proposition qui clôt l'Incipit : « je nomme les ruines d'une future divinité ». Proposition qui englobe à la fois le déterminisme de l'*à-venir* de la divinité et l'indéterminisme de ce qui, outre le temps, l'a conduite ou la conduira à sa ruine.

2.1 Du titre « Topologie d'une cité fantôme »

Topologie est un terme employé d'une part en topographie, c'est l'étude des formes du terrain et des lois qui les régissent, c'est-à-dire la connaissance des lieux, et d'autre part en mathématique, comme extension de l'analysis situs, et est une branche de la géométrie qui s'occupe des propriétés qualitatives des figures. Elle ne fait intervenir que les relations de position, laissant de côté les notions de grandeur ou de mesure. La notion de continuité y est fondamentale. Dans le roman, l'accent est mis sur la description minutieuse des lieux, en fonction de l'œil du JE d'une part et de celui de plusieurs personnages, comme la jeune fille au miroir, d'autre part.

La *cité* est au départ une communauté politique indépendante puis par métonymie son territoire. Au cours du temps, le territoire a pris le pas sur la communauté et ses limites se sont rétrécies aux limites d'une ville, voire au cœur ancien de la ville. C'est donc un lieu parfaitement délimité même si ses limites varient dans le temps. Dans ce roman, il ne semble pas que les limites de la cité en ruine, comme représentante des diverses cités-occurrences qui se sont succédées, aient beaucoup varié. Tel n'est assurément pas le sujet. Il s'agit ici de changements d'états comme le passage de la maison de correction en maison d'arrêt, ou comme la décrépitude du magasin de vêtements.

Le terme *fantôme* apparaît comme entrée des dictionnaires [13] uniquement sous la forme d'un nom commun. C'est dans le corps de l'article qu'on trouve la forme adjectivale en apposition d'un nom d'objet qui apparaît et disparaît d'une façon surnaturelle, qui semble gouverner par une force invisible ou par une équipe de défunts comme : « le train fantôme, le vaisseau fantôme ». Dans le sens figuratif, en plus de l'idée générale de création de l'imagination, idée fautive et illusoire, deux définitions ont retenu notre attention (1) celle de membre fantôme (perception illusoire et parfois douloureuse d'un membre amputé ou qui a perdu sa sensibilité ; (2) celle de souvenir persistant, sentiment obsessionnel.

A la lecture du roman, nous pensons qu'il faut assigner à ce terme les deux facettes : celle du mouvement offert par la forme adjectivale, et celle de la persistance obsessionnelle. C'est la formule cinq fois répétée dans l'incipit « Avant de m'endormir, la ville » qui fait de la cité une figure obsessionnelle, l'errance spatio-mnésique du JE narratif la meut d'une force invisible à travers une temporalité éclatée puis recréée.

Apprendre alors que ce récit [10] est un recyclage de textes antérieurs de l'auteur, nous conforte dans cette analyse, à laquelle on peut ajouter la persistance à travers le temps de l'auteur d'objets et de sentiments obsessionnels, associés entre autres au viol et au meurtre. Comme dans tout système chaotique peu complexe, il y a une pseudo-périodisation manifeste qui traverse non seulement le roman, mais semble-t-il l'œuvre globale de l'auteur.

2.2 Le texte du roman

Examinons maintenant l'œuvre dans sa dimension textuelle. Ce roman d'Alain Robbe-Grillet, paru en 1976 aux éditions de Minuit, s'étend sur 198 pages. Il s'organise en cinq parties nommées « espace » et qualifiées chacune selon leur numéro ordinal, précédées d'un chapitre nommé INCIPIT (sur 5 pages) et suivi d'un chapitre nommé CODA (sur 5 pages). Chaque espace (à l'exception du second) est divisé en séquences – titrées et numérotées ordinalement à l'intérieur de l'espace. Les séquences du quatrième espace sont décomposées en parties. En plus des répétitions à l'intérieur du texte, la plupart des espaces correspond à des « recyclages » de textes déjà publiés [10].

1. Le Premier espace (« Construction d'un temps en ruines à la Déesse Vanadé ») est constitué de 7 chapitres titrés (p. 17-74) ; il reproduit le texte du volume homonyme écrit avec Delvaux.
2. Le Second espace (« Répétition à mouvement ascendant pour une demeure immobile ») est constitué d'un seul chapitre sans titre (p. 77-90), il recycle un texte écrit pour une revue : *la demeure immobile de David Hamilton*.
3. Le Troisième espace (« Construction d'un temps en ruines (suite et fin) ») est constitué de 3 chapitres titrés (p. 93-120).
4. Le Quatrième espace (« Rêveries des mineures séquestrées entre fenêtre et miroir ») est constitué des deux séquences titrées (p. 123-145) elles-mêmes sectionnées respectivement en 10 et 12 parties. Ces deux séquences reprennent en prose les poèmes des deux volumes composés avec Hamilton.
5. Le Cinquième espace (« Le criminel déjà sur mes propres traces ») est

constitué de 5 séquences titrées (149-196), La cinquième séquence (« Le criminel déjà sur mes propres traces » reproduit le premier chapitre de *La Belle Captive*.

En représentant cette hiérarchie sous forme d'un mot formel [1], codant les séquences simples par la lettre *s*, les séquences composées par le mot *ss'*, les parties par la lettre *p* et les espaces par le mot *ee'*, nous obtenons le mot (de parenthèses) formel

$$ses^7 e'ese'es^3 e'esp^{10} s'sp^{12} s'e'es^5 e's.$$

Les espaces « Incipit » et « Coda » se présentent donc bien, de par leur position aussi bien linéaire (extrémale) que hiérarchique en dehors des « Espaces » définis par l'auteur, une situation globale cadrative, jonction entre ce qui n'est pas encore le texte du roman et le corps du roman. Ce sont deux plis thomiens.

2.3 L'incipit

L'incipit⁷ est le lieu romanesque sur lequel s'édifie tout le roman, c'est là où la narration commence à émerger dans l'univers fictionnel. C'est le lieu de « mise en condition du lecteur », son passage du monde phénoménologique à l'univers fictionnel. En tant que seuil, limite, il convient déjà à l'objet de ce colloque. Rappelons que la frontière est un objet paradoxal. A son rôle de délimitation correspond une ambivalence fondamentale : elle met en contact plus ou moins lâche ce qu'elle sépare. Circonscrire, scinder et/ou mettre en relation sont les attributs possibles de la frontière. Ce premier seuil est le moment du passage du silence ou néant à la parole ou existence. Mais ce seuil est celui de l'entrée, et tout début tend vers une fin. En effet, que l'œuvre soit ou non achevée, son texte se termine. Dans le cas de TCF, l'œuvre s'achève par un seuil tout aussi marqué, puisqu'intitulé « coda », qui rend le lecteur à son univers phénoménologique. Ces deux limites, frontières entre le non-texte et le texte, marquent une étendue spatialement limitée : « l'œuvre d'art, par la limite qu'elle trace entre elle et ce qui n'est pas elle, modélise un monde en reproduisant l'infini dans la finitude d'un espace délimité » [8]. Nous avons vu [11] que le procédé littéraire de mise en abyme permettait de faire entrer l'infini dans le fini. Une autre façon

7. Ce terme désigne généralement la première phrase d'un texte, car les écrits latins commençaient par « incipit liber ... », ou « in nomine domini incipit liber ... ». Dans un même esprit, il conviendrait d'étudier la clausule, chapitre dénommé « Coda » ce que nous n'avons pas encore fait. Rappelons que si « incipit » signifie les premiers mots d'un manuscrit, « coda » signifie la conclusion d'une œuvre musicale.

est d'utiliser des figures géométriquement closes comme l'ellipse. Voici donc décrit le roman comme un objet marquant deux points catastrophiques dans le monde phénoménologique. Ce point de vue est conforté par l'analyse de [2] : ce « chronotope du seuil » est un « chronotope de la crise », celui inhérent à l'idée même de commencement et de fin. Quant à la délimitation de l'incipit lui-même, en tant qu'objet d'étude textuel, elle est rarement aussi clairement établie, par dénomination du premier chapitre. L'incipit peut maintenant s'étendre à plus d'une phase, voire plusieurs paragraphes. Alain Robbe-Grillet n'a pas délimité lui-même si rigoureusement l'incipit de TCF en vain.

De même, de façon paradoxale, la *coda* se termine par l'ouverture sur un nouvel espace, paysage sans fin, succession rythmique sans fin d'un événement porteur d'aucun sens si ce n'est celui d'un temps construit par un présent renouvelé à perte de vue, et à l'image thomienne de l'ombilic hyperbolique.

2.4 A l'intérieur de l'Incipit

Il est découpé en quatorze paragraphes que j'ai numérotés et reproduits en Annexe. On y trouve tous les ingrédients qui composent le roman. Celui-ci se décline en une succession de variations des mêmes thèmes (destruction, viol, meurtre,...) et objets (couteaux, pierres, personnages, lieux, ...).

Encodons les parties du texte sous forme de mot formel en notant α les séquences contenant *Avant de m'endormir*; β les séquences contenant *Mais il n'y a plus rien*, V les séquences concernant la ville, et F celles concernant le personnage féminin actif (et son double passif). Nous obtenons alors le langage formel (en notant $[V||F]$ le mélange des deux séquences)

$$\alpha\beta\alpha V\beta\alpha F\beta\alpha[V||F]\beta\alpha\gamma$$

Nous constatons que α fonctionne comme une parenthèse ouvrante, β comme une parenthèse fermante, qu'il nous faut alors remplacer par γ en fin d'Incipit, car l'absence de tout y est remplacé par l'inscription sur la *muraille* qui constitue l'un des pans du schème de la cellule ou matrice (chambre, prison, temple, lupanar) du mot CONSTRUCTION, qui, à l'instar de l'inscription hébraïque que le rabbi Loeb écrit sur le Golem, engendre, mais ici par un double retournement de la chronologie historique, la mise en présence du passé et du futur d'un événement (c'est-à-dire de l'occurrence d'un existant). C'est ce que nous avons traduit par γ . Si le rabbi Loeb s'inscrivait dans la temporalité offerte aux hommes par le dieu biblique, c'est au sein d'un temps réduit à sa plus simple expression, l'instant, comme représentant de tous les présents équivalents, issu de sa destruction

de toute causalité, qu'Alain Robbe-Grillet inscrit sa création. C'est ainsi que soir et matin sont équivalents (§7, « c'est le matin, c'est le soir »), équivalence d'autant plus marquée que ce sont deux passages, ou fronces thomiennes, en lumière diffuse ou tamisée qui va de l'obscurité à la clarté et réciproquement, liant et séparant deux contraires. C'est par le Verbe que le dieu biblique crée le monde et sa temporalité, Faust prétendra que c'est en fait l'acte qui le crée⁸ et Robbe-Grillet engendre son roman par l'acte d'écriture, avec le mot qui dépeint toute sa démarche : construction renouvelée de chaque présent, selon la figure thomienne de l'ombilic parabolique, qui ouvre à chaque fois une autre perspective, sur des objets et concepts toujours identiques mais toujours renouvelés comme le signe V, figure géométrique du triangle incomplet⁹, ou expression romaine du nombre cinq¹⁰, ou expression de l'initiale de la déesse Vanadée ou de Venin, ...

En examinant la construction formelle telle que nous l'avons présentée, nous observons également un enrichissement progressif de ce qui s'inscrit dans les parenthèses : d'abord rien, puis la ville, puis la fille, puis les deux, avant de retomber à rien, mais un rien qui engendre. Nous avons donc une chute, une faille qui permet de descendre le plus bas possible pour mieux rebondir. C'est encore un ombilic parabolique.

3 En guise de conclusion

Il nous faudrait encore parler des descriptions visuelles très précises, comme on le voit dans l'Incipit, des passages en queue d'arronde comme §10, dans lequel l'avenue tranquille sépare la chambre du pénitencier alors que le regard de la jeune fille peut les raccorder, et rechercher une catastrophe en papillon, ce qui est réalisé par le brouillard, de plus en plus épais qui couvre toutes les ruptures que l'auteur épiluche. Mais nous avons largement débordé de l'espace imparti, nous devons rompre en donnant une première conclusion.

Il nous est apparu que *Topologie d'une cité fantôme* corresponde à un ombilic

8. Am Anfang war das Wort. Nein am Anfang war die Tat (au commencement était le verbe. Non au commencement était le fait.).

9. Qui possède trois coté, nombre également récurrent dans le roman : les trois actrices, les 300 marches, les 3 000 sièges du théâtre.

10. La présence permanente du nombre cinq, symbole de l'harmonie platonique, comme nous le rappellent les cinq solides ou polyèdres réguliers de Platon : tétraèdre (4 faces), cube (6 faces), octaèdre (8 faces) dodécaèdre (12 faces), icosaèdre (20 faces) est un des thèmes récurrents du roman, à commencer par les cinq espaces, les cinq occurrences de α , les cinq paragraphes du règlement, les cinq lieux possibles des meurtres, les cinq barres des fenêtres de prison, les cinq colonnes du temple, les cinq touristes, ... avec toujours l'un en décalage par rapport aux quatre autres.

thomien, globalement elliptique et localement parabolique mais pour finir par un ombilic hyperbolique, ce qui n'est pas incompatible avec la nature globale elliptique : soit elle témoigne d'une myopie naturelle (le *à perte de vue* étant restreint à la faculté sensorielle restreinte de l'individu) soit le géomètre qui a pensé l'ellipse ne l'a pas bien close, et en a fait un *trou noir*, qui donne une chance, certes infime mais réelle, de s'échapper, ce que tout œuvre artistique est sensée faire.

Références

- [1] Jean-Michel Autebert, *Théorie des langages et des automates*, Paris Masson, 1992.
- [2] Mikhaïl Bakhtine *Esthétique et théorie du roman*, Paris, Gallimard, 1978, 389.
- [3] Agatha Christie, *Hercule Poirot quitte la scène*, 1975.
- [4] Agatha Christie, *Le meurtre de Roger Ackroyd*, 1926.
- [5] James Gleick, *Chaos – Making a New Science*, Penguin Books Ltd, Harmondsworth, Middlesex, 1987.
- [6] T. Y. Li et J. A. Yorke, *Period three implies chaos*, Amer. Math. Month. 82, 1975, 985–992.
- [7] Andréa del Longo. « Pour une poétique de l'incipit » *Poétique* n°94, Paris, Seuil, 1993
- [8] Iouri Lotman, *La structure du texte artistique*. Paris, Gallimard, 1973, 300
- [9] François Lurçat, *le chaos*, Que sais-je ? 2002.
- [10] Maria del Carmen Rodriguez, « Reprise, Paradoxe, Folie, Notes sur la génération du sens dans l'œuvre d'Alain Robbe-Grillet, *Ambiguïté et glissements progressifs du sens chez Alain Robbe-Grillet*, François Migeot (eds), Presses Universitaires Franc-Comptoises, 2004, 93–120.
- [11] Sylviane R. Schwer, *Mise en abyme et théorèmes du point fixe*. Journées de Rochebrune, « Réflexivité et auto-référence dans les systèmes complexes », Megève, France, ENST 2005 S001, 2005, 243–254.
- [12] René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse : Essai d'une théorie générale des modèles*. Seconde édition W. A. BENJAMIN, INC., Massachusetts, 1972.
- [13] Trésor de la langue française, <http://atilf.atilf.fr/tlf.html>

Annexe : texte de l'Incipit

(1) **Avant de m'endormir, la ville, de nouveau**

(2)...

(3) **Mais il n'y a plus rien**, ni cri, ni roulement, ni rumeur lointaine ; ni le moindre contour discernable accusant quelques différences, quelque relief, entre les plans successifs de ce qui formait ici des maisons, des palais, des avenues. La brume qui progresse, plus dense d'heure en heure, a déjà tout noyé dans sa masse vitreuse, tout immobilisé, tout éteint.

(4) **Avant de m'endormir**, tenace encore cependant, **la ville morte** ...

(5) Voici. Je suis seul. Il est tard. Je veille. Dernière sentinelle après la pluie, après le feu, après la guerre, j'écoute encore à travers des épaisseurs sans fin de glace blanche les imperceptibles bruits absents : derniers craquements des murailles brélées, cendre ou poussière s'écoulant en menu filet d'une fissure, de l'eau qui goutte au fond d'une cave à la voûte fêlée, une pierre qui se détache à la façade éventrée d'un immeuble monumental, dégringole en rebondissant d'anfractuosités en corniches, et roule sur le sol parmi les autres pierres.

(6)) **Mais il n'y a plus rien**, ni choc, ni craquement, ni rumeur lointaine, ni le moindre contour encore discernable, avant de m'endormir.

(7) **Avant de m'endormir, la ville encore une fois se dresse**... C'est le matin, c'est le soir. Une jeune fille entièrement dévêtue se peigne dans sa chambre, devant une glace ovale à peine opalescente où ses longs cheveux blonds se reflètent. Derrière elle, au fond de la pièce, dans la pénombre, une autre adolescente est allongée sur le dos, nue, les membres en croix, le corps étalé en travers d'un divan très bas dans le désordre des draps défaits. Toute semblable à la première, elle a les mêmes lignes longues, la même chair lisse, la même bouche, les mêmes grands yeux trop ouverts, et la même chevelure aussi répandue autour du visage au même sourire hors d'atteinte comme oublié là sans raison, témoin perdu de quelque plaisir d'avant l'orage.

(8)) **Mais il n'y a plus rien**, ni cris, ni froissements, ni plainte lointaine, ni mots d'amour. L'arme de mort, le couteau à large lame étincelante et froide a séché jusqu'aux pleurs, dans la chambre abandonnée où maintenant déjà le sommeil sans rêves d'après la destruction. Je suis là. J'étais là. Je me souviens.

(9) **Avant de m'endormir, la ville encore une fois, dresse devant mon visage pâli**, aux traits marqués par l'âge et la fatigue, dresse très haut devant moi, très loin derrière moi, de tous les côtés à perte de vue, des pans de murs noircis, des statues mutilées, des ferrailles tordues, des colonnades en ruine dont les fûts géants brisés gisent au milieu des décombres. Je suis seul. Je marche au hasard devant moi. J'erre au hasard, entre les fragments méconnaissables de ce qui fut

résidences princières, édifices publics, hôtels, maisons de jeux ou de prostitution, théâtres, temples et fontaines. Je cherche quelque chose. Il commence à faire nuit. Je ne me rappelle pas bien ce que c'était. S'agissait-il vraiment d'une prison? Cela me semble improbable.

(10) Pourtant c'est bien devant ce bâtiment caractéristique aux formes massives, presque intact apparemment, grâce sans doute à l'épaisseur de ses murailles dépourvues d'ouvertures ou peu sans faut, qu'à présent je m'arrête. Sur le trottoir large et désert qui longeait la très haute paroi de maçonnerie à pierres apparentes, il y avait une rangée de vieux arbres, des marronniers je crois. La fenêtre de la chambre donnait sur cette avenue tranquille, juste en face du pénitencier. Pour l'apercevoir, la longue fille toute nue qui se peigne avec des gestes lents n'aurait qu'à faire un pas vers sa gauche, en direction de la croisée à petits carreaux, entrouverte à cause de la chaleur.

(11) Mais elle se contente de déplacer les yeux à la surface trouble du miroir et elle fixe à nouveau derrière elle, sous son regard bleu réfléchi, le lit défait où repose le corps offert, éventré, la flaque de sang qui déjà se fige sur le drap blanc, et aussi, plus bas, sur le sol de marbre au damier ancien blanc et noir.

(12) Dehors par les vitres poussiéreuses, ou par l'interstice entre les deux battants disjoints, de l'autre côté de l'avenue, on devrait voir le feuillage dense des marronniers immobiles se distinguer par place entre leurs frondaisons la paroi verticale de la maison de correction pour les prostituées mineures. **Mais il n'y a plus rien**, dans la lumière éblouissante, ni prisons ni temples, ni lupanars, plus rien que la brume irisée où passent interminablement des troupeaux de moutons.

(13) **Avant de m'endormir, la ville, encore une fois dresse devant mes yeux fermés** ses parois calcinées aux fenêtres aveugles, embrasures béantes qui ne donnent rien : ciel gris, platitude, chambres absentes vidées même de leurs fantômes. Le crépuscule s'épaissit. Je m'approche en tatonnant et je pose la main sur la muraille refroidie où, gravant dans le schiste avec la pointe du couteau à large lame, j'écris maintenant le mot CONSTRUCTION, peinture en trompe-l'œil, construction imaginaire, par laquelle je nomme les ruines d'une future divinité.



26 avril 1986. Réacteur 4

1870 : une catastrophe, une aubaine pour l'université française et les scientifiques français

Sylviane R. Schwer^(1,2) et Jean-Paul Cardinal⁽¹⁾

REMP13 et LIPN, UMR 7030 CNRS et Université Paris 13

([mailto: sylviane.schwer@lipn.univ-paris13.fr](mailto:sylviane.schwer@lipn.univ-paris13.fr))

Résumé

Dans tous les domaines, on peut trouver des exemples de catastrophes qui ont permis à des groupes de se développer. Citons par exemple la catastrophe écologique qui a conduit à la disparition des dinosaures, ce qui a permis le développement des mammifères. Dans un contexte plus restreint, nous rappelons ici comment la guerre de 1870 a constitué une véritable catastrophe pour la France puis une des causes principales des deux catastrophes des deux guerres mondiales puis nous montrons comment l'université française, notamment scientifique, en a tiré profit pour se développer.

1 La Théorie des Catastrophes

Cette théorie, développée par René Thom [7] est un modèle mathématique dont le but est d'expliquer les changements et discontinuités au sein de systèmes continus.

Cette théorie, bien qu'ayant été développée de façon indépendante, fait actuellement partie intégrante de la Théorie du chaos. La méthode a été employée pour comprendre et prévoir le comportement des systèmes complexes comme le marché des changes, la bourse, les Invasions de sauterelles, les changements biologiques, le comportement des ponts. Mais les tentatives d'appliquer la théorie des Catastrophes aux systèmes comportant un grand nombre de variables (plus de cinq) sont problématiques. Le principe de la théorie des Catastrophes est le suivant :

Un système possède deux sortes d'états, les états stables – ceux qu'ils peut

conserver au repos – et les autres, les états instables, ceux qu’ils « traversent » dans les moments de tension – ou de changement. Il y a aussi deux sortes de changements : (i) Les changements doux, continus qu’on peut modéliser de façon incrémentale ; (ii) Les changements brusques provoquant une modification radicale de l’existant vers un nouvel état de stabilité. Ce sont les changements catastrophiques. Les changements catastrophiques sont inévitablement la cause d’une période chaotique, avant que le nouvel état de stabilité soit trouvé.

Si un système est « au repos » (sans changement), alors il tendra à occuper un état stable préféré. Si un Système est soumis à des forces de changements, alors celui-ci essayera dans un premier temps d’absorber les contraintes dans ses états instables pour retrouver son état stable privilégié. S’il y échoue, un changement « catastrophique » peut se produire à l’issue duquel un nouvel état stable sera acquis, sans possibilité de revenir « spontanément » à l’ancien.

L’exemple classique suivant illustre le principe. Imaginons une bouteille incassable placée debout sur un bureau. Elle est dans un état stable. Poussons le col de la bouteille très lentement avec le doigt. La bouteille, par l’intermédiaire de son col, subit une force de changement qu’elle absorbe continûment. Jusqu’à un certain point de pression, c’est-à-dire à l’intérieur d’un ensemble « continu » – ou plus précisément « contigu » d’états instables intermédiaires – la bouteille est capable de revenir « seule » à son état stable antérieur. En continuant à pousser le col dans la même direction, à une certaine position – correspondant à un certain état instable – elle tombera. Elle est maintenant dans une nouvelle condition stable d’équilibre. Un changement « catastrophique » s’est produit. Les lois restent déterministes mais pas les systèmes.

2 La guerre de 1870

Après ce bref aperçu sur la théorie des catastrophes illustrée par l’exemple classique de la bouteille, nous montrons ici comment la guerre de 1870 peut être considéré comme le changement catastrophique et Bismarck l’expérimentateur d’une situation similaire à cette expérience. En effet, la guerre de 1870 a été voulue par Bismarck pour achever de construire l’Empire allemand en profitant de l’exaltation du sentiment germanique et de la défaite de la France.

2.1 l'Etat de l'Europe à la fin des années 1860

2.1.1 Le droit international

Le droit international en vigueur repose sur trois grands principes : (i) celui de légitimité (ii) celui des nationalités (iii) celui de l'équilibre européen.

Les deux premiers principes sont incompatibles entre eux. Le premier stipule que le souverain est propriétaire de son royaume alors que le second repose sur la nouvelle notion de *nation*. Le second principe va se substituer au premier. Enfin, le principe de l'équilibre européen suppose qu'en Europe, aucune puissance ne doit pouvoir dominer les autres. Ce principe nécessite l'entente de tous les états pour maintenir l'ordre en Europe et justifie les coalitions contre Napoléon Premier, puis le tsar Nicolas Premier.

2.1.2 Les théories des nationalités et les prétentions prussiennes

La notion de nation possède deux interprétations différentes, la doctrine française d'une part, issue des idées des lumières, qui reconnaît aux peuples le droit de disposer d'eux-mêmes et la doctrine allemande d'autre part, qui affirme que font partie de la même nation, et cela indépendamment de leurs désirs, les peuples partageant la même langue, les mêmes coutumes et les mêmes mythes.

Le principe des nationalités selon l'esprit des lumières

Toute nation [6, p. 19] librement constituée forme un organisme souverain, intangible, quelque soit sa faiblesse, ne pouvant être placé sous une domination étrangère sans son assentiment ou y être maintenu contre sa volonté. Elle n'admet pas la conquête comme un titre légitime d'acquisition. Seule la volonté des populations a le pouvoir de créer, de transformer, diminuer ou accroître légitimement les royaumes.

Il n'y donc pas de frontières naturelles, les véritables frontières sont celles qu'établit la volonté des populations. Ce principe substitue à la fatalité géographique et historique la liberté des personnes, il substitue à la notion de *race* celle de *patrie*.

Les événements de 1866 : la constitution de l'empire germanique

La Prusse s'est annexé les Duchés danois, Holstein, Nassau, Francfort, la Hesse-Cassel le Hanovre bien que la volonté formelle des populations fût de conserver leur autonomie, « en vertu du simple droit de conquête » comme

l'a dit Bismarck, parce que ces peuples parlaient des langues germaniques, avaient même culture et même folklore.

Si une cause doit être recherchée à la guerre de 1870, la plupart des spécialistes actuels s'accordent à celle-la : Napoléon III, sous prétexte de défendre le principe des nationalités comme il a été énoncé précédemment, a donné à la Prusse son assentiment formel, a refusé d'aider la Russie à provoquer la réunion d'un congrès, et a sollicité comme récompense, la rive gauche du Rhin, la Belgique et le Luxembourg. La Prusse accepta l'assentiment, refusa la récompense et constitua l'unité militaire de l'Allemagne autour de la Prusse. Pour ce faire, il fallait éliminer l'Autriche non seulement du Zollverein (frontière économique, douanière) mais aussi de la Confédération germanique. Ce qui fut fait après la bataille de Sadowa. L'Autriche réclama alors la médiation de la France, qui empêche l'annexion des états du sud (Bavière, Wurtemberg, Bade et Hesse-Darmstadt forment quatre états indépendants) et fait du Mein la nouvelle frontière. Mais la France sortit politiquement très affaiblie de cet épisode, alors que la Prusse s'en trouvait grandie, politiquement et militairement.

L'état d'esprit de la France

Avant la formation de son ministère (02 /01/1870) Emile Ollivier [6, p. 22] disait¹ à Napoléon III le premier novembre 1869

« Notre politique doit consister à enlever à M. de Bismarck tout prétexte de nous chercher querelle et de rendre belliqueux son roi qui ne l'est pas. Il y a deux tisons de guerre allumés, il faut mettre résolument le pied dessus et les éteindre : c'est, au Nord, la question de Schleswig, au Sud, celle de la ligne du Mein. Quoique très sympathiques aux Danois, nous n'avons pas le droit d'engager notre pays dans un conflit, pour assurer la tranquillité de quelques milliers d'entre eux injustement opprimés. Quant à la ligne du Mein, elle a été franchie depuis longtemps, du moins en ce qui nous intéresse. Les traités d'alliance n'ont-ils pas créé l'unification militaire de l'Allemagne et le renouvellement du Zollverein son unité économique ? L'unité allemande contre nous est finie ; ce qui reste encore à faire , l'union politique, n'importe qu'à la Prusse, à laquelle elle apporterait plus d'embarras que de forces. Quel intérêt avons nous à empêcher les démocrates du Wurtemberg et les ultramontains de Bavière d'aller ennuyer Bismarck dans ses parlements puisque, au jour du combat, l'Allemagne sera tout entière contre nous ? »

1. Nous citons en entier, pour montrer comment le principe de nationalité est bafoué pour raison d'état par ceux-la même qui le clament le plus haut, ...

L'opinion publique est elle-même très pacifiste. La France est donc dans un état politique stable pour la paix.

2.2 Bismarck pour un changement d'état

Bismarck ayant compris que la France ne chercherait ni à reprendre la prépondérance militaire perdue à Sadowa ni ne s'opposerait à la politique d'unification, il résolu de prendre lui-même l'initiative de l'agression en proposant à l'Espagne, qui venait de renverser la reine Isabelle, un roi allemand.

2.2.1 La manipulation

Malgré le refus (26/02/1870) du roi de Prusse, Bismarck organisa la candidature au Cortès du Prince Hohenzollern, dans le plus grand secret. La France se trouverait donc "encerclée" par le camp allemand, ce qui ne pouvait être. Le col de la France était sérieusement penché, mais La France pouvait encore absorber ce changement en déjouant *in extremis* ce plan. Le 13 juillet, dans le constitutionnel on lit « La candidature d'un prince allemand au trône d'Espagne est écartée, et la paix de l'Europe n'en sera pas troublée ... Le prince Léopold de Hohenzollern avait accepté la couronne d'Espagne, La France a déclaré qu'elle s'opposerait à une combinaison politique ou à un arrangement de famille qu'elle jugeait menaçants pour ses intérêts, et la candidature est retirée... Nous n'en demandions pas d'avantage ; c'est avec orgueil que nous accueillons cette solution pacifique, une grande victoire qui ne coûte pas une larme, pas une goutte de sang. »

2.2.2 Le coup fatal

Sans consulter son gouvernement, Napoléon III fait envoyer au roi de Prusse une demande de garantie (12/07/1870) par son ambassadeur que le roi refuse de recevoir par trois fois. Cette demande de garantie était politiquement une faute et son refus pas nécessairement une déclaration de guerre. La demande de garantie n'a été soumise au Roi de Prusse que le 13 juillet à neuf heures et connue de Bismarck au cours de la journée.

Or la résolution belliqueuse de Bismarck qu'il a impérieusement réclamé du roi de Prusse date du 12 juillet au soir, à savoir que le gouvernement prussien informait, par la dépêche de Ems, tous les cabinets de l'Europe qu'il avait refusé de recevoir notre ambassadeur et de continuer à discuter avec lui.

La France était publiquement humiliée, elle ne pouvait pas absorber ce dernier coup. L'opinion publique et l'assemblée appelaient et votaient pour l'affrontement par les armes. La nuit du 15 juillet, l'ordre de mobilisation générale fut lancée. Le 19 juillet, le gouvernement communiquait à Bismarck le fait que la France était en état de guerre. Le 2 septembre, Napoléon III capitulait.

2.3 Les conséquences politiques

En dehors des conséquences immédiates (perte de l'Alsace et de la Lorraine, soulèvement parisien de la Commune, installation de la République en France), nul ne contestera que les deux guerres mondiales sont des conséquences directes de cette guerre. En tant que telles, peut-on dire qu'elles constituent réellement des catastrophes thomiennes pour l'Europe des nations ? Pour la première guerre mondiale, je dirais que non puisqu'on ne sort pas de l'état dans lequel la guerre de 1870 a mis l'Europe². En revanche, la seconde guerre mondiale, avec le paroxysme des sentiments raciaux, constitue une catastrophe thomienne car elle redirige l'Europe vers un nouvel état pacifiste, avec la proposition dès le 19 septembre 1946 de la création des Etats-unis d'Europe par Winston Churchill et la naissance du Conseil de l'Europe en 1949.

3 Le profit pour les sciences françaises de la défaite de 1870

3.1 L'état des lieux de la recherche et de l'éducation fin des années 60

Les rapports contrastent fortement avec ceux de 1810, rédigés à l'occasion d'un bilan demandé par Napoléon Premier, dans lequel se manifestait la satisfaction du corps des savants. Comme le souligne Anne Marie Décaillot dans sa thèse [3], le retard de la science française sur la science allemande en particulier, mais aussi anglo-saxonne, est un thème récurrent à l'aube de la seconde moitié du dix-neuvième siècle : le 6 avril 1847, Jean-Baptiste Dumas, Chimiste et professeur au Collège de France, dans son rapport au Minis-

2. Ce fut bien une catastrophe humaine, rares sont les familles françaises ou allemandes non endeuillées par ce conflit, et une catastrophe sociale, puisque c'est la fin de l'époque *aristocratique* et une rupture intellectuelle : c'est la véritable fin du dix-neuvième siècle.

tère de l'Instruction publique souligne la richesse des universités étrangères comparée à celle de la France et propose une série de réformes de l'enseignement scientifique. Le Verrier, alors directeur de l'Observatoire, se plaint en 1849 des déficiences de l'astronomie française. Ces mises en garde laissent totalement indifférent le second Empire. C'est dans les années 1860 que les choses évoluent : les recherches scientifiques, par le biais des "découvertes", est mise en avant comme élément de la grandeur nationale. Cet argument est utilisé par Pasteur, alors directeur de l'Ecole Normale Supérieure, dans sa lettre au Directeur de l'enseignement supérieur, d'août 1861, reproduite³ par [3]

Quand la science sera-t-elle dignement encouragée dans notre pays? Vous seriez humilié, Monsieur le directeur, si vous parcouriez les laboratoires les plus humbles des universités de l'Allemagne ou de l'Angleterre. Nous servions de modèles il y a vingt ans pour nos voisins. Ils nous ont tellement devancés qu'aujourd'hui ils se rient de notre misère. Et déjà on en voit les fruits. Vous entendrez bientôt parler des plus admirables découvertes sur deux nouveaux métaux alcalins et sur la constitution et la nature des substances qui composent l'atmosphère du soleil. Vous aurez en même temps la douleur d'apprendre que la France est absente de ces admirables résultats et que la science les doit à peu près tout entiers à la petite université d'Heidelberg, MM. Bunsen et Kirchhow. Dans vingt ans nous serons à la remorque de l'Allemagne et de l'Angleterre, si les choses restent ce qu'elles sont. Croyez-moi, Monsieur le Directeur, le mal est profond. J'aurais bien à vous dire sur ce sujet.

En écho, Charles-Adolphe Wurtz, professeur de chimie organique à la Faculté de Médecine, écrit dans la conclusion de son rapport de 1864 sur l'état des laboratoires de chimie à l'étranger au ministre Victor Duruy

Il s'agit là d'un intérêt de premier ordre, de l'avenir de la chimie en France. Cette science est française et à Dieu ne plaise que notre pays s'y laisse devancer. Et le danger existe, car on peut affirmer que le mouvement scientifique, tel qu'il se manifeste par le nombre des découvertes et des publications utiles, s'est prononcé davantage, dans ces dernières années, en Allemagne qu'en France. L'impulsion est partie de notre pays ; mais elle s'est propagée avec une grande puissance au delà de nos frontières.

Après une période d'autoritarisme et de censure du Second Empire, qui imposa des réformes scolaires impopulaires qui, selon le mathématicien Michel Chasles « substitue aux études intellectuelles et théoriques sérieuses des

3. Ainsi que les autres extraits de lettres cités.

études tronquées, formées de lambeaux de théorie ayant pour objet suprême et immédiat des applications pratiques⁴. »

A partir de 1866, paraissent différents Rapports sur *l'état des lettres et des progrès des sciences en France*. Duruy n'attend pas pour prendre les premières décisions, en créant dès 1868, pour pallier une insuffisance de la recherche en France dans tous les domaines, l'Ecole pratique des Hautes études dont le projet date de 1861. Le mathématicien Chasles en est le premier président.

En 1869, le mathématicien Gaston Darboux, suite à une sollicitation du ministère de l'Instruction publique, crée le bulletin des sciences mathématiques, dont le premier numéro paraît en mars 1870. Il s'intitule Bulletin des sciences mathématiques (en gros) et astronomiques (en petit), rédigé par M. G. Darboux, avec la collaboration de MM. Hoüel et Lœwy, sous la direction de la commission des Hautes Etudes. Le président du comité de Rédaction est M. Chasles, directeur de l'école, il se compose de Bertrand, Delaunay, Puiseux et Serret. Ce bulletin porte comme en-tête *bibliothèque de l'Ecole des Hautes Etudes. publiée sous les auspices du ministère de l'Instruction publique*. L'ambition de son bulletin est non pas de publier des mémoires originaux et inédits, mais de rendre compte régulièrement des travaux de toute nature (mais dans les domaines mathématiques ou astronomiques) publiés soit en France, soit à l'étranger. Il comprend trois parties : (i) les comptes-rendus de Livres, (ii) les analyses de mémoires, (iii) les communications courtes et les traductions de Mémoires importants et peu répandus.

Darboux s'adresse ainsi à Hoüel [4, p. 19]

Je vous disais que nous avons besoin de refaire notre enseignement supérieur. Les Allemands nous enfoncent par le nombre, là comme ailleurs. Je crois que si cela continue, les Italiens nous dépasseront avant peu. Aussi tâchons avec notre bulletin de réveiller ce feu sacré et de faire comprendre aux français qu'il y a un tas de choses dans le monde dont ils ne se doutent pas, et que si nous sommes toujours la "Grrrande" nation, on ne s'en aperçoit guère à l'étranger. »

4. Entre 1852 et 1864, la réforme dite de Bifurcation, obligea les lycéens à choisir, à la fin de la classe de quatrième entre une filière littéraire et une filière scientifique. Elle institua des programmes obligatoires que les enseignants devaient suivre à la lettre, exigea obéissance et soumission des enseignants. Duruy, ministre de l'Instruction publique des années soixante, eut la charge de faire le bilan des recherches et des enseignements en France et d'envisager les réformes nécessaires

3.2 L'après-guerre

La guerre franco-allemande de 1870, la chute du Second Empire en septembre 1870 après la défaite de Sedan, mettent fin à ses tentatives de réformes. La défaite de la France devant l'Allemagne relance et amplifie les critiques des savants français : c'est en effet, disent-ils, la science allemande qui a gagné la guerre. Dans un article de mars 1871 publié dans le *Salut public* de Lyon, Pasteur écrit

« Je me propose de démontrer dans cet écrit que si, au moment du péril suprême, la France n'a pas trouvé les hommes supérieurs pour mettre en œuvre ses ressources et le courage de ses enfants, il faut l'attribuer, j'en ai la conviction, à ce que la France s'est désintéressée, depuis un demi-siècle, des grands travaux de la pensée, particulièrement dans les sciences exactes. (. . .) Tandis que l'Allemagne multipliait ses universités, qu'elle établissait entre elles la plus salubre émulation, qu'elle entourait ses maîtres et ses docteurs d'honneur et de considération, qu'elle créait de vastes laboratoires dotés des meilleurs instruments de travail, la France (. . .) ne donnait qu'une intention distraite à ses établissements d'instruction supérieure. »

La formation des sociétés savantes se présente alors comme une œuvre de reconstruction nationale. Dans cet esprit, dès la guerre finie et la Commune de Paris écrasée, les grandes sociétés savantes, comme la SMF (Société Mathématique de France), la Société de Physique, l'AFAS (Association Française pour l'Avancement des Sciences) se forment en 1872. L'École Normale Supérieure se réorganise. Les universités se structurent selon le modèle allemand. Un mouvement pour l'enseignement des sciences s'organise. La société mathématique est orientée à ses débuts vers la promotion des travaux de ses adhérents, ce qui n'est pas le cas de la société de physique qui est plus attentive aux problèmes pédagogiques et comportent un grand nombre d'adhérents enseignants et ingénieurs [4]. Si l'AFAS exprime clairement son militantisme chauvin, ce n'est pas le cas des deux sociétés de mathématiques et de physique. Mais, le fondateur de la Société française de physique, E. Bouty, écrit [1]

« S'ils ont été conduits à se rechercher par l'amour de la Science, un autre sentiment vient encore fortifier leur union : l'amour du pays. Aussi loin que peut s'étendre leur action, ils veulent, pour leur part, contribuer au développement des forces intellectuelles et morales de la France. »

Parmi les nombreux journaux scientifiques fondés à cette époque⁵ citons le Bulletin de la Société mathématiques de France (1872) ; le journal de physique théorique et appliqué (1872) ; les 4 journaux, revues et bulletins de mathématiques spéciales ou élémentaires (entre la fin des années 70 et la fin des années 80) ; les Comptes rendus annuels de l'AFAS (1873). A partir des années 80, apparaissent les premières annales des facultés des Sciences de Province. L'hégémonie de l'école polytechnique dans l'enseignement et la recherche scientifique est remis en cause par la refonte de l'Ecole normale supérieure et le développement des universités.

3.3 Le rôle primordial d'un groupe de scientifiques alsaciens

C'est en revenant d'Angleterre que l'Alsacien Charles-Adolphe Wurtz, alors doyen de la faculté de médecine de Paris, et chimiste réputé, séduit par la structure de la British Association for the Advancement of Science (BAAS), créée en 1831 par le pasteur William Vernon Harcourt pour fédérer les amateurs de science du Royaume-Uni, décide, avec un groupe de *Français d'Alsace*, de fonder une association de même type afin de contribuer au relèvement moral du pays.

Conçue en vue du relèvement de la France, l'AFAS ne pouvait rester à l'écart des questions concernant l'éducation et la formation qui se font jour après le désastre de Sedan – c'est l'instituteur prussien qui a gagné la guerre – et l'aventure communarde⁶ : le redressement national imposait de profondes réformes scolaires. En l'absence d'une section Pédagogie avant 1880, c'est la section Economie politique et statistique de l'AFAS qui prend en charge ce domaine. Les questions pédagogiques représentent le quart des communications présentées dans la section entre 1872 et 1880. Mais d'autres sections, comme par exemple dans la section Mathématiques, Astronomie, Géodésie et Mécanique, plusieurs communications témoignent d'une sensibilité pédagogique. Ce qui fait débat, c'est le dualisme scolaire entre école primaire – celle du peuple, réduite aux notions élémentaires – et l'école secondaire, qui privilégie les « humanités classiques » et donne accès à l'enseignement supérieur.

5. Signalons que la société de chimie de Paris existe depuis 1858, et ne deviendra société de chimie de France que presque cinquante ans plus tard. On y trouve Wurtz, Friedel et bien d'autres

6. Je reprends ici l'analyse de R. d'Enfert dans [5].

La réforme du système éducatif figure à l'ordre du jour des premiers congrès de l'AFAS. Une idée souvent défendue est l'idée d'un système éducatif pyramidal dont l'école primaire formerait le socle, tandis que l'enseignement secondaire puis supérieur en constitueraient le prolongement naturel. Ces idées reposent sur le rapport de Célestin Hippeau de 1870 qui popularise l'instruction publique aux Etats-unis. Celui-ci offre une scolarité gratuite pendant les douze premières années, avec des programmes sans rupture.

En 1872, le groupe Wurtz⁷ fonde l'Ecole alsacienne, une école privée secondaire privée hors de toute obédience cléricale ou politique mais fortement patriotique. L'école veut permettre l'expression de la créativité des élèves en développant leurs capacités intellectuelles propres. De nombreuses réformes de l'Education nationale sont inspirées de ses méthodes.

Le groupe Wurtz fonde aussi à Paris l'Ecole municipale de physique et de chimie industrielles (EMPCI). L'argument le plus souvent avancé pour la création de cette école est l'infériorité de l'industrie française, systématiquement soulignée par les membres du groupe, qui est une des raisons majeures selon eux de la défaite de la France contre la Prusse.

4 Conclusion

Nous avons présenté ici un exemple typique, parmi tant d'autres, d'une catastrophe qui permet à tout une communauté, voire à tout un pays de rebondir. Nous aurions pu aussi traiter de la catastrophe de la *vache folle* et montrer comment la filière bovine en a gagné en traçabilité et en qualité. Notre choix a été motivé d'une part par une certaine analogie que nous ressentons entre cette période et la nôtre en ce qui concerne la recherche et l'enseignement et d'autre part par l'effet puissant de l'humiliation sur le déclenchement des hostilités évoquées⁸. Or l'humiliation est actuellement une notion omniprésente dans les discours sociaux et politiques.

7. On y trouve entre autres : Lauth, Grimaux, Béhal, Hanriot, Clermont, Friedel

8. N'a-t-on pas laissé "monter" Hitler pour ne pas rajouter à l'humiliation subie par les allemands en 1918

Références

- [1] E. Bouty, Notice sur la vie et les travaux de J.-C. d'Almeida, *Journal de physique théorique et appliqué*, t. 19 (1880) p. 430.
- [2] Alfred Cornu, « Histoire de l'Association française », congrès de l'AFAS, Bordeaux 1872, 44–49.
- [3] Anne-Marie Décaillot, *Edouard Lucas (1842–1891) : le parcours original d'un scientifique français dans la deuxième moitié du XIX siècle*. Thèse de l'Université René Descartes-Paris V, Paris, 1999.
- [4] Hélène Gispert. « La société mathématique de France (1870–1914) ». *La France mathématique*. Cahiers d'histoire & de philosophie des sciences. 34 (1991) 13–180.
- [5] Hélène Gispert (dir.) "*Par la science pour la patrie*", *L'Association française pour l'avancement des sciences (1872–1914), un projet politique pour une société savante*, Presses Universitaire de Rennes, 2002.
- [6] Emile Ollivier, *Histoire et philosophie d'une guerre, 1870*, Jerome Martineau, Editeur (1970).
- [7] René Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse : Essai d'une théorie générale des modèles*. Seconde édition W. A. BENJAMIN, INC., Massachussetts (1972).

‘Room for the River’

Climatic changes: how do the Dutch keep their feet dry in the future? By anticipating global warming and by a rupture in their water policy.

Pek van AnDEL
Medical Faculty Groningen
The Netherlands
m.v.van.andel@med.umcg.nl

Après damage, chacun est sage.
(Anonyme)

Dieu créa le monde, mais les Hollandais créèrent la Hollande.
(René Descartes, apocryphe)

‘Holland’, or the ‘Netherlands’ means the ‘hollow’ or ‘low’ land(s) (‘nether’, ‘neder’ = ‘low’), as in French: les ‘Pays-Bas’ or la ‘Hollande’ (‘hol’ = ‘creux’).

For a Dutchman ‘Holland’ consists of the two provinces North- and South-Holland, where Amsterdam and Rotterdam are respectively located. And in Dutch eyes ‘Nederland’, ‘The Netherlands’ or ‘Pays-Bas’ is (are) the whole country, now twelve provinces, in stead of only the two mentioned above.

The Netherlands are a delta of three rivers, the Rhine, the Meuse and the Scheldt (*Escaut*). The Rhine has three branches. Holland is therefore sometimes described as *‘vijfstromenland*, the country of five streams (‘Punjab’ means the same). During the winter the five streams deposit slurry on their banks, their so called ‘winter bed’. This slurry was traditionally an annual natural fertiliser, welcomed by the farmers living from the fields along the river.

From the twelfth century A.D. onwards the construction of dikes and locks started: against inundations from the sea (salt water) and the rivers (sweet water). The first disadvantage (or *‘effet pervers’*, read the superb article ‘Qu’est-ce qu’un effet pervers?’, by D. Bourcier, in this volume!), of the river dikes was of course that the natural annual fertilization of the banks stopped; the second that the bed of the river got higher and higher because of

the extra sedimentation between the dikes; and the third that the soil protected by the dikes settled down by drainage and oxidation. The consequence of the last two disadvantages was that the raising of dikes had to be continued during the last eight centuries. History teaches that dikes have been made higher after an inundation, this is true for river and for sea dikes, because then enough money was made available by the politicians. Dutch citizens living in polders (a polder is land surrounded by a dike) pay a local polder tax to maintain the dikes and the drainage of the polder by respectively wind-, steam- and electric mills.

In Holland there is a saying: 'The higher a dike, the greater the disaster, when it bursts'. (Disaster (dis-aster) means literally: a wrong configuration of stars - it is in origin an astrological notion.) This is true for sea and river dikes. And it visualises the dilemma for the Dutch river dikes: they were made higher during eight centuries, in 'rounds' as we say, which can be defended discretely (step by step), but not globally, in retrospect. The longer river dikes are been made higher, the higher the river (its bed and water level) will get: so the greater and deeper the inundation will be, when this higher dike breaks through. Billions of guilders, and euros, have been spend till now, and will be spend, this way to make The Netherlands less vulnerable against river inundations (but paradoxically also more vulnerable, when it goes wrong!).

In 1992 and 1995 there were two 'almost-inundations' of the Rhine and the Meuse. Thereafter it was again decided to make the dikes higher where and when needed, but for the first time in history, besides that, also a new policy was started, called 'room for the river', which was officially a totally new trend, and a total rupture in the tradition of making a river dike higher after an inundation – a true paradigmatic shift.

'Room for the river' means: making more space for the water between the dikes of the river, by enlarging the distance between the river dikes and/or by lowering the level of the winter bed (the 'forelands'): the lower or wider the winter bed, the lower the flood wave in the river. And two more steps are needed to lower the floodwater everywhere along the flood wave and to obtain 'rivierverlaging' (lowering of the river). (1,2)

The Dutch Ministry of 'Verkeer en Waterstaat' ('Traffic and Water state', 'a state in a state' as we say ironically) is responsible for the overall salt and sweet water policy and wrote: 'Due to anticipated climatic changes the Rhine delta river branches have to accommodate ever higher extreme discharges. Until recently it was standard policy to raise the crest levels of the dikes to maintain the required level of flood protection. This centuries old policy was abandoned in 2000 in favour of 'Room for the River'. In the new policy, river cross sections are widened by situating the dikes further away from the river, or by lowering the river forelands. This will result in lower flood levels. By the year 2015 the river should be able to safely discharge 16.000 cubic meters/second.' (3)

This trend was already anticipated by the brick and roof tile makers, who, during centuries, took their clay from the forelands, and thus lowering these (as a smart advantage beside).

In 1807, during the Napoleonic occupation of the Netherlands (as we call it, *excusez le mot*, we also speak about the ‘German occupation’ in the forties), there was a huge river water inundation in the East of the Netherlands. Some French engineers came, studied the situation and concluded that the Dutch used the same policy against river water inundations as against sea water inundations: They enlarged the dikes when and where necessary, but this made, as an unforeseen, unintended and undesired effect (*‘effet pervers’*), the river artificially high on the long run: ‘rivers on poles’ they were called, and even ‘rivers on stilts’. There and then the Dutch did learn a crucial insight from the French!

On July 9, 1810 Napoleon justified the ‘annexation’ of Holland by regarding it as a deposit of French rivers. (4)

On February 10, 1881 the most famous Dutch author, Multatuli (Eduard Douwes Dekker), even wanted make the building of dikes punishable (5). He referred to the known French engineer Henri de Parville, who argued that river dikes enlarge the volume and the force of a river: *Ne parlons plus de ce système de defense [...] Aussi mauvais au physique qu’au moral.* (6)

The greatest problem regarding inundations is now the started and expected global warming. Floating ice does not make the sea level higher, when it melts, but it does so when that melting ice is laying on land, as in Greenland. An average sea level of thirty centimetre higher is already foreseen and anticipated upon in the Dutch water management of today. In the last century the sea level became fifteen centimetre higher, in this century it is expected to become one meter higher. But the higher the sea will get, the higher the rivers will get also (they are connected), so we still have to make the river dikes higher, for that reason alone!

An other new problem is the vulnerability of Holland for terrorism. It is stupid to write about it, but even more stupid not do so. After 9/11 there has been already an alarm about a planned terrorist multiple attack in Holland by letting explode four tunnels crossing big rivers. The alarm was happily taken serious, but happily it appeared to be false also.

A bomb, in a car or truck, that explodes in a tunnel under a river causes the river water to stream, via the created hole(s), into the tunnel and then into the two polders on both sides of the river (connected by the tunnel).

There is no country in the world as vulnerable for terrorists as Holland, because about two third of The Netherlands is now already below sea level, and in the future even more, up till 80 to 90%! As said he higher the average sea level, the higher also the average level of the water in the rivers. So the sea and river dikes in Holland will get higher and higher in the future and therefore the Netherlands will become more and more vulnerable for terrorists attacks aimed at the inundation of the lower parts of Holland, where the main

infrastructure is, such as the seaport of Rotterdam and the airport Schiphol, and cities like Amsterdam, Rotterdam, The Hague, Utrecht, etc.

I asked the official coordinator against terrorism in the EU, Drs. G. (Gijs) M. de Vries, a former member of the Dutch parliament, now working in Brussels, (I met him on a conference in Leiden on ‘courage’) about the (Dutch) policy on this: “Is there a study planned, going on, or done?” He answered: “No!” But I don’t believe him, of course such a study has been done, as a reliable source has told me. But it is important not to inspire - more then inevitable - terrorists to inundate Holland, now and in the future.

A Dutch dilemma is: fighting against global terrorism - as Dutch soldiers do now, indirectly, in Afghanistan for example - might inspire terrorists to inundate Holland. But not fighting against terrorism might also invite terrorists to do so. The worst case scenario for the Low Countries is *natural*: a combination of a high water levels in the rivers and the sea (‘storm tide’: a combination of high water and a storm, normally a heavy South-East storm, and possibly even more heavy because of global warming) or *cultural* : one or more inundations planned and caused by terrorists from in- and/or outside the country. Or a combination of both, which will be disastrous, but not very probable.

‘God is dead, the new judge is the posterity’ (4) : only the future will teach us what kind of dark destine Holland and the Netherlands might have or will have.

So the Dutch credo will stay: ‘*Luctor et emergo*’ (‘I struggle and emerge!’)

1. Ir. J.W. Boehmer MSc MBA gave an interview in *Trouw*, December 27, 1996 and in *De Ingenieur*, May 3, 2000 on the second and third step in the lowering of the river. Step two is the ‘vloedbossen’ development or ‘selective reforestation’ or ‘riverbed farming’ in the deepened and/or widened riverbed. Step three is the ‘River Basin or European approach’. Both steps are needed to avoid complications as indicated by a second Dutch saying: ‘The faster the flood wave the more greedy the water wolf’.

2. On April 24, 2006 the ‘Quality Platform Engineers’ in the Netherlands (KPI) sent a letter to 80 members of the ‘Tweede Kamer’ (parliament with 150 members) and their ‘fractieiders (leaders of fractions of the ten represented parties). In this letter the KPI-members advised the parliament to reject the ‘PKB Ruimte voor de rivier’(Main Planning Decision Room for the River), unless three things are done: 1) the steps two and three are included in the same PKB: 2) appropriate changes have been made in the River- and dike legislature of the authorities in the River Basins Rhine, Meuse and Scheldt (‘Rivierenwet’ and ‘Wet op de Waterkeringen in The Netherlands) and 3) appropriate adaptations have been made of European political, economical and environmental legislation.

3. http://www.ruimtevoor.de.riveir.nl/index.asp?p_id=420
4. Matthijs van Boxsel, *De encyclopedie van de domheid, Deskundologie, Domheid als Levenskunst*, Querido, Amsterdam, 2006, 280 pp. (The author is *Régent du collège de pataphysique, Chaire de Morosophie*.)
5. Multatuli, *Verzameld Werken, Ideeën*, ‘Idee 1050d’ + ‘Idee 1050e’.
6. *Inondations, Causeries scientifiques, Découvertes et inventions, Progrès de la science et de l’industrie, Journal des Débats, quizième année, Paris, 1876.* (Published separately!)

Merci à Jan Willem Boehmer et à mes deux relecteurs français pour Rochebrune, Sylvie Lardon & Jean-Mathias Heraud. Leur critique pertinent et constructif m’a aidé à améliorer ‘mon’ texte.