

## **9èmes Journées de Rochebrune : Février 2000**

*(Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels)*

### **Représentations graphiques dans les systèmes complexes naturels et artificiels**

*Dimanche 30 janvier - Vendredi 4 février 2000 à Rochebrune (Megève)*

Si « un petit dessin vaut mieux qu'un long discours », il semble cependant préférable que les deux se complètent. Il serait de surcroît regrettable de limiter la notion de « représentation graphique » à celle de « petit dessin ». Le non-dit, l'indicible, peuvent partiellement être dessinés ; mais, à contrario, une représentation graphique repose sur des conventions, admet plusieurs interprétations, peut induire en erreur. Quelle est l'influence de l'esthétique ? Quels sont les invariants culturels ? Qu'est-ce que la « clarté » ?

« La géométrie est l'art de raisonner juste sur des figures fausses » ; peut-on raisonner sans dessiner ? Mais, d'un autre côté, peut-on dessiner un raisonnement ? Y a-t-il des notions rétives à une représentation graphique ? Dans quels cas la représentation graphique guide-t-elle le raisonnement, dans quels cas l'inhibe-t-elle ou l'entraîne-t-elle sur une fausse piste ? La représentation graphique peut-elle être un instrument de démonstration, de preuve ?

Un croquis est-il aussi informant une fois terminé que pendant son élaboration ? L'information (statique) qu'il présente est-elle aussi riche que la communication (dynamique) qui a eu lieu lors du processus ? Comment traitons nous les images ? Comment une machine peut-elle les traiter (extraction de connaissances, reconstruction, identification...) ?

Au delà du simple dessin, il conviendrait de prendre en compte les possibilités de l'hypertexte, des interfaces à base « d'icônes », des représentations tridimensionnelles... sans oublier la danse. Les aspects pédagogiques (EAO), neurophysiologiques (genèse des représentations, répercussions de lésions...), psychiatriques (confusion entre carte et territoire...) devront aussi être abordés.

Avec le soutien de l'ECAL (European Conference on Artificial Life)  
et sous le patronage de l'ARCo (Association pour la Recherche Cognitive).

Comité de programme : Jean-Marc Fouet (président), Bernard Amy,  
Evelyne Andreewsky, Philippe Benhamou, Jacques Blanc-Talon, Paul  
Bourgine, Christian Brassac, Laurent Chaudron, Michèle Courant, Eric  
Dedieu, Wolf-Dieter Eberwein, Nils Ferrand, Alain Grumbach, Clairette  
Karakash, Dominique Luzeaux, Bernard Morand, Jean-Pierre Muller,  
Christophe Parisse, Pierre-Yves Raccah, Francis Rousseaux, Pierre Saurel,  
Martine Timsit-Berthier, Christiane Weber

Comité d'organisation : Christophe Parisse (président), Philippe Benhamou,  
Jean-Louis Dessalles, Jean-Marc Fouet, Thierry Fuhs, Hervé Glotin, Pierre  
Saurel, Christiane Weber

Toutes informations à l'adresse suivante :  
<http://www.idiap.ch/~glotin/rb00.html>

<b><i>Mathieu Amiguet</i></b>	S'il vous plaît, dessine-moi une preuve ou les vertus graphiques de la théorie des catégories	5
<b><i>Madeleine Arnold</i></b>	Le dessin dans l'activité de conception architecturale	23
<b><i>Alain Bonardi, Francis Rousseaux</i></b>	A→B	41
<b><i>Nathalie Cousin-Ritemard</i></b>	Le changement d'échelle en mécanique des fluides.	55
<b><i>Lieutenant Roger Cozien, Ronan Querrec</i></b>	Extraction de connaissances dans des images militaires aériennes par l'utilisation combinée de réseaux de neurones et de systèmes multi-agents	67
<b><i>Catherine Deshayes</i></b>	Entre le visuel et le verbal : l'architecture dite "de papier"	81
<b><i>Franck Favetta</i></b>	Adaptabilité et adaptativité pour une meilleure interface homme-machine dédiée aux SIG	97
<b><i>Clairette Karakash</i></b>	De l'illustration à la schématisation	115
<b><i>S. Lardon, M. Capitaine, M. Benoit</i></b>	Les modèles graphiques pour représenter l'organisation spatiale des activités agricoles	127
<b><i>Florence Le Ber, Christian Brassac</i></b>	Objets graphiques et cognition située et distribuée. Un exemple en acquisition de connaissances	151
<b><i>Nadine Lucas</i></b>	Le changement d'échelle dans l'analyse logique	165
<b><i>Bernard Morand</i></b>	Le diagramme : à la périphérie ou au cœur de la cognition ?	183

<i>J.-P. Sansonnet, S. Gérard</i>	Un modèle de représentation spatio-temporelle distribué pour la situation dans les textes narratifs.	207
<i>Christophe Schmitt</i>	Le paradoxe de la valeur et du désordre en entreprise : vers le développement d'une recherche ingénierique basée sur le visuel	229
<i>Elpida Tzafestas</i>	Quand la complexité se trouve dans la graphique : un outil pédagogique pour la vie artificielle	249
<i>Pek van Andel</i>	Graphics & heuristics	261

# “S’il vous plaît, dessine-moi une preuve”

ou les vertus graphiques de la théorie des catégories

Matthieu Amiguet

Équipe CASCAD

Institut d’informatique de l’Université de Neuchâtel

matthieu.amiguet@info.unine.ch

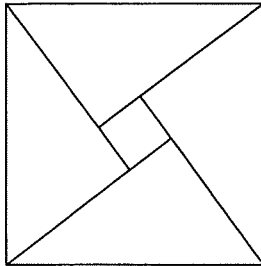
## 1 Introduction

Si trouver la démonstration d’un nouveau résultat constitue toujours une réussite mathématique, la plupart des mathématiciens ne se contentent pas de ce but. Il s’agit généralement, de surcroît, que cette preuve soit concise, claire, facilement compréhensible, bref, en un mot, “élégante”. Outre la satisfaction esthétique qui en résulte, ces caractéristiques munissent généralement le nouveau résultat d’avantages pratiques non négligeable: le résultat est mieux compris, mieux retenu, et donc plus facilement utilisable par la suite. De plus, une preuve “élégante” témoigne d’un arsenal théorique bien adapté, suffisamment puissant pour que le résultat ne “résiste” pas trop.

Au sommet du palmarès de la preuve élégante se situe bien entendu la preuve “par contemplation”: un dessin bien adapté qui, en lui-même, constitue la démonstration désirée. Il est clair cependant que ce “Graal” de la preuve mathématique est en partie irréalisable: le dessin ne sera constitutif d’une preuve que pour une personne suffisamment introduite à la problématique, aux notations utilisées, à la manière de réfléchir, etc. propres à la personne ayant rédigé la preuve.

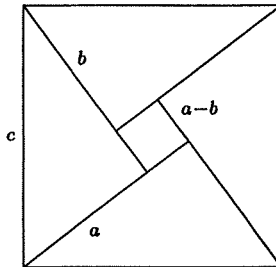
Ainsi, lorsque Bhaskara ([Bha]), au 12<sup>e</sup> siècle, propose pour preu-

ve du théorème de Pythagore le schéma suivant



accompagné du simple mot "Voyez!", il suppose implicitement que le lecteur est assez habile dans la réflexion mathématique: pas tout le monde ne s'écrie spontanément, en voyant ce schéma: "La somme des carrés des cathètes est égale au carré de l'hypoténuse".

Cependant, il est vrai que ce dessin une fois réalisé, la preuve est presque immédiate: en appelant  $a$  et  $b$  les cathètes et  $c$  l'hypoténuse du triangle rectangle, on reporte ces longueurs sur le schéma précédent;



ensuite, on écrit que l'aire du grand carré est égale à la somme des aires des 4 triangles et de celle du petit carré

$$c^2 = 4 \frac{ab}{2} + (a - b)^2,$$

d'où l'on déduit immédiatement le théorème:

$$c^2 = a^2 + b^2.$$

Mais les mathématiques ont bien évolué depuis le 12<sup>e</sup> siècle, et l'avènement il y a une centaine d'années de la méthode axiomatique<sup>1</sup> a relégué ce genre de raisonnement intuitif au rang d'amusement sans prétention. En effet, on a vu apparaître au sein de la communauté mathématique une méfiance toujours plus grande de l'intuition, au profit du raisonnement "objectif" et "sûr" que permet la méthode axiomatique. Celle-ci en effet — basée sur la manipulation de symboles purement formels, et théoriquement dénués de signification — permet de chasser l'arbitraire et le non-dit, pour ne garder dans le champ des mathématiques que des vérités "absolues"<sup>2</sup>.

Nous n'allons pas ici disserter sur les avantages et les inconvénients de la méthode axiomatique. Toujours est-il que celle-ci, en bien ou en mal, a pris possession de toutes les mathématiques; ainsi le raisonnement intuitif — et particulièrement le raisonnement géométrique — se trouve avec un statut, au mieux, d'adjuvant informel du raisonnement mathématique, et au pire, de vestige encombrant des temps de l'obscurantisme pré-axiomatique!

Ainsi, toutes les notions géométriques habituelles ont été "algébrisées" pour pouvoir s'inscrire dans le cadre de l'axiomatisation des mathématiques. Pour illustrer ceci, nous allons rapidement étudier deux notions éminemment géométriques, mais qui sont dotées dans les mathématiques actuelles de formulations algébriques: la convergence et l'orthogonalité.

**La convergence** On exprime qu'une suite de points  $(x_n)$  converge vers un point  $p$  (c'est à dire, *grosso modo*, que  $x_n$  se rapproche de plus en plus de  $p$  quand  $n$  augmente) par la formule suivante:

$$\forall \varepsilon > 0, \exists N > 0 : n > N \Rightarrow |p - x_n| < \varepsilon$$

Dans cette formulation, tout souvenir de formulation géométrique a disparu, donnant ainsi une définition de la convergence d'une précision irréprochable, mais dans laquelle l'intuition peine à trouver sa place!

---

1. Il s'agit bien ici de la méthode axiomatique initiée par Frege, Russel, etc., et non de celle développée par Euclide pour la géométrie!

2. C'est du moins ce qu'on attendait de cette méthode.

**L'orthogonalité** Dans un espace vectoriel muni d'un produit scalaire<sup>3</sup>, deux vecteurs  $x$  et  $y$  sont perpendiculaires si leur produit scalaire est nul:

$$(x | y) = 0.$$

Comme précédemment, toute référence suspecte à un espace géométrique intuitif est remplacée par une référence contrôlée à un "espace préhilbertien", entièrement défini axiomatiquement, et dans lequel les notions géométriques courantes peuvent s'exprimer sous forme d'équations.

Ainsi, les mathématiques actuelles ne sont plus que lettres et équations<sup>4</sup>; on pourrait donc penser que le paradis de la preuve par contemplation est définitivement hors d'atteinte.

Pourtant, il y a une théorie actuelle qui, de ce point de vue-là, sort du lot: la théorie des catégories. Celle-ci en effet, si elle est comme les autres de base algébrique et axiomatique, utilise un langage graphique pour exprimer ses concepts et démonstrations. Ceci est d'autant plus intéressant qu'il a été prouvé que la théorie des catégories peut servir de fondements aux mathématiques ([Law66]). Ainsi donc, en plus d'être partiellement graphique, cette théorie a la possibilité d'exprimer tous les concepts mathématiques existants. Mais voyons donc de plus près en quoi elle consiste.

## 2 La théorie des catégories

La théorie des catégories est une théorie abstraite (très abstraite!), et assez difficile à saisir conceptuellement. Il n'est donc pas possible d'en proposer une exposition complète dans ce texte<sup>5</sup>. Nous en proposerons donc ici une exposition conceptuelle et partiellement informelle; pour plus de détails, référez-vous par exemple à [Ami98], [BW90] ou [Lan71].

---

3. C'est ce que les mathématiciens appellent un "espace préhilbertien".

4. Ceci est (presque) vrai au niveau du formalisme; cependant, ce n'est pas vrai dans le travail de tous les jours du mathématicien qui se sert bien sûr d'images et d'intuitions...

5. D'autant plus que les textes existants sur cette théorie et ses ramifications constituent largement de quoi remplir une très grande bibliothèque!



Mais avant de passer à la présentation théorique proprement dite, il convient de mettre en évidence un aspect fondamental de cette théorie: son côté relationnel.

## 2.1 Une théorie relationnelle

Une des caractéristiques principales de la théorie des catégories est d'être relationnelle. Pour bien comprendre ce que cela veut dire, commençons par une petite parabole.

Vous cherchez le laboratoire de mathématiques dans une ville que vous ne connaissez pas. Après avoir erré un moment, vous demandez votre chemin; malheureusement, la personne à qui vous vous adressez ne sait pas non plus où se trouve le laboratoire. Par contre, elle vous signale qu'un agent de police se trouve au prochain carrefour, et que celui-ci pourra sans doute mieux vous aiguiller. Comme vous ne connaissez pas la ville, vous vous inquiétez de comment le reconnaître. A cette question, deux types de réponse (au moins !) sont possibles:

1. "Il est grand, maigre, avec des lunettes, une grosse moustache et un képi bleu".
2. "Il est au milieu du carrefour, les autos s'arrêtent quand il lève le bras et les gens n'ont pas l'air contents quand il siffle".

Chacune de ces descriptions vous permettra bien sûr de trouver votre agent. Cependant, on remarque une petite différence d'effet entre la première, qui ne fait appel qu'à des caractéristiques personnelles de cet agent de police, et la seconde, qui n'utilise que des caractéristiques qui le mettent en relation avec son environnement.

La première description vous permettra de trouver votre agent même s'il est en pause, assis au bord de la route. Cela peut être utile si vous cherchez à parler à cet agent en particulier, par exemple parce que vous savez que sa fille travaille au laboratoire de mathématiques.

La seconde description pourra vous être d'un grand secours si vous voulez parler à n'importe quel agent, pensant que tous connaissent suffisamment la ville pour vous renseigner. Ainsi, si la relève a eu lieu et que c'est maintenant un petit gros sans képi qui fait la circulation, vous l'identifieriez tout de même comme agent de police.

Après toutes ces errances, vous parvenez enfin au laboratoire de mathématiques où la personne avec qui vous aviez rendez-vous vous annonce qu'elle va vous parler du singleton. Comme vous vous inquiétez de savoir ce que c'est, elle vous propose deux réponses:

1. "C'est un ensemble qui a un seul élément, comme  $\{a\}$ , ou  $\{\text{pomme}\}$ , par exemple".
2. "C'est un ensemble  $S$  tel que pour tout ensemble  $E$  il existe exactement une fonction  $E \rightarrow S$ "<sup>6</sup>.

La première définition, qui ne fait appel qu'à des caractéristiques intrinsèques du singleton, occulte le fait que pour un mathématicien, l'ensemble  $\{a\}$  et l'ensemble  $\{\text{pomme}\}$  sont essentiellement les mêmes. La seconde définition, par contre, en ne faisant appel qu'aux relations d'un singleton avec son "entourage", permet de décrire simultanément tous les ensembles qui partagent les mêmes caractéristiques fonctionnelles.

La seconde définition est typique d'une approche catégorielle. Les définitions relationnelles se concentrent sur les caractéristiques fonctionnelles des objets définis, gagnant en généralité, mais au prix d'une perte d'individualisation de ces objets — et d'une plus grande difficulté conceptuelle!

## 2.2 Un peu de théorie

Puisqu'il est possible de définir certains ensembles uniquement par leurs relations, on peut être tenté de généraliser cette approche et de voir quels sont les objets mathématiques que l'on peut obtenir de cette manière. La réponse est "tous"<sup>7</sup>, et la manière d'y parvenir est la théorie des catégories.

Pour définir ce qu'est une catégorie, nous avons besoin d'une notion préliminaire:

**Définition 1.** Un graphe est composé d'objets et de flèches reliant

---

6. Il s'agit bien sûr de la fonction constante qui envoie tous les éléments de  $E$  sur l'unique élément de  $S$

7. Plus exactement, tous ceux que l'on peut obtenir par l'approche "classique" de la théorie des ensembles.

ces objets, et peut généralement être représenté par un dessin du type de celui de la figure 1<sup>8</sup>.

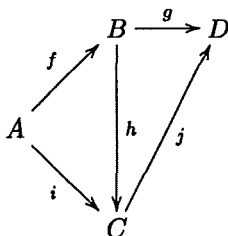


FIG. 1: *Un exemple de graphe*

Dans ce dessin,  $A, B, C$  et  $D$  sont les objets et  $f, g, h, i$  et  $j$  sont les flèches. On définit les fonctions source et but qui font correspondre à chaque flèche l'objet d'où elle part et où elle arrive. Par exemple dans le dessin,  $\text{source}(f) = A$  et  $\text{but}(f) = B$ . On abrège souvent ces deux dernières équations par l'expression  $f : A \rightarrow B$ .

Le dessin ci-dessus est un exemple de graphe. Un autre exemple, impossible à représenter exhaustivement de cette manière, est le graphe dont les objets sont tous les ensembles et les flèches toutes les fonctions entre ces ensembles.

La notion de graphe permet de décrire une structure relationnelle: les points et les flèches n'ont que peu d'importance par rapport à leur agencement. Mais pour pouvoir faire une analyse mathématique intéressante de ces relations, on a besoin de pouvoir opérer dessus et comparer les résultats. C'est pourquoi on pose la définition suivante:

**Définition 2.** Une catégorie est un graphe vérifiant les points suivants:

1. À chaque objet  $A$  correspond une flèche "identité" notée  $\text{id}_A$ , dont la source et le but sont  $A$ .

---

8. Cette représentation peut être compliquée dans le cas d'un grand nombre d'objets ou de flèches; un dessin complet devient bien sûr impossible si ces entités sont en nombre infini

2. À chaque paire de flèches  $(f, g)$  dans la configuration

$$A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C,$$

on peut associer une flèche  $f; g : A \rightarrow C$ , appelée "composition de  $f$  et  $g$ ".

3. La composition définie en 2. est associative, c'est à dire que pour trois flèches  $f, g, h$  "à la suite", on a toujours  $(f; g); h = f; (g; h)$ .
4. la flèche identité  $\text{id}_A$  d'un objet  $A$  est un élément neutre pour la composition, c'est à dire que pour toute flèche  $f : C \rightarrow A$  on a  $f; \text{id}_A = f$  et pour toute flèche  $g : A \rightarrow C$  on a  $\text{id}_A; g = g$ .

Par exemple, le graphe dont les objets sont les ensembles et les flèches les fonctions est une catégorie si l'on prend pour flèche identité d'un objet donné la fonction identité de l'ensemble correspondant, et comme composition la composition habituelle des fonctions. De manière plus générale, on peut définir des catégories dont les objets sont des structures mathématiques d'un certain type (groupes, anneaux, corps, graphes, espaces topologiques, ...) et les flèches les fonctions préservant cette structure (resp. homomorphismes de groupes, d'anneaux, de corps, de graphes, applications continues, ...).

Il est d'ailleurs également possible de définir la notion d'"homomorphisme de catégorie"; une telle transformation qui préserve la structure de catégorie s'appelle un foncteur. Comme précédemment, une définition préalable est nécessaire:

**Définition 3.** Étant donnés deux graphes  $G$  et  $H$ , un homomorphisme de graphe  $F : G \rightarrow H$  est composé d'une paire de fonction  $F_{\text{Obj}}$  qui attribue à chaque objet de  $G$  un objet de  $H$  et  $F_{\text{fl}}$  qui attribue à chaque flèche  $f : A \rightarrow B$  de  $G$  une flèche  $F_{\text{fl}}(f) : F_{\text{Obj}}(A) \rightarrow F_{\text{Obj}}(B)$ .

Une catégorie étant un graphe avec une composition et des flèches identité, on en arrive à la définition très naturelle suivante:

**Définition 4.** Étant données deux catégories  $C$  et  $D$ , un foncteur  $F : C \rightarrow D$  est un homomorphisme de graphes qui envoie chaque

flèche identité  $\text{id}_A$  de  $C$  sur la flèche identité  $\text{id}_{F_{\text{Obj}}(A)}$  de  $D$ , et chaque composition  $f;g$  de  $C$  sur la composition  $F_{\text{fl}}(f);F_{\text{fl}}(g)$ .

### 2.3 L'aspect graphique

L'aspect graphique de la théorie des catégories repose sur la constatation suivante: les seules affirmations (ou presque) qu'il est possible de faire en théorie des catégories portent sur des égalités entre des composition de flèches<sup>9</sup>. Or ceci se représente très bien de manière graphique, en utilisant la notion de diagramme commutatif. Un diagramme est composé d'objets et de flèches tirés d'une catégorie, par exemple:

$$\begin{array}{ccc} A & \xrightarrow{f} & B \\ g \downarrow & & \downarrow h \\ C & \xrightarrow{i} & D \end{array}$$

Affirmer de ce diagramme qu'il est commutatif revient à poser l'équation suivante:

$$f;h = g;i$$

De manière générale, un diagramme est dit commutatif si tous ses chemins entre deux mêmes point sont égaux.

Ainsi, on peut reformuler les définition 3 et 4 ci-dessus de la manière suivante:

**Homomorphisme de graphe** Soient  $C, D$  deux graphes. Une paire de fonctions  $F_{\text{Obj}} : C_{\text{Obj}} \rightarrow D_{\text{Obj}}$  et  $F_{\text{fl}} : C_{\text{fl}} \rightarrow D_{\text{fl}}$  est un homomorphisme de graphe si les deux diagrammes suivants com-

---

9. Au fait, il y a encore en tout cas les assertions portant sur l'existence et l'unicité de certaines flèches; il existe également des notation graphiques pour cela, mais moins universelles

mutent:

$$\begin{array}{ccc}
 C_{\text{fl}} & \xrightarrow{F_{\text{fl}}} & D_{\text{fl}} \\
 \text{source}_C \downarrow & & \downarrow \text{source}_D \\
 C_{\text{obj}} & \xrightarrow{F_{\text{obj}}} & D_{\text{obj}}
 \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{ccc}
 C_{\text{fl}} & \xrightarrow{F_{\text{fl}}} & D_{\text{fl}} \\
 \text{but}_C \downarrow & & \downarrow \text{but}_D \\
 C_{\text{obj}} & \xrightarrow{F_{\text{obj}}} & D_{\text{obj}}
 \end{array} \quad (2)$$

En effet, le premier diagramme exprime que  $F$  respecte la source des flèches, alors que le second exprime la même chose pour leur but.

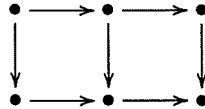
**Foncteur** Un homomorphisme de graphe est un foncteur si les deux diagrammes supplémentaires suivants commutent également:

$$\begin{array}{ccc}
 C_{\text{obj}} & \xrightarrow{F_{\text{obj}}} & D_{\text{obj}} \\
 \text{id}_C \downarrow & & \downarrow \text{id}_D \\
 C_{\text{fl}} & \xrightarrow{F_{\text{fl}}} & D_{\text{fl}}
 \end{array} \quad (3)$$

$$\begin{array}{ccc}
 C_{\text{fl}} \times C_{\text{fl}} & \xrightarrow{F_{\text{fl}} \times F_{\text{fl}}} & D_{\text{fl}} \times D_{\text{fl}} \\
 i_C \downarrow & & \downarrow i_D \\
 C_{\text{fl}} & \xrightarrow{F_{\text{fl}}} & D_{\text{fl}}
 \end{array} \quad (4)$$

Le diagramme 3 exprime donc qu'un foncteur doit préserver les flèches identité, alors que le 4 traduit l'exigence qu'un foncteur doit préserver la composition des flèches.

Il se trouve que cette notion de diagramme commutatif représente un excellent moyen de faire des preuves de type algébrique, mais par des moyens graphiques. Ceci repose sur la constatation simple suivante: un diagramme complexe dont toutes les parties commutent commute dans son ensemble. Par exemple, un diagramme du type



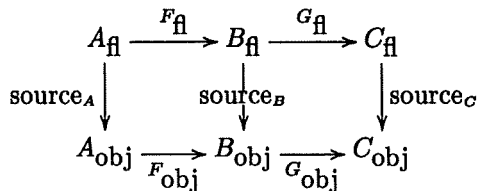
commute si et seulement si les deux carrés qui le forment commutent. Ce type de raisonnement par diagrammes a pris le nom, en pays anglo-saxon, de *diagram chasing*.

Nous allons illustrer la forme que prennent alors les preuves par la démonstration d'un résultat élémentaire:

**Theorème.** *La composition de deux foncteurs est un foncteur. Plus précisément, si  $A, B, C$  sont des catégories et  $F : A \rightarrow B, G : B \rightarrow C$  sont des foncteurs, alors la composition  $F; G : A \rightarrow C$  est un foncteur.*

*Preuve.* Nous avons vu qu'il suffit de vérifier la commutativité de quatre diagrammes. Or chacun de ceux-ci se décompose en deux carrés dont les prémisses nous assurent qu'ils sont commutatifs (car  $F$  et  $G$  sont des foncteurs):

1.  $F; G$  est un homomorphisme de graphes car  $F$  et  $G$  en sont: pour montrer cela, il suffit d'écrire côte à côte le diagramme 1 pour  $F$  et pour  $G$ :



Le carré de gauche affirme que  $F$  respecte la source, celui de droite que  $G$  respecte la source, et le rectangle complet représente cette même affirmation pour  $F; G$ . La déduction de cette

troisième affirmation à partir des deux autres est donc purement graphique.

On peut faire de même pour le diagramme 2:

$$\begin{array}{ccccc}
 A_{fl} & \xrightarrow{F_{fl}} & B_{fl} & \xrightarrow{G_{fl}} & C_{fl} \\
 \text{but}_A \downarrow & & \downarrow \text{but}_B & & \downarrow \text{but}_C \\
 A_{obj} & \xrightarrow{F_{obj}} & B_{obj} & \xrightarrow{G_{obj}} & C_{obj}
 \end{array}$$

2.  $F; G$  est un foncteur car  $F$  et  $G$  en sont: ceci se démontre comme ci-dessus, mais sur la base des diagrammes 3 et 4:

$$\begin{array}{ccccc}
 A_{obj} & \xrightarrow{F_{obj}} & B_{obj} & \xrightarrow{G_{obj}} & C_{obj} \\
 \text{id}_A \downarrow & & \downarrow \text{id}_B & & \downarrow \text{id}_C \\
 A_{fl} & \xrightarrow{F_{fl}} & B_{fl} & \xrightarrow{G_{fl}} & C_{fl} \\
 \\ 
 A_{fl} \times A_{fl} & \xrightarrow{F_{fl} \times F_{fl}} & B_{fl} \times B_{fl} & \xrightarrow{G_{fl} \times G_{fl}} & C_{fl} \times C_{fl} \\
 ;_A \downarrow & & \downarrow ;_B & & \downarrow ;_C \\
 A_{fl} & \xrightarrow{F_{fl}} & B_{fl} & \xrightarrow{G_{fl}} & C_{fl}
 \end{array}$$

□

A titre de comparaison, voyons aussi la traduction "algébrique" du raisonnement représenté par le premier diagramme de cette preuve:

$$\begin{aligned}
 \text{source}_A; F_{obj} &= F_{fl}; \text{source}_B \\
 \text{source}_B; G_{obj} &= G_{fl}; \text{source}_C
 \end{aligned}$$

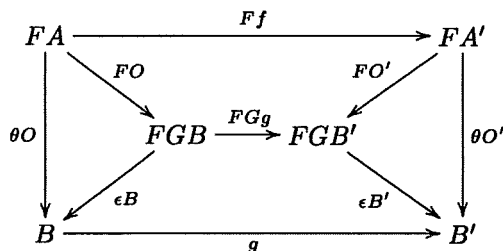
donc

$$\begin{aligned}
 \text{source}_A; F_{obj}; G_{obj} &= F_{fl}; \text{source}_B; G_{obj} \\
 &= F_{fl}; G_{fl}; \text{source}_C
 \end{aligned}$$



On voit donc que la version graphique propose une exposition beaucoup plus facile à suivre qu'une suite de formules algébriques. De plus, la plupart des gens, pour lire une suite de formules algébriques comme ci-dessus, sont obligées pour comprendre de tracer sur une feuille annexe le diagramme dont elle est issue! On voit donc tout de suite l'avantage, pour l'auteur autant que pour le lecteur, de laisser le raisonnement sous sa forme graphique.

Il est clair que sur un résultat aussi élémentaire, le gain représenté par l'utilisation de la méthode graphique reste relativement faible. Mais lorsque les raisonnements de ce type s'enchaînent sur des pages et des pages, ce type de raisonnement graphique représente un gain de lisibilité très considérable. De plus, dans le cas simple ci-dessus, nous n'avons considéré que des diagrammes se décomposant en deux parties. Mais lorsque les décompositions deviennent plus complexes, le gain est chaque fois plus grand. Ainsi, si les diagrammes ci-dessus "encodent" deux prémisses et un raisonnement en deux étapes, celui ci-après, tiré de [Ami98], représente à lui tout seul 4 équations prémisses, correspondant aux deux triangles et aux deux trapèzes, et un raisonnement en 4 étapes, d'où un gain nettement plus considérable:



## 2.4 Limitations

Si la méthode présentée ci-dessus semble proposer un cadre idéal pour obtenir des preuves par contemplation, il est évident qu'elle est tout de même soumise à un certain nombre de limites.

Nous avons dit que la théorie des catégories peut servir de fondement aux mathématiques. Donc, théoriquement du moins, toutes les

mathématiques pourraient s'exprimer dans le formalisme que nous avons esquissé ci-dessus. Cependant, comme avec les autres fondations possibles, certaines branches des "hautes" mathématiques sont en pratique inaccessibles avec les outils simples des fondations. Nous n'avons donc pas tout à fait à faire ici, en pratique, à un formalisme graphique unifié pour toutes les mathématiques.

D'ailleurs, quand les diagrammes deviennent trop complexes, il est peut-être moins aisé de saisir du premier coup d'oeil leur signification. Ainsi la figure 2 représente un diagramme dont l'interprétation est moins immédiate que pour ceux que nous avons vu dans ce texte.

Enfin, il faut relever que la représentation graphique de la théorie des catégories n'est pas tout à fait complète: les équations s'y expriment très bien, mais les assertions d'existence et d'unicité de flèches sont beaucoup moins faciles à intégrer dans un cadre graphique se prêtant à des démonstrations par contemplation. Considérons par exemple le théorème affirmant qu'un élément terminal d'une catégorie, s'il existe, est unique à isomorphisme près<sup>10</sup>. La démonstration n'en est pas difficile, mais elle se prête mal au formalisme graphique présenté ci-dessus, car elle fait un usage essentiel des propriétés d'existence et d'unicité de certaines flèches.

### 3 Conclusion

Nous avons présenté un cadre théorique dans lequel l'élément graphique peut constituer un moyen de preuve. Ainsi, la "preuve par contemplation" n'est pas seulement un rêve de mathématicien, mais elle peut effectivement exister dans certaines théories. Il est cependant clair qu'il s'agit là de "contemplation éclairée", c'est-à-dire que le dessin ne constitue une preuve que pour les initiés qui connaissent toute la série de conventions qui accompagne les diagrammes. Mais pour un habitué du *diagram chasing*, cette méthode se révèle très efficace.

Il est intéressant de constater que, si l'on était habitué aux preuves algébriques de résultats géométriques, l'exposition ci-dessus montre

---

10. Pour plus de détails sur cet énoncé ou sa démonstration, reportez-vous à [Ami98].

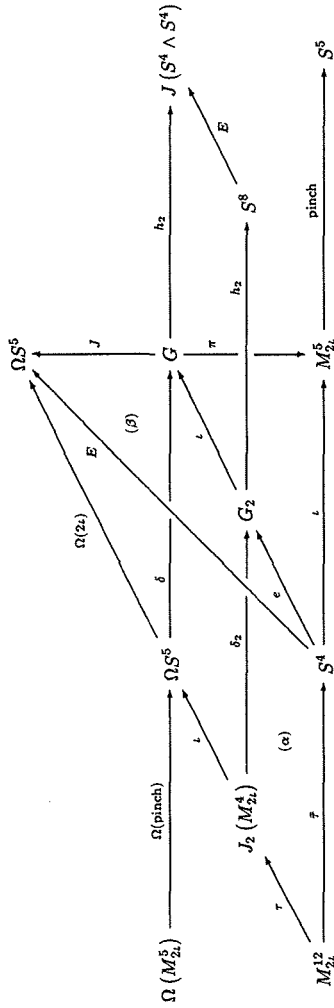


FIG. 2: *Un diagramme complexe...*

que le contraire est également possible: on peut faire une preuve géométrique de résultats algébriques. Notons cependant que la géométrie en question est assez épurée; en particulier, la géométrie de la preuve n'a rien à voir avec la sémantique du résultat démontré (comme c'était le cas pour les preuves géométriques classiques), mais elle ne tient compte que de la structure formelle et algébrique de l'*expression* de ce résultat dans la théorie concernée.

Toujours est-il que les méthodes de preuves mises en oeuvre dans la théorie des catégories sont tellement puissantes qu'on en oublie parfois qu'il y a eu preuve. On en vient à penser que cette théorie n'est qu'une suite de définition. C'est pourquoi on trouve de nombreuses réactions dans la communauté mathématique telles que celle de P. Freyd: "Perhaps the purpose of categorical algebra is to show that which is trivial is trivially trivial".

Ainsi, la théorie des catégories scie la branche sur laquelle elle est assise: le cadre théorique qu'elle propose permet des preuves si élégantes qu'on va parfois jusqu'à lui discuter son statut de théorie! Mais une analyse plus fine montre que ce débat, au fait, ne fait que confirmer le constat suivant: grâce à ses concepts puissants et bien adaptés, grâce aussi à son aspect graphique, la théorie des catégories propose un cadre d'expression formelle riche, expressif et où de nombreuses preuves se réduisent à une simple contemplation.

## Références

- [Ami98] Matthieu Amiguët. Introduction à la théorie des catégories. Travail de diplôme de l'Université de Neuchâtel, 1998.
- [Bha] Bhaskara. Vijagania. Inde, 12<sup>e</sup> siècle.
- [BW90] Michael Barr and Charles Wells. *Category Theory for Computing Science*. Prentice Hall International, 1990.
- [dSE97] Antoine de Saint-Exupéry. *Le petit prince*. Gallimard, 1997.
- [Lan71] Saunders Mac Lane. *Category theory for the working mathematician*. Springer-Verlag, New York, 1971.

[Law66] F.W. Lawvere. The Category of Categories as a Foundation for Mathematics. In *Proceedings of the Conference on Categorical Algebra at La Jolla*. Springer-Verlag, 1966.



# Le dessin dans l'activité de conception architecturale

Madeleine ARNOLD  
*Equipe de recherche EVCAU*  
*Ecole d'architecture Paris-Val de Marne*  
*11 rue du Séminaire de Conflans*  
*94220 Charenton-le-Pont*  
*arnold@idf.ext.jussieu.fr*

## 1. Introduction

La conception architecturale entre dans la classe des « situations d'activité avec instrument » (Rabardel 1995). Au cours des processus de conception, le sujet, individuel ou collectif, l'objet de l'activité, les instruments que le sujet utilise pour agir sur l'objet, interagissent l'un sur l'autre et constituent un système complexe dynamique. Le dessin se présente comme un instrument privilégié de l'architecte. On ne s'intéressera pas ici à tous les types de dessin qui accompagnent l'élaboration d'un projet d'architecture mais uniquement au dessin de type croquis, esquisse, ou schéma, auquel les concepteurs recourent pour passer de la commande qui leur est faite à la présentation graphique d'une « solution possible » (Lebahar 1983, p. 10-11) qui montre la composition, les formes et les dimensions du futur objet à construire sans pour autant entrer dans les détails nécessaires à la réalisation matériel de celui-ci. Dans ce qui suit, le terme générique « dessin d'architecture » réfèrera donc à ces différents types de productions graphiques, plutôt approximatives et schématiques, et réalisées à la main sur du papier, qui constituent les premières formulations d'une solution architecturale. Dans une première partie du texte qui va être présenté, on rappellera les principales caractéristiques de l'activité de conception et dans une seconde les caractéristiques du dessin d'architecture. Dans une troisième on traitera des fonctions du dessin dans l'activité et dans une quatrième de divers types d'opérations graphiques et perceptivo-cognitives effectuées à l'aide du dessin.

## 2. Les caractéristiques de l'activité de conception

Différents modèles des processus de conception architecturale ont été proposés (Akin 1986, p. 4-6 ; Conan 1990 p. 18-81 ; Prost 1992 ; Leclercq 1996, p. 16-46). Certains s'inspirent du paradigme de la résolution de problème qui a eu une forte influence alors que d'autres s'en différencient quand ils ne s'y opposent pas clairement. Fondamentalement résoudre un problème consiste à partir d'un état initial pour parvenir à un état final en passant par des états intermédiaires, en appliquant des règles de transformation pour passer d'un état à un autre. En conception le problème est mal défini car la commande passée à l'architecte ne contient que peu d'éléments et en général imprécis, sur le but à atteindre, c'est-à-dire sur l'espace construit à imaginer. Le problème est à définir conjointement à l'élaboration de la solution. Il n'existe pas une solution unique et optimale ; plusieurs solutions aussi valables les unes que les autres sont possibles. Le problème est complexe du fait du grand nombre et de l'interdépendance des données de toutes natures dont le concepteur doit tenir compte. Les règles de transformation sont mal connues de même que leurs conditions et leur ordre d'application. La démarche de conception n'est pas linéaire et progresse par des allées et venues dans différents niveaux d'abstraction. La planification de l'activité n'est pas déterminée globalement et elle est opportuniste car elle dépend des événements imprévus qui peuvent survenir et qui sont liés à l'évolution du projet et aux réactions du concepteur.

A un courant de recherches sur la conception qui adopte le paradigme de la résolution de problème dans un sens strict, M. Poy (1991, p.6-7) oppose un autre courant qui considère la conception comme une activité consistant essentiellement à élaborer et à transformer des représentations pour résoudre un problème. Les représentations sont internes et externes ; parmi ces dernières les dessins jouent un rôle fondamental en conception architecturale en tant qu' « outil d'expression des représentations » mentales (id., p. 16). Par ailleurs, plutôt que déductif ou inductif, le raisonnement est de type « transductif » et va du particulier au particulier, en se centrant sur l'objet étudié ou en référant éventuellement à des cas antérieurs (id. p. 12). Schön (1983) estime que le paradigme de la résolution de problème laisse échapper des aspects essentiels de l'activité des praticiens (dont les



concepteurs) confrontés, dans le monde réel, non à des problèmes mais à des « situations problématiques » caractérisées par leurs « incertitude, unicité, instabilité et conflit de valeurs ». Il caractérise la démarche des praticiens comme une « réflexion dans l'action » où les formulations d'hypothèses sur le problème et sur la solution à lui apporter alternent avec des expérimentations pour vérifier la validité des hypothèses et pour ajuster ou corriger celles-ci.

### **3. Caractéristiques du dessin d'architecture**

Si l'on se réfère au modèle S.A.I. (situation d'activité avec instrument) (Rabardel 1995) qui définit l'instrument par rapport au sujet qui l'utilise et à l'objet sur lequel agit le sujet avec son aide, le dessin d'architecture apparaît occuper à la fois les pôles de l'objet et de l'instrument dans la triade Sujet – Objet – Instrument. L'objet que le concepteur vise à produire est une représentation externe du futur espace habité, celle-ci étant essentiellement constituée de dessins. Pour construire cette représentation, il génère des dessins intermédiaires qui sont à la fois des états transitoires de la solution qu'il cherche et des instruments pour définir et résoudre les problèmes qui se posent à lui. Comme tout instrument le dessin est le produit d'une élaboration sociale et il se définit comme un artefact associée à un ou plusieurs schèmes d'utilisation. Mais en tant qu'« instrument sémiotique » il présente un troisième aspect indissociable des deux autres : la signification (ou signifié) attaché à l'artefact (les traces graphiques perceptibles ou signifiant). Par l'intermédiaire des instruments sémiotiques le sujet a le pouvoir d'agir sur son propre psychisme ou sur celui des autres (id. p. 83).

La simulation visant à produire « des modèles analogiques de la réalité », celle-ci étant un objet ou une situation (Béguin et Weill-Fassina 1997a, p. 1), le dessin d'architecture simule l'objet de l'activité qui est de nature architecturale et à venir. Un rapport analogique est établi entre l'objet à réaliser en 3 dimensions et sa représentation externe en deux dimensions par l'intermédiaire de relations géométriques de différents niveaux – topologique, affine, projectif, métrique - traitant de relations géométriques de complexité croissante. La représentation s'effectue à différents degrés de schématisation et de détail. Le dessin est « malléable » (Lebahar 1983, p. 20) et permet ainsi au concepteur de visualiser aisément et rapidement de nouveaux points de vue et de nouvelles solutions ou de les modifier. L'évolution du dessin n'est pas

linéaire. Le concepteur au cours d'un projet ne va pas progressivement et rigoureusement de l'imprécis au précis, de l'ensemble au détail, du schématique au détaillé. M. Poy (1991, p. 52-59) a ainsi constaté que les séries de dessins réalisés par deux architectes, réalisant chacun un projet de réhabilitation d'un immeuble, présentent un certain nombre de « passages ascendants » et « descendants », et d'extractions et d'inclusions. Passages, extractions et inclusions sont identifiés en fonction de deux classifications des dessins, l'une reposant sur le degré de schématisation et distinguant les schémas, les esquisses, les croquis et les dessins au propre, et l'autre concernant l'étendue de l'objet – ensemble, partie ou détail. Selon les problèmes qu'il traite, l'architecte passe d'un dessin plus schématique à un dessin qui l'est moins, ou vice versa, ou bien d'une représentation plus globale à une représentation plus locale, ou vice versa.

Le dessin d'architecture a les propriétés d'une « image opérative » (Lebahar 1983, p. 27-28) dans le sens où il ne retient de l'objet que les éléments pertinents par rapport aux intentions cognitives et perceptives poursuivies par le concepteur à un moment donné. La géométrie descriptive et le dessin en perspective fournissent à l'architecte des instruments conventionnels qui lui permettent de changer son point de vue sur l'objet selon les nécessités de sa réflexion tout en assurant une cohérence des différentes vues. Il pourra dessiner un plan, une élévation, une coupe, une perspective à point de vue unique ou multiples ou une axonométrie avec point de fuite à l'infini et où les parallèles sont conservées. Si le niveau topologique lui suffit pour identifier des espaces il recourra à des « patates », cercles approximatifs, qui, juxtaposés, rendront compte grossièrement de la disposition des lieux et éventuellement aussi de leurs surfaces respectives. Il pourra aussi schématiser plus ou moins ses représentations et changer le cadrage de l'objet, allant et venant entre vues d'ensemble, d'une partie et d'un détail.

Une propriété fondamentale du dessin est son dynamisme et sa dépendance à l'égard du contexte spatio-temporel, qui se manifeste dans sa « sérialité » (Boudon et Pousin 1988, p. 58-94). Un acte graphique s'inscrit dans la série des actes qui le précèdent et qui le suivent. Les traits, les formes qui sont des configurations de traits structurées et sans signification, et les figures qui sont des formes ayant une signification architecturale, sont produits par rapport aux traits, aux formes, et aux figures déjà tracées ou envisagées. Le dessin s'élabore dans une succession d'« inscriptions » et de « lectures », une nouvelle lecture provoquant le projet d'une nouvelle inscription.

Le dessin est polysémique dans un premier sens où les éléments et les configurations graphiques qui le composent peuvent souvent recevoir plusieurs interprétations morphologiques. Si ce type de polysémie fait problème essentiellement dans l'interprétation automatique de dessins il n'est pas exclu de la lecture humaine. En ce qui concerne l'interprétation automatique des croquis perspectifs à main levée qui demande de donner une interprétation en trois dimensions de configurations graphiques bidimensionnelles approximatives, L.P. Untersteller (1994, p. 20-24, 46) relève un certain nombre d'imprécisions graphiques qui provoquent l'incertitude. Certaines, comme les débords ou l'absence de jonction de deux ou plusieurs arêtes à un sommet de parallélépipède, sont des classiques de la reconnaissance des formes. D'autres sont plus liées au dessin d'architecture. On citera l'imprécision angulaire qu'entraînent « le défaut de parallélisme pour une axonométrie ou le défaut de convergence des fuyantes pour une perspective ». Il arrive que, dans une symétrie, seule une moitié soit dessinée avec précision ; de même, dans une série fondée sur la répétition, seuls les premiers éléments apparaîtront. Par exemple, dans un dessin d'Alvaro Siza, seules les premières marches d'un escalier sont dessinées complètement. Parfois les distorsions observées sont voulues. Un débord indiquera qu'une direction est significative ou bien qu'il s'agit d'une ligne de construction. Ou encore, la saillie d'un coin de parallélépipède sera accentuée par l'incurvation d'une arête. Evidemment les problèmes d'interprétation morphologiques sont en grande partie différents pour des êtres humains qui ont la capacité de voir des formes d'emblée au sens de la Gestaltheorie. Par ailleurs ils peuvent, intuitivement, prendre en compte le contexte, qui joue un rôle important dans l'interprétation comme le souligne L.P. Untersteller.

La polysémie du dessin joue à un second niveau où il ne s'agit plus de trouver l'interprétation correcte parmi les interprétations possibles. En effet l'activation des potentialités significatives d'un même dessin évolue selon les nécessités de l'activité. L'attention du concepteur se porte tantôt sur certains objets, zones et relations, tantôt sur d'autres. Un même élément graphique peut prendre des significations différentes selon les moments ; par exemple une ligne sera tout d'abord dessinée en tant que limite, sans dimension particulière, d'un objet, puis un moment après elle servira à étudier la largeur de l'objet (Neilson et Lee 1994, p. 526-527 ). Si les dessins d'esquisse ne sont pas toujours faciles à interpréter et restent même parfois hermétiques y compris pour leur propre auteur lorsque celui-ci y revient après un certain temps, ils n'en reposent pas moins sur une « base de langage commun » (common

language base), autrement dit sur un fonds de connaissances partagées, qui fait que « les architectes sont capable d'interpréter et de comprendre des dessins complexes faits par un autre participant » au processus de conception (Lapré 1988, p.7). Ces connaissances sont exprimées linguistiquement. Au terme de deux expériences, où un architecte commente la série de ses dessins faits pour un projet, puis où d'autres concepteurs commentent trois de ces dessins, L.J. Lapré constate que les lecteurs des dessins analysent ceux-ci et infèrent l'activité cognitive à laquelle ils ont donné lieu dans des termes voisins de ceux qu'avait utilisés l'architecte.

#### **4. Fonctions du dessin dans l'activité de conception**

Le dessin fournit à l'architecte un instrument efficace de « réduction d'incertitude » (Lebahar 1983) et de complexité. Au début d'un projet, le concepteur dispose d'un ensemble de connaissances classifiées analogues à celles qui sont manifestées dans le lexique architectural. Le problème pour lui est d'exploiter ces connaissances pour trouver une solution spatiale à la situation problématique à laquelle il est confronté car il ne sait pas encore avec certitude quelles classes d'activité, d'éléments bâtis, de problèmes et de solutions, sont adaptées à la situation. « L'imprécision graphique » est alors un moyen pour lui de ne pas s'enfermer trop tôt dans une solution exactement définie qui l'empêcherait de s'adapter sans modifications graphiques majeures à des problèmes inattendus (id. p.36-37). A travers la production et la lecture de graphismes, problèmes et solutions sont précisés petit à petit en exploitant la malléabilité, les différents niveaux géométriques, points de vue et degrés de schématisation, du dessin. La « précision imprécise » du ou des premiers dessins est particulièrement importante pour la suite du projet car cette matérialisation initiale de l'idée spatiale « fixe les principes de recherches » tout en permettant des déformations et des changements de signification des composants graphiques (id. p. 56). L'interdépendance des domaines de connaissances et l'approche multitâches sont des facteurs de complexité essentiels dans l'activité de conception. En produisant puis en lisant un dessin, puis en recommençant avec le dessin suivant, une lecture inspirant la production suivante, le concepteur donne une structure séquentielle à son activité (Schön et Wiggins 1992, p. 143). Il peut alors focaliser son attention sur une partie ou une autre d'un objet, sur un aspect du problème à traiter ou sur un autre, en oubliant provisoirement les autres parties ou les autres aspects.

Le dessin permet alors de traiter successivement les problèmes tout en gardant la trace manipulable de l'ensemble des tâches accomplies. La schématisation est aussi un moyen de réduire la complexité en ne conservant des éléments de l'objet représenté que les plus pertinents par rapport au problème étudié à un moment donné du raisonnement.

Le simulacre, constitué par le dessin, est une représentation externe au concepteur qui l'a produit. Il est un objet matériel qui fait partie de l'environnement physique de l'architecte. De ce fait il peut être soumis à « l'examen critique, à l'évaluation » et donner lieu à des « développements itératifs de découverte et d'ajustement » (Béguin et Weill-Fassina 1997b, p.21-22 ; Lebahar 1983, p. 76-84). Le simulacre de l'objet architectural peut donner lieu à son tour à des simulations mentales, par exemple, de comportements d'usagers ou d'éléments architecturaux. Le dessin étant malléable contrairement à l'objet réel, il permet d'expérimenter des hypothèses et d'opérer des retours en arrière dans le processus. Le premier ou les premiers dessins ont un rôle important car ils servent de « base graphique » à la recherche ultérieure de solution et constitue un schème structurant du processus entier (Lebahar 1983, p. 56-66). Plus généralement, l'esquisse, telle que l'architecte l'utilise au cours d'un projet ou pour expliquer un projet achevé, contient « l'essentiel de la composition » (the essential part of composition) et elle est « le meilleur reflet de l'intention créatrice » (Leclercq 1999 ;1996, p.165). Ainsi l'architecte Mario Botta raconte comment il a réalisé un premier croquis après avoir visité le site d'un village en Italie du Nord pour lequel il devait concevoir une nouvelle église (Goldschmidt 1988, p. 244). Après six mois de travail sur le projet et alors qu'il avait oublié son dessin initial il constata que le projet était « exactement comme le premier croquis ». Il ajoute que cela lui arrive « presque toujours ». L'« idée spatiale » qu'il cherche en début de conception est pour lui la source du projet et un guide.

Le dessin est un instrument de coordination spatiale et temporelle (Lebahar 1983 p. 92-99), et d'intégration des connaissances issues de différents domaines (Leclercq 1994, p. 2), qui sont attachées aux éléments représentés. L'intégration spatiale et temporelle est réalisée par le positionnement dans un même objet des différents éléments étudiés par l'architecte au cours d'un projet. On pourrait dire qu'elle opère comme si l'on avait à faire à un puzzle « malléable » pour reprendre le qualificatif de J.C. Lebahar. La forme globale du puzzle change par agrandissement, réduction ou déformation, et les éléments sont alors modifiés pour s'adapter au

changement. Ou bien la forme globale du puzzle est maintenue et le concepteur change les éléments, ou leur position, leurs dimensions ou les relations entre eux, à l'intérieur de l'enveloppe. Les éléments peuvent être traités isolément dans des dessins mais les correspondances avec la forme globale et les autres éléments sont assurées par le respect des relations géométriques et éventuellement par l'application d'une échelle. Le dessin géométral fournit des techniques de dessin où différentes vues d'un objet – plan, coupe, élévation – sont coordonnées dans un espace défini par trois axes orthogonaux et orthonormés. La coordination dimensionnelle (Lebahar 1983, p. 93-99) constitue une variante de la coordination spatiale. Elle s'applique à l'objet dans sa globalité et à ses parties ou encore aux relations de ceux-ci, par exemple avec la taille des futurs occupants et avec leurs comportements. Un simple quadrillage, du papier millimétré, différents types de trames (id. p.93-94 ; Zeitoun 1977) peuvent aider à réaliser une coordination dimensionnelle.

Comme toute image visuo-spatiale (Larkin et Simon 1987) le dessin d'architecture a l'avantage sur le texte de conserver les relations géométriques et de condenser en une même localisation les informations relatives à un élément et aux relations de cet élément avec ses voisins. En dessinant l'architecte traite différents types de connaissances – classes d'activité, d'éléments bâtis, de problèmes, etc. - qui sont liés aux traces graphiques ou encore à des mots (Lebahar, p. 29-30, 36 ; Lapré 1988). L'informatisation de l'exploitation de l'esquisse architecturale met en évidence la part des informations fournies par le graphisme, celle des connaissances professionnelles attachées au graphisme, et l'interaction entre les deux au cours de l'activité de conception. Pour P. Leclercq (1999) l'esquisse constitue une excellente interface pour saisir l'essentiel de la composition d'un objet architectural et pour intégrer et traiter les multiples connaissances – thermiques, constructives, d'usage, etc. – qui sont liés aux éléments architecturaux et à leurs relations spatiales. Son logiciel EsQUISE construit un modèle géométrique, topologique et fonctionnel, de l'espace représenté en deux dimensions, à partir des traits tracés sur une tablette digitale. Il est couplé à des bases de connaissances à l'aide desquelles on peut faire des raisonnements et des calculs sur les locaux dont les attributs des frontières et des espaces intérieurs ont été établis par l'interprétation graphique et éventuellement aussi à l'aide d'annotations textuelles telles que CUISINE ou CH pour chambre. Par exemple, il peut définir, les besoins en énergie thermique des pièces d'un appartement pour les douze mois de l'année.

Le dessin en tant que représentation externe que l'architecte peut explorer du regard est un instrument de découverte qui contribue activement à l'avancée du projet. Dans le paradigme voir – agir – voir (seeing – moving – seeing) (Schön et Wiggins 1992) la découverte occupe une place centrale et explique la démarche opportuniste et sérielle des concepteurs. L'activité perceptive et cognitive à laquelle donne lieu la lecture du dessin, débouche souvent sur des découvertes de formes, au sens de la Gestalt-theorie, ou de formes auxquelles peut être donnée une signification architecturale, de problèmes, de solutions, etc. Ces découvertes amènent l'architecte à étudier d'autres problèmes ou d'autres solutions à travers un faire graphique producteur de nouveaux dessins qui seront à leur tour explorés visuellement. Ainsi un architecte dessine le plan sommaire d'un bâtiment en L. Après examen du plan il estime que la pièce à l'extrémité de la branche horizontale du L est trop petite. Il dessine donc un second plan où la pièce agrandie provoque un décrochement de l'extrémité horizontale du L vers le haut. Il perçoit alors une cour potentielle dans l'espace extérieur délimité par le L et le décrochement. Cela l'amène à allonger le décrochement vers le haut et à transformer le L en U, la cour étant située dans le creux du U (Papazian 1993, p. 115). La découverte d'une composition spatiale satisfaisante peut être provoquée par le « jeu » avec des formes. Quand le concepteur ne sait pas ce qu'il cherche ou qu'il ne sait pas quelle alternative adopter pour échapper à une composition qui ne lui convient pas, il dispose d'une solution qui est de se livrer à des « jeux de conception » (design games) (Mitchell 1990, p. 81-82). A un moment donné le concepteur se limite au monde des formes et élude le monde des connaissances. Il déforme et combine des formes jusqu'à parvenir à une configuration qu'il peut rattacher aux exigences du projet auxquelles il doit répondre. Dans un exemple donné par G. Goldschmidt (1988, p. 243), un étudiant en architecture commence par jouer avec des boîtes d'allumettes lorsqu'il est à la recherche d'une première idée générale au début de son projet. Dans un second exemple une étudiante joue toute une journée avec des éléments de Lego – cubes, prismes, ... Le nombre de configurations qu'elle sélectionne diminue mais elle ne parvient pas à un choix clair. Elle finit par prendre une décision arbitraire. Les jeux, réalisés avec des volumes matériels ou avec des formes graphiques, constituent des « expériences souples » (loose experiments) qui « visent à expliciter des hypothèses » et qui assurent la transition avec des expériences plus rigoureuses où ces hypothèses seront véritablement testées (ibid.).

## 5. Les opérations composantes du raisonnement de conception

Les opérations effectuées par le concepteur à l'aide du dessin, au cours de l'activité de conception, ressortissent à la sensori-motricité, à la perception et à la cognition. Dans le cycle itératif voir – agir – voir, les unes appartiennent au registre de l'inscription des traces et des figures graphiques et font appel tout à la fois à la sensori-motricité, à la perception et à la cognition, tandis que les autres relèvent du registre de la lecture et sont peu concernées par la sensori-motricité. Les deux registres interagissent l'un sur l'autre dans un mouvement sériel où une opération réalisée dans un registre provoque une opération dans l'autre registre.

### 5.1. Les opérations d'inscription

Les opérations d'inscription peuvent être en grande partie inférées de la comparaison de dessins successifs. On constatera, par exemple, que d'un dessin au suivant, une forme a été agrandie ou réduite, déformée, changée de place, ajoutée ou supprimée. Cependant la chronologie du tracé ne peut guère être inférée d'un dessin terminé ; seul un dispositif d'observation dynamique, par exemple une prise de vue vidéo, est en mesure de capter le caractère sériel de l'inscription. Boudon et Pousin (1988, p. 58-78) distinguent plusieurs niveaux d'inscription. Au premier, élémentaire, se situent les traces graphiques. Le concepteur dessine un trait après l'autre, chaque trait s'inscrivant en référence à un autre, réel ou virtuel, ou à d'autres. Par exemple, le concepteur entourera un point d'un cercle, tracera une ligne parallèle à une autre, dessinera une ligne ondulée suivant la direction d'une droite imaginaire. A un niveau supérieur l'architecte produit aussi des formes, configurations de traits qui constituent des motifs graphiques. Deux types d'opérations sont appliquées aux formes. Dans le premier, des « opérations de déformation » modifient une forme en agissant sur les propriétés – courbure, horizontalité, obliquité, ... - de certains traits. Ainsi dans un plan où une forme ressemble à une clé à molette, la forme est transformée progressivement en allongeant la ligne courbe, en segmentant une ligne droite horizontale, en inclinant à l'oblique un segment vertical et en effaçant la partie médiane de l'oblique (intersection). Le second type d'opérations concerne les liaisons entre une forme et un ou plusieurs d'éléments graphiques, et entre formes elles-mêmes, et vise à intégrer les formes dans l'ensemble du dessin. La juxtaposition des



formes dans un plan ou une façade est un exemple d'opération de liaison. Le déplacement et la substitution apparaissent comme deux opérations de liaison fondamentales, portant sur les relations entre une forme et un dessin et sur les formes entre elles. Les grammaires de formes (Mitchell 1990, p. 131-181), inspirées des grammaires génératives développées en linguistique, offrent des instruments de déformation et de composition systématiques de formes, qui peuvent être utilisées avec ou sans l'aide de l'informatique, pour engendrer des formes complexes. Ainsi l'application récursive d'une règle de segmentation d'un carré en 4 carrés plus petits, explicite la génération du plan du jardin du Taj Mahal. Une grammaire beaucoup plus complexe permet de produire les plans de villas palladiennes. Le point de départ est un quadrillage qui est transformé en une grille tartan où des motifs en forme de rectangle, de T, de I, et de croix, sont introduits par concaténation d'éléments modulaires de la grille.

A un niveau supérieur, le concepteur agit sur des «figures» (Boudon et Pousin 1988) c'est-à-dire sur des formes qui ont une signification architecturale. Par exemple, dans le plan d'un appartement, la salle d'eau est substituée au bureau, le bureau à la chambre des parents, et la chambre des parents à la chambre d'amis (Lebahar 1983, p. 91). Il arrive que le concepteur réutilise des formes, sémantisées ou non, qui proviennent de précédents projets ou qui sont des références pour lui. Ainsi dans un exercice de transformation raisonnée de la maison des artisans de Le Corbusier, qui a la forme d'un cube, un étudiant introduit une troisième face vitrée en s'inspirant des cubes vitrées à trois faces d'une autre maison réalisée par le même architecte (Boudon et Pousin 1988, p. 268).

Les configurations perceptibles produites par les opérations d'inscription sont la trace d'opérations cognitives de conception « dont la complexité excède la simplicité de ce qui est donné à voir » (Boudon 1995, p. 273). La production d'un dessin met en œuvre des domaines de connaissances variés et riches (Boudon 1992 ; Schön 1983 p.95-98). Par exemple, lorsqu'un étudiant, travaillant sur la maison des artisans de Le Corbusier, met un poteau porteur à chaque angle et libère ainsi la façade qu'il vitre alors entièrement, il recourt à des connaissances techniques, fonctionnelles (accès de la lumière), et aussi à des connaissances liées à la visibilité (à travers la vitre). J.C. Lebahar (1983, p. 92-97) donne quelques exemples d'opérations perceptivo-cognitives faites lors de l'inscription de dessins : coordinations de points de vue et dimensionnelle, visualisation ou vérification d'hypothèses, résolution d'un problème particulier. Pour réaliser l'une de ces opérations, l'architecte

sélectionne un type de vue adapté : plan, coupe, élévation, perspective, « patates ». Le plan fournit les étendues et les limites des volumes et des objets, vides ou pleins, fixes ou mobiles, ainsi que les zones de déplacement des objets (id. p.101). La coupe, qui est située sur le plan par une ligne dite de coupe, intègre des informations que ne peut pas donner le plan. Elle montre les superpositions verticales et les figures situées dans le plan vertical (silhouettes, escaliers, ...) dans une même vue orthonormée et ne déformant pas les mesures (id. p.97). Bien que l'on dispose actuellement d'un certain nombre d'observations fines, telles que celles de D.A. Schön, P. Boudon et J.C. Lebahar, on manque actuellement, à notre connaissance, d'analyses systématiques sur l'interaction entre les dessins effectués par des architectes et les opérations perceptivo-cognitives auxquelles ils donnent lieu. Cette carence atteint d'ailleurs tous les « supports d'expression », dont font partie les simulacres graphiques. Et pourtant « il est fort probable que les différents supports de simulation offrent des potentialités et des limites distinctes pour le raisonnement » (Béguin et Weill-Fassina 1997, p.23).

### *5.2. Les opérations de lecture*

La lecture a deux temps d'intervention. D'une part elle opère pendant que le dessin se fait et explique en partie pourquoi le concepteur inscrit un trait, une forme ou une figure par rapport à d'autres. D'autre part elle s'exerce sur le dessin fini (momentanément) et provoque l'anticipation de nouvelles actions graphiques. Le dessin est le lieu de nombreuses inférences. Elles portent sur la signification spatiale, fonctionnelle et technologique des traces graphiques et s'effectuent à différents niveaux de complexité. Les recherches menées en psychologie cognitive, sur le dessin technique (Rabardel et Weill-Fassina 1992, p. 215-240 ; Vérillon 1996, p. 127-147), indiquent une voie qui paraît intéressante pour étudier plus précisément et sur un mode plus systématique, les opérations perceptivo-cognitives mises en œuvre lors de l'interprétation de dessins d'architecture. Dans ces recherches la sémiotique est utilisée pour identifier les caractéristiques graphiques pertinentes et leurs significations. Des registres de fonctionnement cognitif et des niveaux de relations géométriques, inspirés d'une part des travaux de Piaget sur le développement cognitif de l'enfant et d'autre part des travaux de Piaget et Inhelder sur la genèse de l'espace géométrique chez l'enfant (Weill-Fassina 1973, 1979 ; Vérillon 1996 p. 130), ont été définis pour analyser l'activité cognitive développée par les personnes exploitant des dessins pour mener à

bien des tâches. Les connaissances mises en œuvre portent sur le langage graphique (figures et règles de composition des figures), la construction d'une représentation mentale d'un objet spatial statique ou dynamique, et les caractéristiques technologiques des objets représentés, telles que leur fonctionnement interne et externe ou leurs conditions de fabrication (Rabardel et Vérillon 1987, p. 209-210 ; Rabardel et Weill-Fassina 1992, p. 224-225 ; Vérillon 1996, p. 131-132). Par exemple, A. Weill-Fassina (1988, p. 650-652) identifie trois transformations – la transposition, la transcription et l'inférence – pour construire une vue orthogonale à partir de la perspective ou d'autres vues orthogonales d'un même objet. Dans un autre exemple, la partie d'un dessin interprétée spatialement comme une surface caractérisée par une forme et des dimensions, peut recevoir des significations « liées aux actions à réaliser (un trou cylindrique sera considéré comme un perçage) ou par rapport à des fonctions remplies dans l'objet technique (par exemple surface de guidage) » (Rabardel et Vérillon 1987, p.210 ; Vérillon 1996 p.131).

La lecture des dessins comporte des phénomènes d'« enrichissement perceptuel » (perceptual enhancement) (Lapré 1988, p. 25-26 ; Larkin et Simon 1987). Le regard du concepteur extrait des ensembles de traits structurés du dessin et identifie en eux des formes ayant ou n'ayant pas une signification architecturale. Ainsi deux architectes, réfléchissant au problème des entrées sur le même plan type d'une bibliothèque dans le Massachusetts, voient des formes différentes dans le plan. Ce sont : des extrémités et un milieu pour le premier, un espace central avec des renflements sur les côtés, puis deux L dos à dos pour le second. La recherche de solution poursuivie par les concepteurs est orientée par les formes qu'ils ont perçues (Schön et Wiggins 1992). En opérant une inversion de la figure et du fond, le dessinateur peut aussi retenir certains traits qui suggèrent une figure incomplète qu'il lui suffira de terminer pour qu'elle apparaisse clairement sur la feuille de papier (Boudon et Pousin 1988, p. 94). La lecture comparée de deux dessins est un moyen d'établir des analogies, opérations dont l'importance est reconnue dans les activités de conception. J.P. Chupin et M. Léglièse (1996) insiste sur le rôle de la schématisation, tant graphique que linguistique, dans les mises en relation analogiques. Le logiciel pédagogique Analogie qu'ils présentent permet d'afficher sur un écran deux images choisies dans des catalogues et donc de les comparer. L'utilisateur peut dessiner sur l'image, annoter celle-ci, expliciter textuellement les relations sémantiques qu'il imagine entre les deux images. Par exemple, un étudiant a sélectionné la vue anatomique d'une main écorchée et une façade d'un opéra

projeté par C. de Portzamparc, où une muraille opaque s'interrompt pour laisser place à une partie largement vitrée. Les commentaires des deux images établissent une analogie entre la vue écorchée en anatomie qui dévoile ce qui n'est pas apparent, qui « offre à découvrir », et un « bâtiment écorché » qui dévoile l'une de ses parties, qui « offre à voir ».

La lecture au sens strict, par laquelle sont inférés la troisième dimension, les surfaces et les volumes cachés, les comportements des éléments architecturaux et des habitants, est subordonnée aux opérations cognitives constituant la trame du raisonnement de conception. A travers la lecture de ses dessins le concepteur vise à évaluer l'espace produit en fonction des critères qu'il a retenus, à l'explorer perceptivement, à déceler des problèmes, à trouver des solutions (Lebahar 1983, Schön 1983 p. 76-104, Schön et Wiggins 1992). Dans le cas présenté par D.A.Schön (Schön 1983 p. 83-84 ; Schön et Wiggins 1992, p. 136-141), une étudiante montre à son professeur son plan d'une école comportant six classes. Il est composé de six rectangles en escalier. Elle estime que « son échelle est trop petite ». Elle fait alors un second dessin constitué de trois formes en L disposées en escalier. Elle est satisfaite et découvre les conséquences inattendues de son action graphique. Elle perçoit deux sortes d'espace utilisables, l'un qui est à la fois extérieur et intérieur et l'autre tout à fait extérieur. Par ailleurs l'espace lui paraît avoir un caractère plus familial. Dans l'expérience sur le plan type d'une bibliothèque dans le Massachusetts (Schön et Wiggins 1992, p. 149-151), la lecture du dessin est l'occasion pour une architecte « de voir et de voyager dans le dessin comme si elle voyait et voyageait autour du bâtiment ». Elle évalue ainsi comparativement deux trajets qui permettent d'accéder à l'une des entrées, en fonction de leur longueur et des effets visuels produits sur un piéton par le tracé des mur. Ayant opté pour l'une des deux approches de l'entrée, elle dessine la partie de plan correspondant. Ce faisant elle découvre que l'un des espaces composant le plan du bâtiment est décalé par rapport aux autres espaces, ce qui modifie la longueur du mur portant l'entrée. Mais elle n'utilise pas sa découverte tout de suite ; elle ne le fait que plus tard lorsqu'elle aborde le problème d'une autre entrée, touchée par le décalage.

## **6. Conclusion**

Dans le système complexe dynamique que constitue l'activité de conception architecturale, le dessin d'architecture s'avère être un instrument de réduction de la complexité et de l'imprécision, d'intégration et de découverte. Son efficacité tient principalement à sa capacité de simuler l'objet de l'activité et à sa malléabilité. Les informations concernant l'aspect physique de l'objet sont situées dans une même enveloppe spatiale tandis que les connaissances nombreuses et diverses intervenant dans le raisonnement de conception peuvent s'ancrer à l'objet pris dans son entier ou à l'une de ses parties. Le dessin évolue sériellement dans une suite d'inscriptions graphiques et de lectures des configurations produites, qui interagissent les unes sur les autres. Un certain nombre d'opérations d'inscription et de lecture ont été identifiées qui nécessiteraient des recherches plus systématiques.

## Références

- Akin, O. (1986). *Psychology of architectural design*. London : Pion Ltd.
- Béguin, P. & Weill-Fassina, A. (1997a) *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*. Toulouse : Octarès.
- Béguin, P. & Weill-Fassina, A. (1997b). De la simulation des situations de travail à la situation de simulation. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (Ed.), *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*, Toulouse : Octarès, pp. 6-28.
- Boudon, Ph. (1992). *Introduction à l'architecturologie*. Paris : Dunod.
- Boudon, Ph. (1995). Existe-t-il des opérations de conception architecturale ? In R. Prost (Ed.), *Concevoir, inventer, créer. Réflexions sur les pratiques*, Paris : L'Harmattan, pp. 259-283.
- Boudon, Ph. & Pousin, F. (1988). *Figures de la conception graphique. Manuel de figuration graphique*. Paris : Dunod.
- Chupin, J.P. & Léglièse, M. (1996). Un carnet de schémas analogiques pour les phases préliminaires de la conception architecturale. *Revue des sciences et techniques de la conception*, 5, n°2, 23-43.
- Conan, M. (1990). *Concevoir un projet d'architecture*. Paris : L'Harmattan.
- Goldschmidt, G. (1988). Interpretation : its role in architectural designing. *Design studies*, 9, n°4, 235-245.
- Laprè, L.J. (1988). *Elicitation and conceptualisation of knowledge using graphical material*. Leiden : University of Leiden, Master's thesis.

- Larkin, J.H. & Simon, H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, **11**, 65-99.
- Lebahar, J.C. (1983). *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire (F) : Ed. Parenthèses
- Leclercq, P. (1994). De l'esquisse à la sémantique architecturale. Défense de la thèse de doctorat « Environnement de conception architecturale pré-intégrée. Eléments d'une plate-forme d'assistance basée sur une représentation sémantique ». Liège : Université de Liège.
- Leclercq, P. (1996). *Environnement de conception architecturale préintégré. Eléments d'une plate-forme d'assistance basée sur une représentation sémantique*. Liège : Université de Liège, collection des publications de la Faculté des sciences appliquées n° 157.
- Leclercq, P. (1999). Interpretative tool for architectural sketches. In *International roundtable conference on visual and spatial reasoning in design : computational and cognitive approaches*, MIT, Cambridge (Mass.).
- Mitchell, W.J. (1990). *The logic of architecture. Design, computation, and cognition*. Cambridge (Mass.) : The MIT Press.
- Neilson, I. & Lee, J. (1994). Conversation with graphics : implications for the design of natural language/graphics interfaces. *International Journal of human-computer studies*, **40**, 509-541.
- Papazian, P. (1993). Incommensurability of criteria and focus in design generation. In U. Flemming & S. Vn Wyk (Ed.), *CAAD Futures '93*, Elsevier.
- Poy, M. (1991). Elaboration de projets et productions graphiques dans la conception architecturale : études de cas dans la réhabilitation d'immeubles. Paris : Diplôme de l'Ecole pratique des hautes études.
- Prost, R. (1992). *Conception architecturale. Une investigation méthodologique*. Paris : L'Harmattan.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Rabardel, P. & Véryllon, P. (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique. Réflexions pour un cadre d'analyse. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Ed.), *Le dessin technique. Apprentissage, utilisations, évolutions*, Paris : Hermès, pp. 209-217.
- Rabardel, P. & Weill-Fassina, A. (1992/93). Fonctionnalité et compétences : dans la mise en œuvre de systèmes graphiques techniques. *Intellectica*, **15**, 215-240.

- Schön, D.A. (1983). *The reflective practitioner. How professionals think in action*. Aldershot (G-B) : Arena, 1996, ré-édition du livre de 1983 chez Basic Books.
- Schön, D.A. & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design studies*, **13**, n°2, 136-156.
- Untersteller, L.P. (1994). *Croquis perspectifs à main levée*. Paris : Ministère de l'équipement, des transports et du tourisme, rapport final pour le Bureau de la recherche architecturale.
- Vérillon, P. (1996). Approches psychologiques et didactiques en technologie : l'exemple du dessin technique. *ASTER* (Revue du département « Didactique des disciplines » de l'INRP), **22**, 127-147.
- Weill-Fassina, A. (1973). La lecture du dessin industriel : perspectives d'étude. *Le travail humain*, **36**, n° 1, 121-140.
- Weill-Fassina, A. (1979). Présentation spatiale des données de travail et traitement des informations : points de vue et hypothèses. *Psychologie française*, **24**, n° 3-4, 205-227.
- Weill-Fassina, A. (1988). Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphismes techniques. *Bulletin de psychologie*, **XLI**, **386**, 645-653.
- Zeitoun, J. (1977) *Trames planes. Introduction à une étude architecturale des trames*. Paris : Dunod.





## A→B

Alain BONARDI <sup>1</sup>, Francis ROUSSEAU <sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Université de Paris IV-Sorbonne*  
alain.bonardi@wanadoo.fr

*<sup>2</sup>Université de Reims*  
francis.rousseau@univ-reims.fr

### Résumé

Nous proposons ici une analyse de la représentation synoptique A→B, montrant comment elle rend compte des situations éprouvées, et les relie selon une logique de possible non encore réalisé, à l'exclusion de toute approche du temps au sens de Bergson. Après avoir précisé notre conception de l'éprouvé, nous nous intéressons au déploiement de la représentation A→B en musique, que ce soit dans des formes classiques comme la sonate ou plus récentes comme les opéras virtuels interactifs (OVI).

MOTS-CLES : représentation synoptique, éprouvé, musique, virtualité

### 1. Que nous dit A->B ?

A→B. Trois éléments et le tour est joué.

Examinons ce que nous venons d'écrire. Si nous nous plaçons dans un espace mathématique « suffisant », que volontairement nous ne précisons pas ici, nous lisons :

- deux « variables » A et B, qui s'appliquent à désigner deux « situations », ce mot étant pris dans un sens très large. Notons déjà que ce geste qui isole des situations est l'étape préliminaire obligée à toutes les tentatives de description ou de prescription de ces dernières. Cette remarque sera développée dans le paragraphe suivant.

- une sorte de « vecteur »  $\rightarrow$ , privé de sa direction et de sa norme<sup>1</sup>, dont seul le sens importe, comme une mesure algébrique que l'on aurait normée, afin d'obtenir deux valeurs, 1 ou -1. Observons que cet élément nous ouvre d'emblée une appréhension spatiale et non temporelle des phénomènes. Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin.

Nous serions plutôt jusqu'ici du côté de l'algèbre. En revanche, si nous lisons l'entité  $A \rightarrow B$  en tant qu'unité de raisonnement, alors nous basculons du côté de l'implication logique. Nous qualifions alors  $A \rightarrow B$  de représentation logique. Enfin, ce formalisme a une troisième interprétation mathématique, qui est fonctionnelle, la flèche associant à un élément son image sous la forme :  $A \rightarrow B = f(A)$ .

Mais que nous dit  $A \rightarrow B$  ? Comment cette représentation synoptique est-elle utilisée et perçue en dehors du champ des mathématiques ? Elle semble se donner sous deux formes.

Elle existe d'une part sous forme textuelle, par exemple lorsqu'elle désigne l'expéditeur (A) et le destinataire (B) d'un document.  $A \rightarrow B$  suggère que A possédait quelque chose avant B, que désormais il accepte de lui communiquer. Par là, A se met en scène comme « passeur d'information », la représentation logique induit une notion temporelle, à savoir que A était bien avant B. De plus, cette représentation sert à « tracer » une chaîne de lecteurs successifs. A écrit un document, supposé rendre compte d'un éprouvé, le passe à B, qui lit, annote et passe à C, qui lit, annote et... La représentation textuelle  $A \rightarrow B \rightarrow C$  laisse donc croire à la possibilité de raffiner un éprouvé initial indéfiniment.

D'autre part elle apparaît sous la forme de l'implication logique, qui suggère que A est la cause de B. Ce dispositif témoigne d'une grande hardiesse, puisqu'il saisit d'un seul tenant effets et causes, laissant croire qu'ils sont également présents dans une situation. La flèche entre A et B, flèche du temps et/ou flèche causale, est, comme l'a souligné Bergson [Bergson 1938] immobile, considérant que B est déjà présent sous la forme de possible dans A, donc que rien ne change, c'est-à-dire que le temps qui

---

<sup>1</sup> rappelons qu'à un vecteur sont traditionnellement associés une direction, un sens et une norme.

est « ce qui fait que tout se fait » [Bergson 1938] n'intervient pas ici. En créant une filiation du domaine du possible entre A et B, cette représentation logique nous ramène à la problématique d'une relation d'ordre<sup>2</sup> entre éprouvés telle que Bergson la posait [Bergson 1927] : un éprouvé peut-il en contenir en autre ? peut-on parler d'inclusions d'éprouvés ? Si Bergson répond par la négative, l'utilisation la plus répandue de  $A \rightarrow B$  semble montrer l'acceptation implicite d'une telle relation d'ordre. Les deux formes de  $A \rightarrow B$  se rejoignent d'ailleurs ici, la forme textuelle dans ce qu'elle suppose d'accumulation de connaissance et de raffinements itératifs de la part des lecteurs successifs et la forme synoptique qui tient ensemble causes et effets, supposant l'inclusion des seconds dans les premières.

Il apparaît que le formalisme  $A \rightarrow B$  peut définir une relation d'ordre. Or toute relation d'ordre possède un certain nombre de propriétés dont deux semblent fondamentales dans la compréhension des représentations logiques, à savoir l'anti-symétrie et la transitivité<sup>3</sup>. Paul Jorion [Jorion 1996] montre que ces deux propriétés, impulsées de manière décisive par la Grèce antique, ont permis de façonner la pensée moderne contemporaine et son corrélat scientifique.

Reprenons le cas de l'anti-symétrie ; la langue pose selon Jorion [Jorion 1990] deux types de relations entre signifiants :

- soit une relation symétrique, d'équivalence, s'exprimant souvent à l'aide du verbe « avoir ». Par exemple, la proposition « le maître a un chien » est équivalente à la proposition « le chien a un maître ».
- soit une relation anti-symétrique, se donnant souvent sous la forme du verbe « être ». Ainsi, la proposition « le lion est un mammifère » n'est-elle pas équivalente à la proposition « le mammifère est un lion ».

---

<sup>2</sup> une relation d'ordre sur un ensemble est une relation visant à comparer deux à deux les éléments d'un ensemble.

<sup>3</sup> une relation d'ordre sur un ensemble possède trois propriétés : la réflexivité (tout élément est inférieur ou égal à lui-même), la transitivité (si l'élément a est inférieur ou égal à l'élément b, et si l'élément b est inférieur ou égal à l'élément c, alors a est inférieur ou égal à c) et l'anti-symétrie (si a est inférieur ou égal à b, et si b est inférieur ou égal à a, alors a est nécessairement égal à b ; ce qui veut dire que si a est différent de b et si a et b sont comparables, il faut choisir entre « a inférieur ou égal à b » et « b inférieur ou égal à a »).

Jorion interprète le travail de consolidation de la pensée entrepris par les Grecs puis la Scolastique médiévale comme la mise en valeur quasi exclusive des prédicats anti-symétriques, au point qu'un énoncé symétrique ne peut plus apparaître comme tel aujourd'hui et est souvent faussé par une lecture « anti-symétrique ». L'exemple donnée par Jorion [Jorion 1996] est celui des Nuer du Soudan qui considèrent que « les jumeaux sont des oiseaux », proposition que nous interprétons de manière anti-symétrique parce que nous y voyons une inclusion de l'ensemble des jumeaux dans celui des oiseaux, alors que la proposition « les oiseaux sont des jumeaux » est jugée également valide par cette ethnie.

Un autre point souligné par Jorion est la puissance de déploiement autorisée par la propriété de transitivité, permettant la constitution de chaînes logiques  $A \rightarrow B \rightarrow C$  etc. Se pose toutefois le problème de l'évaluation de leur vérité : quand peut-on dire qu'une telle chaîne est vraie ? Deux principes s'affrontent ici :

- celui de la non-contradiction globale (est vrai ce qui ne peut être contredit, c'est-à-dire ici le fait que personne ne puisse proposer une autre chaîne logique partant de A et aboutissant par exemple à la négation de C).
- celui de Platon de nécessaire vérité de chacun des maillons de la proposition (dans la chaîne  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , on doit vérifier la vérité de  $A \rightarrow B$  et celle de  $B \rightarrow C$ ).

Ajoutons enfin que la propriété d'antisymétrie si étroitement associée à l'idée de possible sous-jacent dans  $A \rightarrow B$  possède une forte stabilité qui permet de mieux appréhender son épanouissement à travers les siècles. On pourrait la qualifier d'état conceptuel stable. Reprenons un exemple donné par Bergson [Bergson 1938] sur la couleur orangé. Il est aisé d'admettre la proposition A : « jaune+rouge  $\rightarrow$  orangé ». Elle signifie selon Bergson que, comme nous connaissons le jaune et le rouge, nous pouvons dire que l'orangé est un composé de jaune et de rouge. Mais introduisons l'assertion O : « supposons que l'éprouvé d'orangé n'ai été précédé d'aucun éprouvé de jaune ni de rouge ». O met A en danger, puisqu'elle permet de supposer que l'orangé est une sensation simple. Toutefois, ce qui sauve A est l'hypothèse B selon laquelle le jaune et le rouge existaient comme possibles non encore réalisés. Cette hypothèse B, très ingénieuse, rend

compte de manière nouvelle de O (s'il n'y avait pas eu d'éprouvé antérieur du jaune ni du rouge, c'est parce qu'ils étaient encore non réalisés), de telle sorte que O étaye A plutôt qu'elle ne la contredit. Ceci met à jour un subtil mécanisme d'absorptions de contradictions logiques tel que les décrit Feyerabend [Feyerabend 1999], à savoir comment un système propositionnel s'appuie sur des éléments qui le contredisent pour étendre son champ et être capable d'absorber ces contradictions.

## **2- Axiomatique de l'éprouvé d'une situation**

Notre propos antérieur a plusieurs fois effleuré les termes de « situation » et d' « éprouvé », différant tout développement à leur sujet pour des raisons de clarté de l'exposé. Il devient nécessaire ici de préciser les axiomes que nous posons, en les confrontant à ce que nous venons d'énoncer sur la représentation  $A \rightarrow B$ , sur des exemples choisis dans le domaine de la perception musicale, introduisant ainsi le sujet de l'exposé du paragraphe suivant.

Notre axiome initial sera que l'éprouvé d'une situation est toujours et définitivement singulier. Pour satisfaisante que soit la désignation de l'éprouvé lorsque par exemple nous lui attribuons une lettre comme « A », le postulat de départ tempère notre ardeur à formaliser, car il signifie tout d'abord que la description n'épuise pas le phénomène. Ainsi, ce que nous disons d'un concert a peu de choses à voir avec ce que nous avons ressenti. Il ne s'agit pas d'une différence d'intensité entre les deux, il s'agit tout simplement de deux choses différentes. Remarquons incidemment que cette question de l'intensité rejoint celle posée en amont au sujet de la relation d'ordre implicite qui existerait entre éprouvés [Bergson 1927] : dans cette logique, un éprouvé « plus fort » pourrait prétendre inclure un éprouvé « plus faible ». Notre axiome écarte radicalement cette hypothèse : s'il y a deux éprouvés, ils sont tout simplement irréductiblement singuliers et ne sauraient être comparés. De plus, la prescription ne désigne pas le phénomène. Les chefs d'orchestre le savent bien : certains racontent des histoires aux musiciens, en métaphorisant les partitions (« ce que vous jouez est le motif du Mal ») ou en adoptant des stratégies d'imitation fondées sur le principe « faites comme moi » (suivi de la baguette, des mains, et même pour certains chefs anciens instrumentistes démonstration

sur l'instrument-même, etc). Ces stratégies ne sauraient convoquer un éprouvé antérieur, mais dégagent encore des éprouvés singuliers.

Cette singularité de l'éprouvé doit continuer de s'affirmer face à des situations que l'on pourrait qualifier de « multiples ». Cette multiplicité peut se donner dans le temps : ainsi, l'exemple évoqué ci-dessus de la chaîne textuelle  $A \rightarrow B \rightarrow C$  des lecteurs-annotateurs successifs d'un document pourrait suggérer que les éprouvés des prédécesseurs dans la chaîne sont réactivés par les lecteurs ultérieurs : A serait supposé décrire son éprouvé que l'on appellera ici EA, B réactiverait EA et de plus y ajouterait son éprouvé EB, C reprendrait EA et EB en ajoutant EC, et ainsi de suite. Mais cette hypothèse ne prend en compte ni l'impossibilité à décrire un éprouvé, ni celle d'une répétition d'éprouvés. Le document initial n'est pas l'éprouvé de A, de même que le document final n'est pas la réunion des trois éprouvés EA, EB et EC. Dans l'ordre temporel (Deleuze 1975), il n'y a pas de répétition d'éprouvés, mais seulement l'éprouvé d'une répétition. Ajoutons que selon une dimension « verticale » au sens de la musique, celle de la simultanéité, c'est-à-dire ce que l'on désigne par polysémie, l'éprouvé d'une ambiguïté n'ouvre absolument pas la voie à l'idée d'un éprouvé ambigu.

### **3- La représentation $A \rightarrow B$ en musique**

Pourquoi cette incursion en musique ? C'est que la musique semble de prime abord introduire une dimension temporelle dont nous avons vu que Bergson [Bergson 1938] montrait qu'elle disparaît dans l'acception de  $A \rightarrow B$  comme B possible déjà présent dans A. La représentation synoptique  $A \rightarrow B$  est fréquemment utilisée par les musicologues pour décrire une œuvre musicale, la flèche du formalisme retrouvant ici la flèche du temps. Elle signifie que l'on repère une entité A suivie dans le temps d'une entité B isolée comme telle. Par exemple, les manuels d'analyse musicale nous indiquent que la forme rondo-sonate correspond à  $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A$ , où A, B et C désignent des sections de l'œuvre. La musique semble toutefois introduire une certaine symétrie, qui en première approximation paraît rejoindre ce que Jorion énonçait sur les relations symétriques. Si nous considérons la forme-sonate, apparue dans la musique instrumentale

dans la deuxième moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle et codifiée vers 1840, nous constatons qu'elle est fondée sur un modèle de forme ternaire  $A \rightarrow B \rightarrow A'$ . Nous avons classiquement une exposition des idées (A), un développement ou travail thématique sur ces idées (B) puis une réexposition (A') reprenant en les transformant les idées initiales. Il y a donc  $A \rightarrow B$  et  $B \rightarrow A'$ , donc une symétrie, presque une équivalence aussi bien telle que l'évoquait Jorion qu'au sens mathématique. Deux remarques viennent cependant moduler cette observation :

- Il est étonnant de remarquer que le goût pour la symétrie de l'époque classique s'attribue souvent comme origine la soi-disant symétrie de la pensée antique, ignorant le plus souvent la formidable poussée du geste anti-symétrique à l'époque de l'âge d'or de la Grèce.
- La forme-sonate ne se donne en fait pas tant dans la double implication  $A \rightarrow B$  et  $B \rightarrow A'$  que dans une seule implication entre les deux, à savoir  $(A \rightarrow B) \rightarrow (B \rightarrow A')$ . Qu'est-ce à dire ? Nous sommes tout simplement en train de constater que  $A \rightarrow B$  ne prend son sens que parce qu'il est suivi de  $B \rightarrow A'$ , et ce sens ne se révèle qu'a posteriori, après avoir entendu A, B et A'. Il est impossible que  $A \rightarrow B$  suggère par lui-même  $B \rightarrow A'$ . Nous retombons ici sur l'argument de l'impossibilité à prescrire un éprouvé, exposé dans le paragraphe précédent.

Mais que venons-nous de faire en donnant ainsi la structure d'une forme rondo-sonate ou d'une forme-sonate ? Nous avons tout simplement, encore une fois, évacué le temps, non pas la chronologie, qui est clairement annoncée (on joue d'abord A, puis B, puis A', etc), mais la durée au sens bergsonien, qui signifie la transformation des choses. C'est bien ce que souligne Adorno [Adorno 1995] : « cette évidence de bon sens qui veut que la musique soit un art du temps, qu'elle s'écoule dans le temps -cette évidence dit aussi, en un double sens, que le temps n'est nullement évident pour elle, qu'il est pour elle un problème. La musique doit produire des relations temporelles entre les complexes qui la constituent, elle doit justifier leur rapport dans le temps, faire leur synthèse par le temps. Elle doit d'autre part venir à bout du temps lui-même, ne pas s'y perdre; elle doit s'opposer à la vacuité de son flux ».

Nous venons de voir que la représentation A→B en musique épouse la dyade possible/réel, mais Adorno nous invite à creuser son rapport à une autre dyade qui lui est souvent associée, celle du virtuel opposé à l'actuel. Il s'agit bien d'introduire comme le disait Bergson [Bergson 1938] le véritable travail du temps porteur de nécessaires transformations.

Prenons comme exemple l'objet principal de notre recherche, à savoir l'opéra virtuel interactif, que nous désignerons ici par son acronyme OVI : il s'agit d'une œuvre lyrique se déroulant sur micro-ordinateur (monoposte, a priori pas en réseau). Selon une modalité singulière, l'auditeur, assis face à son ordinateur, est invité non pas à jouer à l'opéra, puisqu'il ne s'agit pas d'une reconstitution d'un opéra réel mais bien d'une œuvre de création, mais à jouer *avec l'opéra*. Nous travaillons actuellement à la conception et à la réalisation d'un tel opéra, dont le titre est *Virtualis* [Bonardi & Rousseaux 1999]. Contrairement aux recherches de Jean-Pierre Balpe [Balpe 1996] consacrées à la génération automatique de variations sur un scénario donné dans le cadre du projet d'opéra numérique *Barbe-Bleue*, nous nous intéressons à l'OVI sous l'angle musical, c'est-à-dire à la création de ce que le compositeur Luciano Berio appelle une « action musicale » [Berio & Eco 1994] :

« entre une action musicale et un opéra, il y a des différences substantielles. L'opéra est fondé sur un mode narratif 'aristotélien' qui tend à avoir la priorité sur le développement musical. Au contraire, dans une action musicale, le processus musical conduit l'histoire ».

L'interactivité que nous recherchons s'adresse donc plutôt à la musique et à ses métaphores, quelle que soit leur forme, graphique ou textuelle.

Un opéra virtuel sur support informatique est une forme ouverte [Bayer 1987, Eco 1962]. Il ne s'agit pas d'un film se déroulant de manière linéaire, il ne s'agit pas d'un film se déroulant linéairement, des parcours multiples sont possibles. Nous ne sommes donc plus confrontés à une représentation du type A→B mais à une représentation du type A→(B<sub>1</sub> ou B<sub>2</sub> ou B<sub>3</sub> ... ou B<sub>n</sub>).



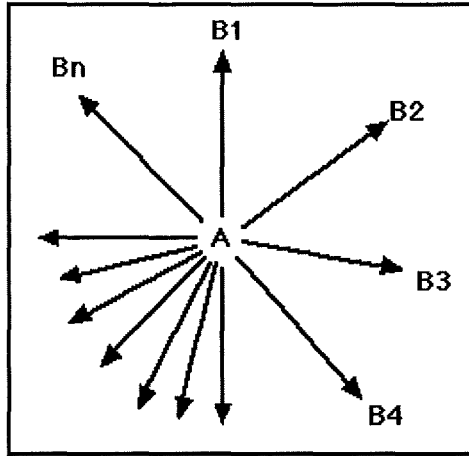


figure 1 : la représentation  $A \rightarrow (B1 \text{ ou } B2 \text{ ou } B3 \dots)$

Un fragment A pourra donner aussi bien B1, B2 ou Bn, selon les choix de l'utilisateur. Cette représentation (illustrée par la figure 1), plus encore que  $A \rightarrow B$ , laisse supposer qu'une cause et plusieurs effets de cette même cause sont simultanément présents, et pas seulement possibles. La conséquence en est que l'investissement de sens que l'on confère à chacune des flèches de l'étoile ( $A \rightarrow B1$ ,  $A \rightarrow B2$ , etc) est amoindri.

Ce qui signifie pour nous que l'OVI ne peut se contenter d'être seulement une œuvre à parcours multiples. Il ne peut seulement jouer sur les possibles. L'investissement de sens de l'utilisateur dans l'œuvre et les représentations proposées requiert par moments d'abandonner des représentations logiques rassurantes, de lâcher le filet des possibles pour laisser le temps jouer. Dans le projet *Virtualis*, nous nous sommes demandé comment dépasser ce cadre de l'œuvre ouverte au sens strict. La première possibilité consiste d'une certaine façon à dissimuler les représentations de la forme ouverte. Nous avons ainsi renoncé à toute métaphore cartographique indiquant les chemins dans l'œuvre. Réputées aider l'utilisateur/spectateur à s'orienter dans son parcours, ces systèmes de visualisation de la forme ne font que mettre à plat un réseau de multiples variantes banalisées à l'image d'un plan de ville. De plus, nous avons supprimé toute boucle d'attente dans lesquelles l'utilisateur est sommé par

l'ordinateur d'exprimer un choix. Ces boucles mettent trop en valeur les représentations synoptiques de la forme ouverte, et renforcent le nivellement des choix.

Mais nous pouvons aller plus loin, en altérant et en dégradant les représentations synoptiques du type  $A \rightarrow B$ . Au-delà du refus de toute carte des possibles, nous avons posé que certains chemins ne seraient pas pré-établis mais se révéleraient dans le cours de l'œuvre, en constituant dynamiquement les termes de la représentation  $A \rightarrow (B_1 \text{ ou } B_2 \dots \text{ ou } B_n)$  au moment de l'emprunter. Le compositeur André Boucourechliev utilise ce genre de dispositif dans l'œuvre *Archipels 4* pour piano (1970) [Bayer 1987, Boucourechliev 1961] : sur une grande feuille sont représentés 14 fragments ou îlots, que l'on peut jouer dans n'importe quel ordre. Jusque là, rien de très nouveau, si ce n'est qu'en regardant de plus près ces fragments, il apparaît qu'ils ne sont pas constitués, mais à créer dynamiquement. Ainsi le paysage de ces archipels naît-il sous les doigts du pianiste qui les arpente.

Toutes ces démarches ne remettent pas fondamentalement en cause le possible, ne basculant jamais du côté de la dyade virtuel/actuel souhaitée par Adorno. Mais que pourrait représenter ce mouvement de virtualisation/actualisation non pas tant dans la conception ou la composition de notre opéra mais bien plus au niveau de sa perception par le spectateur/auditeur ? S'il s'agit bien d'introduire comme le disait Bergson [Bergson 1938] le véritable travail du temps porteur de nécessaires transformations, quelle serait sa place dans la cinématique de l'œuvre ?

La première idée consiste à le substituer à la flèche de la représentation  $A \rightarrow B$ . Elle conduit tout d'abord à poser que le travail de transformation pour passer de A à B n'a pas de durée propre, mais occupe une durée à cheval sur A et B, tout simplement car A et B s'inscrivent déjà chacun pleinement dans la durée. D'autre part elle pose la question de la nature des relations entre deux fragments d'opéra A et B. Quand peut-on dire qu'un fragment A est la virtualisation d'un autre fragment B qui en constituerait son actualisation ? A quelles conditions peut-on dire que A pose un problème dont B serait une solution ? Le développement précédent sur la forme-sonate montre la difficulté à percevoir cette virtualité : ce n'est qu'a posteriori qu'elle peut se donner, suggérant que le temps a fait son œuvre. Certes, dans l'opéra, le mécanisme aristotélicien de progression et

de continuité dans les composantes de l'action assure un mouvement de virtualisation/actualisation entre les scènes. Mais rappelons que dans *Virtualis*, nous n'utilisons plus le modèle aristotélicien, au profit de celui de l'action musicale : nous nous exposons donc à cette fragilité de perception..

Peut-on imaginer des modalités permettant de déplacer partiellement l'OVI du côté de la virtualité ? Il semble que le système des variations en musique puisse nous fournir un autre modèle. L'idée est qu'il existe un problème initial, que l'on appellera par exemple P. Nous pouvons imaginer que ce problème P, paramétré par l'historique toujours mouvant des interactions antérieures de l'utilisateur avec l'œuvre, ait plusieurs solutions, non prévisibles à l'avance, car dépendant du passé. Appelons ces solutions A1, A2, ..., An. Alors l'enchaînement A1→A2...→An possède les qualités d'ouverture et de mobilité dont nous avons besoin dans l'OVI, comme le montre le schéma suivant :

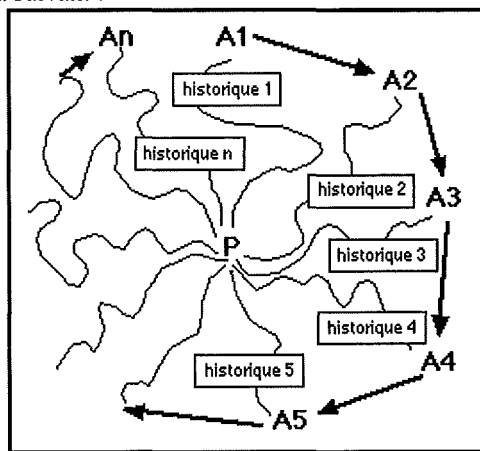


figure 2 : actualisations multiples d'un problème initial

Mais se pose encore le problème de l'identification par le joueur du mécanisme de virtualisation/actualisation. Une solution consiste à informer simplement du mécanisme d'actualisation de P. Par exemple, dans *Virtualis*, le joueur est averti qu'il existe peut-être un Récit. Certains intermèdes entre les tableaux sont constitués par ce que nous avons appelé les monologues du Récit, c'est-à-dire des actualisations du Récit sous

formes de tirades chantées dépendant de l'historique de l'interaction, et confiées à l'un ou l'autre des personnages.

## Conclusion

Nous avons étudié la représentation logique  $A \rightarrow B$  et la relation d'anti-symétrie qui lui est attachée, montrant comment elle s'inscrit dans la dyade possible/réel selon un mécanisme d'absorption des contradictions logiques. Dans le domaine de la musique, cette représentation ne rend pas compte du travail du temps, mais seulement de la structure formelle. Dans notre recherche sur les nouveaux opéras virtuels interactifs, nous tentons de dépasser le simple jeu des possibles a priori suggéré par la représentation  $A \rightarrow B$ , en mettant en avant des processus de virtualisation/actualisation, plus fragiles, car leur perception est incertaine.

## Remerciements

à Philippe Masse, professeur de Mathématiques en Classes Préparatoires.

## Références

- [Adorno 1995] Adorno, T.W., *Sur quelques relations entre musique et peinture*, Paris : La caserne, 1995
- [Balpe 1996] Balpe, J.-P., Lelu, A., Papy, F., Saleh, I., *Techniques avancées pour l'hypertexte*, Paris, Hermès, 1996
- [Bergson 1927] Bergson, H., *Essai sur les données immédiates de la conscience*, Paris : Presses Universitaires de France, 1927
- [Bergson 1938] Bergson, H., *La pensée et le mouvant*, Paris : Presses Universitaires de France, 1938
- [Berio & Eco 1994] Berio, L., Eco, U., *Eco in ascolto - Entretien avec Luciano Berio*, in *Musique : Texte, les cahiers de l'Ircam - Recherche et Musique n°6*, Paris, Ircam, 1994
- [Bonardi & Rousseaux 1999] Bonardi, A., Rousseaux, F., *How Do Interactive Virtual Operas Shift Relationships between Music, Text and Image ?*, Actes du " Eighth International Workshop on the Cognitive Science of Natural Language Processing (CSNLP-8) ", Université Nationale d'Irlande, Galway, 1999
- [Deleuze 1975] Deleuze, G., *Différence et répétition*, Paris : Presses

- Universitaires de France, 1975
- [Feyerabend 1999] Feyerabend, P., *Une connaissance sans fondements*, Paris : Dianoïa, 1999
- [Jorion 1990] Jorion, P., *Principes des systèmes intelligents*, Paris : Masson, 1990
- [Jorion 1996] Jorion, P., *Le miracle grec : pouvoirs de la pensée anti-symétrique*, in *Penser l'esprit : des sciences de la cognition à une philosophie cognitive*, Presses Universitaires de Grenoble, 1996
- [Rosen 1978] Rosen, C., *Le style classique : Haydn, Mozart, Beethoven*, Paris : Gallimard, 1978
- [Rousseaux & Bonardi 1998] Rousseaux, F., Bonardi, A., *Esquisse d'une phénoménologie de l'informatique multimédia*, communication faite au GDR-PRC I3 Documents Multimédia, Grenoble, mai 1998



# Le changement d'échelle en mécanique des fluides.

NATHALIE COUSIN-RITTEMARD

*Email: nathalie.rittemard@wanadoo.fr*

## 1. Introduction

Nous nous intéressons ici à l'un des aspects évoqués dans la présentation du thème **Représentations graphiques dans les systèmes complexes naturels et artificiels** : un croquis est-il aussi informant une fois terminé que pendant son élaboration ?

Les représentations graphiques ne sont pas courantes en mécanique des fluides. Ce sont les formules mathématiques qui sont au fondement de l'apprentissage des concepts de la discipline. Nous avons tenté de donner des représentations graphiques pour mieux exprimer les difficultés de conceptualisation et de modélisation dans des problèmes complexes.

Dans un premier temps, nous donnerons une définition schématique de la signification de l'attribut complexe. Cela nous permettra d'introduire le cas particulier d'écoulements complexes de fluide dans une boîte cylindrique en rotation, couramment appelés écoulements inter-disques. Il s'agit de l'écoulement modèle qui permet d'aborder les aspects théoriques de problèmes pratiques tels que la circulation de l'huile dans les paliers d'un moteur, par exemple. Ce cadre général nous permettra d'expliquer pourquoi nous avons tenté de représenter schématiquement ce qui se passe dans les cas simples (les solutions stationnaires) pour pouvoir traiter ensuite des cas plus complexes (les solutions instationnaires).

Dans un deuxième temps, nous discuterons les schémas que nous avons utilisés comme mode de représentation mais aussi comme démarche d'investigation.

L'utilisation des schémas dans l'élaboration d'un modèle traitant d'un ordre global et de phénomènes locaux<sup>1</sup> est abordée aussi dans la présentation de Nadine LUCAS mais dans un domaine tout différent, celui de la syntaxe (Voir aussi l'article de Nadine Lucas dans ce même recueil). Nous espérons ainsi esquisser une problématique à deux voix, comme préliminaire à une discussion plus générale.

---

<sup>1</sup> Citation: marge à gauche, 1 cm, marge à droite, 1 cm.

## 2. L'attribut "complexe" en dynamique

Il n'y a qu'une minorité de situations de dynamique des fluides pour lesquelles une solution analytique des équations du mouvement, déterminant exactement un écoulement, peut être calculée. Les mathématiques nécessaires à la résolution de ces équations souvent restent à inventer. Et même quand une solution analytique existe, elle est rarement unique du fait de la non linéarité de ces équations. Donc, une grande partie de la mécanique des fluides se consacre au développement des outils et des procédés expérimentaux et théoriques qui permettraient d'atteindre une description de ce qui ne peut être - pour l'instant - calculé rigoureusement.

Cela n'est d'ailleurs pas spécifique à la mécanique des fluides mais est caractéristique de toutes les disciplines qui ont à résoudre un problème de dynamique. La Figure 1, nous permet de représenter schématiquement une idée intuitive de ce que l'on peut entendre par degré de complexité d'un phénomène. L'axe horizontal représente le nombre de degrés de liberté du problème : soit le nombre d'inconnues. L'axe vertical indique le degré de non-linéarité des équations modélisant la dynamique étudiée : soit la complexité des règles du jeu.

Les problèmes linéaires sont les plus simples car on peut leur appliquer le principe de superposition. Ces systèmes peuvent être décomposés en la somme de sous-systèmes plus simples et la solution du système complet sera, de part sa linéarité, la superposition des solutions des sous-systèmes. Il vient alors que, même pour des dynamiques linéaires possédant un très grand nombre de degrés de liberté, on peut décomposer ces problèmes complexes en la somme de sous-problèmes plus simples (décomposition en modes normaux, analyse de Fourier, analyse de Laplace). Mais les systèmes naturels sont le plus souvent non-linéaires. Pour ces cas, le principe de superposition tombe et, à l'heure actuelle, seule une résolution par simulation numérique est possible, dans la plupart des cas. On comprend mieux que lorsque l'on conjugue un nombre de degrés de liberté très important avec une nature non-linéaire pour un même problème, on a alors à décrire une dynamique qui est extrêmement complexe au niveau spatial et au niveau temporel. Sur la Figure 1, on sépare par une frontière symbolique les problèmes modérément complexes bien explorés en haut à gauche, des problèmes complexes qui sont encore à peine effleurés en bas à droite. Les équations de Navier-Stokes, utilisées



comme modèle en mécanique des fluides, sont un exemple de ce type de problèmes complexes.

Néanmoins, on peut se demander si ce schéma n'occulte pas une question importante : la complexité temporelle illustrée par les systèmes aux équations différentielles ordinaires est présentée sur le même plan que la complexité spatio-temporelle que représentent les équations aux dérivées partielles du type de Navier-Stokes. D'autre part, l'influence des conditions aux limites n'est pas quantifiée. Autrement dit, il nous reste à comprendre comment s'auto-organise un écoulement dans un domaine borné où l'écoulement recircule et qui est modélisé par des équations aux dérivées partielles (problème aux conditions aux limites du point de vue spatial et aux conditions initiales au niveau temporel) par rapport aux écoulements ouverts (problème aux conditions initiales du point de vue spatial et temporel) pour lesquels une méthodologie existe<sup>ii</sup>. Jusqu'à très récemment, on pensait que la dynamique de ces deux types d'écoulements étaient très différentes. Or, nous avons mis en évidence un exemple de solution typique d'un écoulement ouvert dans une géométrie fermée<sup>iii, iv</sup>. On explique intuitivement que ceci est rendu possible parce que cet écoulement est localement à la ressemblance de ce qui se passe dans les écoulements ouverts parce que l'échelle du phénomène est très petite devant les dimensions de la géométrie bornée considérée.

Nous avons donc essayé de mieux comprendre l'influence du paramètre de confinement sur la dynamique spatio-temporelle dans le cas particulier de mécanique des fluides en cherchant à comprendre la structuration spatiale de la solution de base stationnaire.

Le matériau de base dont on dispose, dans le cas de ces écoulements complexes que l'on souhaite décrire, est la visualisation des variations spatio-temporelle des variables décrivant un écoulement de fluide : les champs de vitesse et de pression ou les champs de la fonction de courant et du tourbillon. Ces données sont issues soit de mesures faites sur un écoulement réel, soit de mesures faites sur une expérience. Dans ce dernier cas, nous considérons que ce sont des mesures d'expérience, qu'il s'agisse d'une expérimentation au sens classique ou de la simulation numérique des équations modèle dites de Navier Stokes que nous avons utilisée.

Considérons l'exemple de l'étude d'un écoulement stationnaire i.e. un écoulement dont les caractéristiques - par exemple la vitesse et la pression - ne varient pas dans le temps en chaque point du domaine. Intéressons-

nous à un écoulement dit fermé (dans un domaine borné) par opposition à un écoulement ouvert où l'écoulement est forcément simplifié du fait que l'écoulement se propage dans une direction sans recirculer. De ce fait, les écoulements ouverts sont des écoulements plans ou mono-directionnels permettant un développement spatial des structures. Les équations du mouvement sont alors dégénérées et peuvent dans certains cas être résolus analytiquement.

Une idée est alors de se servir d'écoulements ouverts géométriquement très proches de la géométrie du domaine fermé que l'on étudie et pour lesquels on peut calculer une solution analytique de type solution auto-semblable c'est-à-dire une solution qui à la particularité de se reproduire à l'identique avec changement d'échelle suivant un axe. Ne possédant pas de solution analytique pour l'écoulement fermé, on peut se représenter cet écoulement fermé comme la complexification finale d'une famille d'écoulement ouverts pour lesquels existe une solution auto-semblable. On peut alors qualifier la zone de validité de cette solution auto-semblable de l'écoulement ouvert pour l'écoulement fermé. En d'autres termes, on cherche une description morphologique locale de l'écoulement mais qui n'est évidemment plus la description valable au niveau global. Il s'agit d'une recherche d'invariant structurel local sur la base des solutions analytiques connues d'écoulements ouverts très proches. Néanmoins cette analyse globale, moyennant un changement d'échelle, nous permet de décrire la structure globale.

## **2. Une utilisation des schémas en mécanique des fluides**

### *2.1. Les schémas de représentation des paramètres*

Plus particulièrement, nous nous sommes intéressé à l'écoulement engendré par la rotation différentielle dans une cavité constituée de deux disques et fermée par une enveloppe extérieure (Voir Figure 2). Nous avons supposé que cet écoulement était axi-symétrique c'est-à-dire invariant par rotation.

La Figure 2 représente schématiquement la "boîte" ou cavité inter-disques en rotation, avec les différentes grandeurs caractéristiques du problème physique qui permettront d'adimensionnaliser la formulation mathématique du problème. Cette concrétisation préalable de la formule

permet de situer le problème des rapports de forme. Il faut imaginer ici une sorte de boîte de camembert, dont le fond est un disque en rotation (le rotor), tandis que le couvercle est constitué d'un disque qui ne tourne pas (le stator) et de l'enveloppe extérieure qui lui est attachée. Dans cette boîte étanche, il faut imaginer un fluide. Quand le rotor tourne, le contenu liquide tourne aussi. En effet, de part la viscosité du fluide, une mince couche de fluide est entraînée en rotation par le rotor dans son voisinage. Une particule fluide est ainsi expulsée en spiralant vers le bandeau périphérique, sous l'action conjuguée de la force centrifuge et de la force de Coriolis. Puis cette particule fluide, centrifugée dans la couche limite du rotor, remonte en spiralant le long de l'enveloppe grâce à son inertie et est chassée vers le cœur de la cavité, forçant ainsi l'installation d'une couche limite sur le stator. L'alimentation de la couche limite du rotor est assurée par pompage d'Ekman : les particules fluides du cœur de la cavité sont comme happées par cette mince couche de fluide centrifugé.

Il existe plusieurs sortes d'écoulements de fluides. On s'intéresse à la solution la plus simple : l'écoulement stationnaire. On retiendra seulement pour la suite de l'exposé que l'écoulement est caractérisé par deux grandeurs physiques caractéristiques de la géométrie de la cavité : l'espacement inter-disques  $H$  (la hauteur de la boîte) et le rayon de la boîte cylindrique  $R_2$ . Ces deux quantités peuvent se réduire à un seul paramètre sans dimension caractérisant le rapport d'allongement de la cavité : le rapport de forme  $a=R_2/H$ . En effet, du point de vue de la dynamique, nous sommes seulement intéressé de savoir si la boîte est  $x$  fois plus large que haute.

Par ailleurs, la Figure 2 fait apparaître la simplification que l'on a apporté au problème; on considère que l'écoulement est axi-symétrique c'est-à-dire que les variables sont invariantes par rotation. On s'intéresse désormais à une "tranche" de l'écoulement, dite domaine de simulation. On notera que la représentation graphique amène à poser explicitement une hypothèse de travail et fait donc coexister sur le même dessin l'abstraction mathématique avec la réalité physique.

## *2.2. Les schémas de représentation des résultats de calcul*

Les résultats de calcul sont présentés dans les publications de mécanique des fluides sous forme de "photos fixes", pour un rapport de forme, un ensemble de mesures. Les représentations de la fonction de

courant par des courbes d'isovaleurs y sont privilégiées. Ces lignes étant confondues avec la trajectoire des particules fluides pour une solution stationnaire; elles représentent localement la direction que prendra une particule qui se trouve en ce point.

Le premier pas est donc la détermination de l'invariant morphologique local. En utilisant comme fonction de base la solution auto-semblable de l'écoulement ouvert géométriquement proche mais qui a la propriété de ne pas être fermé et donc de ne pas avoir à gérer l'auto-organisation de l'écoulement fermé due à la présence de la recirculation. Pour cette étape, le schéma n'est pas nécessaire. On calcule la solution auto-semblable et on choisit de l'utiliser comme fonction de base après comparaison qualitative avec la forme des profils de vitesse aux profils de vitesse sur la majeure partie de la boîte. Plus précisément, il s'agit ici de presque toute la boîte sauf la zone de recirculation de l'écoulement près de l'enveloppe.

Le deuxième pas est de déterminer s'il y a une zone de l'écoulement fermé pour laquelle la solution auto-semblable est valide. Autrement dit une zone pour laquelle la recirculation engendrée par la fermeture de l'écoulement équivalent ouvert n'a pas d'influence sur l'auto-organisation de l'écoulement fermé. Là encore, un schéma n'est pas nécessaire. Seule la comparaison de forme des profils des solutions en une position de la direction principale de "l'écoulement-équivalent" ouvert est nécessaire. Cette zone a été identifiée près de l'axe de rotation, pour toute position radiale  $r < H$ .

Le troisième pas est, une fois cette détermination faite, d'identifier s'il y a des zones de l'écoulement pour lesquelles la solution semblable est localement satisfaisante et de déterminer la loi d'influence de la recirculation à l'échelle de cette zone. Pour cette étape il est utile de se servir de dispositions différentes afin de localiser visuellement les zones morphologiquement similaires (Voir Figure 3) et de déterminer des zones où l'on peut établir des lois simples de solution décomposée sur l'analyse locale.

La Figure 3 illustre ce premier effort de synthèse pour présenter une série de résultats, dans le but de montrer comment le rapport de forme  $a = R_2/H$  commande la structuration de l'écoulement. On superpose les boîtes de différents rapports de forme et on cherche à identifier des zones dans lesquelles l'écoulement à une structure similaire quelque soit le rapport de forme. On met en valeur l'existence d'une partie caractéristique dans la distribution des courbes d'isovaleurs de la fonction de courant en

utilisant des dispositions différentes (a) et (b). En effet, si on abandonne la disposition classique (a) où les boîtes sont superposées en alignant à gauche, sur l'axe de rotation, au profit d'un alignement à droite, sur l'enveloppe extérieure (b), alors on met en valeur une zone située près de l'enveloppe que l'on peut schématiser assez grossièrement sous la forme d'une ellipse, et qui reste invariante en position et en taille quel que soit le rapport de forme de la boîte. On appelle cette zone la zone de recirculation.

Au contraire, l'autre partie, de taille "variable", appelée zone relative, est inchangée si ce n'est par une sorte "d'étirement à gauche". On découvre ainsi, dans la zone relative, une loi de dilatation, en fonction du rapport de forme que nous avons déterminé et explicité sur le schéma d'interprétation de la Figure 4.

### *2.3. Les schémas d'interprétation*

Pour interpréter plus globalement les phénomènes, une nouvelle division de l'espace a été faite (Figure 4). On partitionne maintenant le domaine de simulation en trois parties inégales, la zone de similitude le long de l'axe, la zone d'homothétie et la zone de recirculation le long du bord externe de la cavité.

Le domaine de simulation est désormais divisé en carrés, qui vont servir d'unité de compte, avec un rapport d'égalité entre l'espacement interdusques ( $H$ , la hauteur de la boîte, qui est invariante, donc une constante de calcul) et la largeur des cases représentées. Les zones périphériques de l'écoulement dans le domaine de simulation sont colorisées.

L'introduction de la zone de recirculation, de largeur égale à la largeur de la zone de similitude, symétrise la figure et permet de se concentrer sur la zone d'homothétie. On aboutit ainsi à une description plus abstraite, premier pas dans la décomposition de la structuration globale de l'écoulement.

On s'aperçoit que ce schéma est maintenant calé à gauche, par rapport à l'axe de rotation, symbolisé par une flèche. Cette disposition permet de signaler un changement de perspective. Ce ne sont plus les courbes d'isovaleurs qui focalisent l'attention, mais le "choix" de la valeur  $H$  comme constante.

Nous avons finalement établi un schéma de la structuration de l'écoulement (voir Figure 4) où il y a coexistence de :

- la définition d'une unité d'échelle (longueur de la zone de validité de la solution semblable) où la solution autosemblable, prise comme base de l'analyse, est valable.

- de deux autres échelles spatiales définies par la largeur de deux zones : la zone de pseudo validité de la solution autosemblable (où l'influence de la fermeture n'est pas structurelle/fonctionnelle mais auto-organisante) et la zone de fermeture où la recirculation s'installe et donne spatialement le "forçage" que l'écoulement subit (et qu'il gère du point de vue de son auto-organisation dans la zone de pseudo-similitude : zone d'influence de la recirculation).

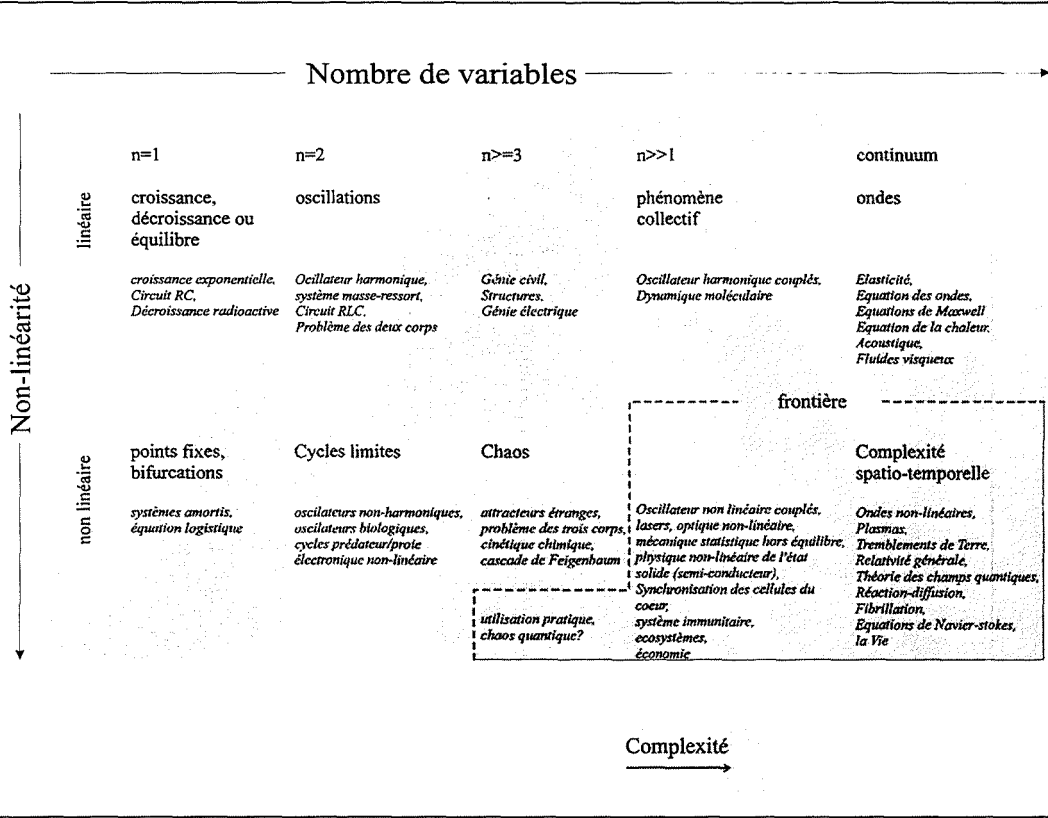
On se sert d'un invariant fonctionnel : la solution autosemblable du système d'équations dégénérées de l'écoulement ouvert qui ne recircule pas. Ceci n'est valable que si la boîte fermée a la propriété d'être "assez allongée" géométriquement (notion qui reste d'ailleurs à définir). Ce qui signifie que l'écoulement fermé est, localement, structurellement proche de la solution écoulement canonique ouvert mais qu'il est, globalement, très différent car multi-échelle. Ceci montre qu'on est loin du calcul d'une solution exacte mais bien dans un mode d'investigation "qui cherche" et qui n'ose en général pas s'avouer.

## **2. Conclusion**

La structuration globale de l'écoulement stationnaire a laissé en suspens un certain nombre de questions et notamment la principale : quelle est la solution analytique interdigue fermé? Cependant, pour traiter complètement le problème, il faudrait sans doute remonter davantage dans la longue chaîne des raisonnements conduisant à associer des formules mathématiques et des interprétations valides en physique, en accord avec des données mesurables.

Ce n'est pas ici notre propos. Nous avons simplement illustré comment, en voulant dessiner le problème, nous avons rencontré des implicites voire des incohérences apparentes, alors même que nous avons choisi le cas apparemment le plus facile à traiter.

Figure 1 Complexité d'un problème de Dynamique (adapté de [7]).



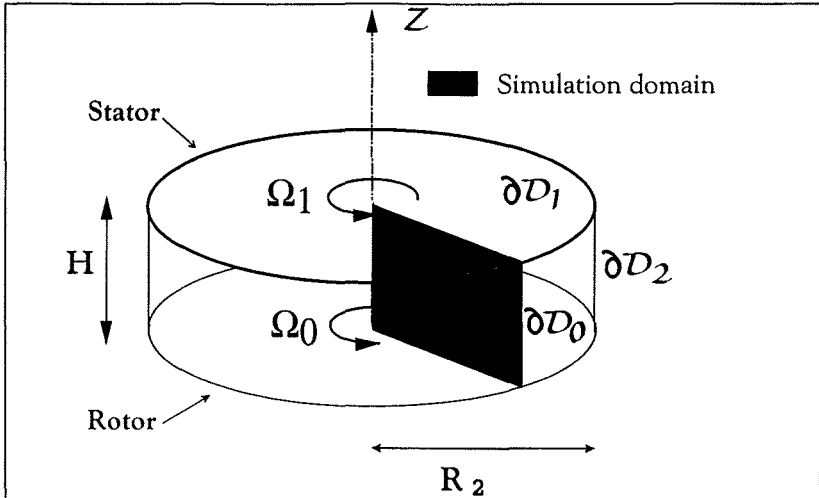


Figure 2 Le domaine physique (Tout point de la cavité est décrit par ses coordonnées spatiales  $r$ ,  $y$  et  $z$ , par rapport au rayon, à l'axe de rotation et au rotor).

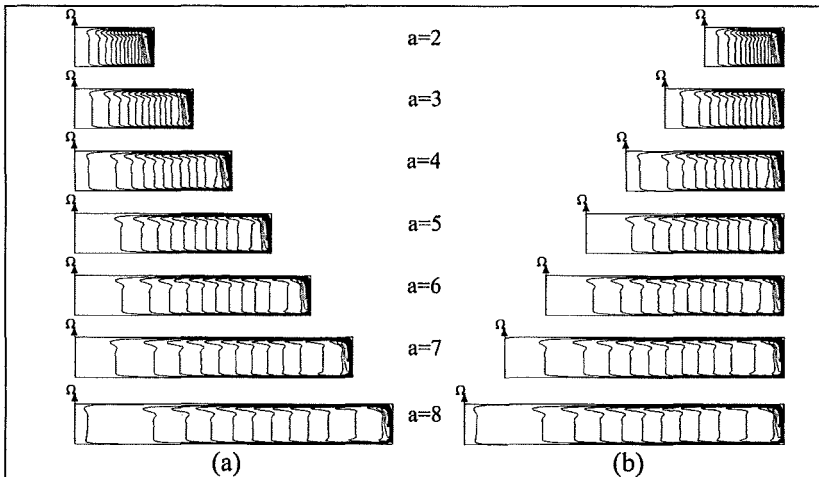
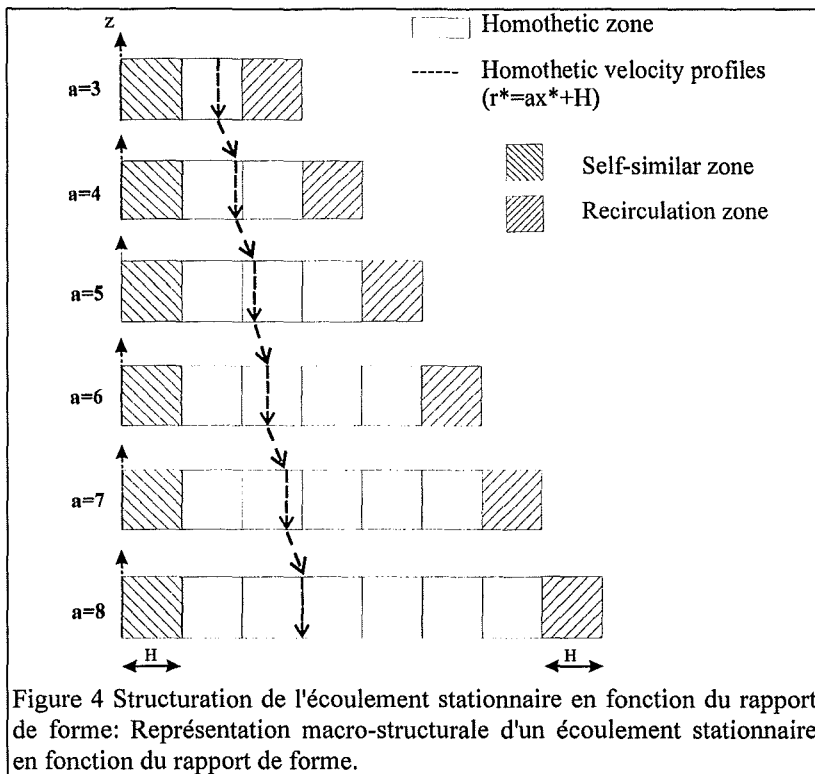


Figure 3 Iso-valeurs de la fonction de courant pour des rapports de forme  $a=2,3,\dots,8$ . Les iso-valeurs varient de 0 sur l'enveloppe jusqu'à  $-6.7 \cdot 10^{-3}$ .





<sup>i</sup> Cousin-Rittemard, N. & Lucas, N. (1998) *Acting with diagrams : how to plan strategies*, Workshop "Thinking with Diagrams: Is there a Science of Diagrams?", TwD'98, Aberystwyth, UK.

<sup>ii</sup> Huerre, P., & Monkewitz, P.A., (1990), Local and global instabilities in spatially developing flows, *Ann. Rev. Of Fluid Mechanics*, **22**, 473-537.

<sup>iii</sup> Cousin-Rittemard, N., (1996) Contribution à l'étude des instabilités des écoulements axisymétriques en cavité interdisques de type rotor-stator, thèse de doctorat, Université de Paris VI.

<sup>iv</sup> Cousin-Rittemard, N., Daube, O., & Le Quéré, P.(1998) Sur la nature de la première bifurcation des écoulements inter-disques , *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. **326**, Série II b, p359-366.

<sup>v</sup> Strogatz, S. H (1994) *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Studies in Nonlinearity, Addison Wesley.



# Extraction de connaissances dans des images militaires aériennes par l'utilisation combinée de réseaux de neurones et de systèmes multi-agents

Lieutenant Roger COZIEN, Ronan QUERREC

*Ministère de la Défense*

*Ecoles militaires de Saint Cyr Coëtquidan*

*DGER - Centre de Recherche*

*56381 Guer Cedex*

*Tél. : +33 2 97 73 50 30*

*Fax : +33 2 97 73 50 83*

*Email : jarod@mailhost.esm-stcyr.terre.defense.gouv.fr*

## Introduction

Notre but est, à moyen terme, d'identifier, dans des images aériennes, des formes et des objets caractéristiques comme des aéroports, des installations industrielles, des avions, des chars, des véhicules divers, ... avec une grande précision et un faible taux d'erreurs. De plus, nous voulions également évaluer si le lien entre des réseaux de neurones et des systèmes multi-agents est pertinent et efficace. Si tel est le cas, nous espérons pouvoir utiliser cette technologie pour d'autres applications. Cela pourrait être un moyen aisé de décrire et d'utiliser la connaissance des agents qui est par nature fragmentée et distribuée. Après une première phase de tests préliminaires, afin de savoir si des agents peuvent donner des informations utiles à un réseau neuronal, nous avons vérifié qu'un petit nombre d'agents utilisés pendant un temps court, est suffisant pour nourrir le réseau de neurones et l'autoriser ainsi à généraliser la connaissance fragmentée et distribuée des agents. Dans une deuxième phase, nous avons développé une architecture distribuée qui autorise l'exécution simultanée de plusieurs systèmes multi-agents sur des machines distinctes et sur des images différentes. Tous ces agents envoient de l'information à un système multi réseaux de neurones, dont le travail est d'identifier les contours détectés par les agents. Notre architecture s'appelle *Jarod*.

Ainsi, *Jarod* extrait des connaissances à partir d'image dont il ignore tout. De même, chaque partie de *Jarod* ignore tout de l'autre et n'en a aucun représentation. Mais, la communication, même basique, entre les différentes composante permet l'extraction de cette connaissance. Cependant, *Jarod*, n'a pas non-plus de représentation de cette connaissance. Un opérateur humain est nécessaire à l'interprétation de l'information donnée par *Jarod* et la transformer en connaissance. Ainsi, dans les systèmes synthétiques réalisant un processus de traitement d'image, la machine renvoie une information graphique porteuse de connaissance. La transformation de l'information graphique nécessite un contexte, qui en règle général est volumineux et fait référence à un acquis ou un vécu. Or, une limite actuelle des systèmes synthétiques intelligents c'est leur capacité réduite à enregistrer leur expérience et à le transformer en vécu.

## 1. Agents agissants

Le traitement d'image est certainement un domaine majeur d'application des réseaux de neurones - RNs. Mais, au-delà de cette application, notre but était de savoir comment des agents peuvent devenir les yeux, les mains, ... les capteurs, sinon les sens de RNs, qui sont très souvent qu'un *cerveau dans une boîte* : aveugles, manchots et culs-de-jatte. De nombreuses architectures neuromimétiques et d'algorithmes neuronaux ont été conçus, mais très souvent, une architecture spécifique correspond à un besoin spécifique, et très rarement à plusieurs différents. Les besoins militaires sont également très spécifiques, en effet, nous savons ce que nous cherchons, mais nous savons rarement quand nous risquons de le trouver : nous ne savons pas à l'avance, le type d'image qui contiendra l'information, et si la qualité de l'image suffira à l'identification formelle. Le traitement d'image à des fins militaires correspond souvent à l'identification de cibles potentielles, ce qui signifie que la plus grande précision est requise.

Nous ne pouvons pas coder une nouvelle architecture neuronale chaque fois que la situation militaire change. Nous avons donc tenté de trouver une technologie autorisant l'utilisation de différents moyens d'extraction de contours puis d'identification. Cette approche trouve un peu de ces origines dans la théorie de Minsky [4] où des agents agissent ensemble dans le but d'accomplir une tâche hors de portée du moindre des agents. Classiquement, pour nous, les agents sont vus comme une triple capacité : perception, prise de décision, action. (La capacité d'action inclue la possibilité de communiquer avec les autres agents). Si nous réduisons la phase de prise de décision au minimum, comme choisir une direction, un objet à déplacer, ... alors, les agents peuvent être décrits comme des entités réactives percevant puis modifiant leur environnement. Ces systèmes multi-agents - SMA - ont pu être utilisés dans de nombreux cas, mais principalement dans le but de simuler des phénomènes réels ou des métaphores de phénomènes réels. Nous pourrions utiliser des agents plus complexes en termes de prise de décision, mais dans le cadre de ces travaux, la programmation multi-agents signifie pour nous de nombreux agents réactifs identiques.

Dans des cas particuliers, il est possible d'être le témoin de phénomènes singuliers rassemblés sous le label "d'émergence". Ceci signifie que des SMA développent des capacités de coopération entre agents sans qu'aucune coordination centrale n'intervienne. Rien de formel et de convainquant n'existe actuellement sur ces phénomènes dans les SMA synthétiques. Ainsi, il n'existe pas de moyens "multi-agents" de connaître et d'utiliser la connaissance du système complet. Cette connaissance, si elle existe, est diluée dans les agents et, pire, les capacités réelles du système sont plus distribuées dans les interactions entre agents que dans les agents eux-mêmes. Ceci, parce que nous utilisons des agents sans mémoire. Quand nous codons un SMA nous essayons toujours de faire en sorte que la boucle "perception → prise de décision → action" soit aussi courte que possible. Parce que trop d'agents avec de trop longues boucles pourraient consommer trop de ressources CPU et ralentir sensiblement la machine. La phase de "prise de décision" est la plus délicate des trois. Il faut veiller à ne

pas donner plus d'intelligence aux agents qu'ils n'ont besoin pour des tâches simples, et certainement pas assez pour résoudre seul des problèmes qui ne sont pas du niveau d'un agent. De plus, si l'on espère qu'un SMA développe de lui-même des capacités sociales ou au moins, des aptitudes collectives, alors, c'est un non-sens que d'inclure ces aptitudes dans les agents. Et dans tous les cas, si nous procédions ainsi, cela signifierait que nous avons déjà résolu le problème. La programmation multi-agents n'est pas aisée [8] et peut facilement mener à des codes contradictoires comparativement au but premier des SMA, qui est de transformer l'action locale et non coordonnée des agents en un comportement collectif efficace. Ainsi donc, nos agents sont plutôt réactifs et doivent être considérés comme des capacités locales d'action.

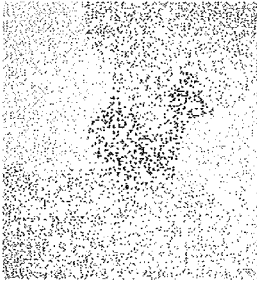
## 2. Réseaux de neurones formels pensant : premier choix

Si nous utilisons des agents "stupides", il nous faut donc mettre l'intelligence de *Jarod* ailleurs. Comme le travail premier de *Jarod* sera le traitement d'image, nous avons décidé d'essayer les réseaux de neurones comme partenaires "pensant" de nos agents réactifs. Comme de nombreuses architectures de RNs sont disponibles, la première difficulté fût d'en choisir une. Après un examen de la littérature, nous avons arrêté notre choix sur une architecture dynamique [1][6]. Plus précisément, nous avons codé un réseau de type Grow and Learn - GaL - et nous avons fait une série d'expériences afin de savoir s'il faut utiliser de nombreux agents pour extraire assez d'information de l'image. Ou, si au contraire, seul un petit nombre d'agents, travaillant pendant un temps court sur l'image, seront efficaces.

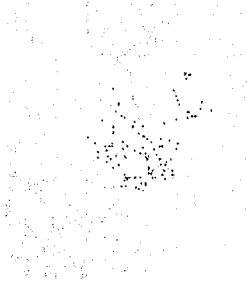
En premier lieu, nous voulions utiliser la très grande capacité du GaL à sur-généraliser les informations d'entrée. Nous avons codé le même réseau que celui décrit dans [1]. Ainsi, le GaL est nourrit en entrée par des informations venant des agents travaillant sur l'image. Ces informations sont la position dans un repère orthonormé du pixel et sa couleur. Après de nombreuses expériences faisant varier le nombre d'agents et le temps pendant lequel ils "courent" sur l'image, nous avons été convaincus que l'utilisation d'agents pour nourrir un RN, est pertinente et efficace. Cependant, le GaL, souffre des mêmes aspects qui font par ailleurs sa force : la sur-généralisation. En effet, lorsque nous utilisons des images bruitées, le GaL généralise le moindre pixel d'erreur de l'image d'origine, qui devient dans l'image d'arrivée, la source de plusieurs du même genre. Bien sûr, ces expériences préliminaires ne constituent pas vraiment du traitement d'image, dans le sens où nous utilisons des images faites de toutes pièces à partir de plusieurs zones de couleurs différentes, aux contours et à l'agencement aléatoires. Néanmoins, nous voulions nous débarrasser de ce phénomène de sur-généralisation des pixels d'erreur qui deviennent, après traitement, des zones de pixels d'erreur. Pour ce faire, nous avons ajouté devant le GaL un RN de Kohonen dont la tâche est d'envoyer au GaL des informations filtrées. En fait, nous utilisons le Kohonen pour faire les classes, chacune codée sur un neurone. Si nous obtenons de meilleurs résultats, il nous faut admettre, que la sur-généralisation pour les pixels d'erreur persiste comme montré dans la section suivante.

### 3. Expériences préliminaires et premiers résultats

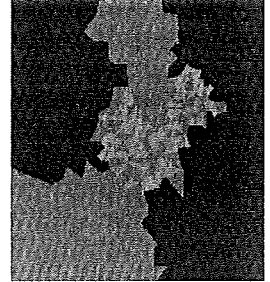
Dans cet article nous avons limité volontairement les exemples. La figure 1 montre l'image source de 200 par 200 pixels, faite de la juxtaposition aléatoire de zones colorées. Nous laissons 5 agents courir sur l'image source pendant 2000 cycles mais en fait, les agents n'enregistrent les caractéristiques des pixels que tous les 5 cycles. La figure 2 montre ce que les agents ont enregistré et envoyé aux RNs. La figure 3 montre le résultat du traitement pas les RNs.



*fig. 1 : image source*

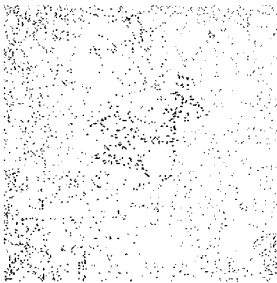


*fig. 2 : image intermédiaire*

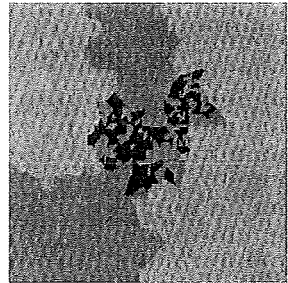


*fig. 3 : image finale*

Si nous laissons les agents explorer l'image source pendant 5000 cycles les informations collectées sont certes plus nombreuses comme montré sur la figure 4 mais, le résultat final sur la figure 5 n'est pas qualitativement supérieur à celui de la figure 3.

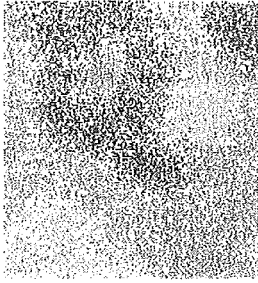


*fig. 4 : image intermédiaire pour 5000 cycles*

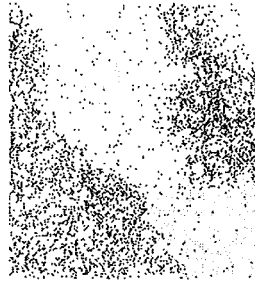


*fig. 5 : image finale pour 5000 cycles*

Ainsi, nous avons déterminé empiriquement que 5 agents explorant une image de 200 par 200 pendant 2000 cycles est une bonne moyenne. Les figures 6, 7 et 8 montrent la même expérience avec une image source bruitée. C'est à dire que les zones colorées ne sont plus homogènes mais parsemées de pixels d'autres couleurs. Nous laissons les agents scruter l'image pendant 5000 cycles.



*fig. 6 : image source bruitée*

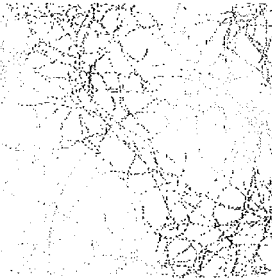


*fig. 7 : image intermédiaire*

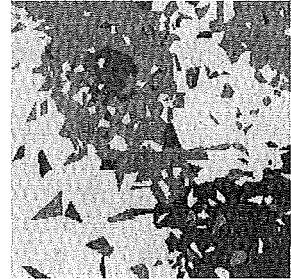


*fig. 8 : image finale*

A partir de la même image source bruitée, nous avons fait l'expérience avec 5 agents sur 2000 cycles. Les figure 9 et 10 montrent qu'il n'y a pas qualitativement de différence majeure, et que 2000 cycles semblent suffisants.



*fig. 9 : image intermédiaire pour 2000 cycles*



*fig. 10 : image finale pour 2000 cycles*

Nous sommes conscients que nos agents sont extraordinairement simples. En fait, un SMA est inutile dans ce cas, n'importe quel programme sélectionnant aléatoirement des pixels sur l'image source et lisant leurs positions et leurs couleurs aurait fait l'affaire. Mais il faut se rappeler que la force de la programmation multi-agents est de pouvoir combiner dans un même SMA des agents simples et des agents complexes.

En conclusion, le point principal que nous avons découvert, est qu'il est inutile de laisser de très nombreux agents scruter une image pendant un temps long pour obtenir, après traitement neuronal, une image finale utilisable. Il faut comprendre que les RNs produisent une image finale qui décrit plus que la connaissance réelle du SMA. Parce que rien dans le SMA lui-même n'autorise, premièrement, l'amalgame des informations extraites par les agents, et deuxièmement, la généralisation de ces informations. En fait, nous ne pouvons pas réellement parler de "connaissance des agents" parce qu'ils n'ont pas de mémoire et de même ne peuvent pas changer leurs comportements.

A partir de ce constat, nous pouvons imaginer que les RNs pourront utiliser l'image finale pour piloter à distance des agents plus complexes ayant un autre but que celui des premiers agents. La figure 11 montre le schéma de ce que pourrait être la collaboration entre un ou des SMA et des RNs.

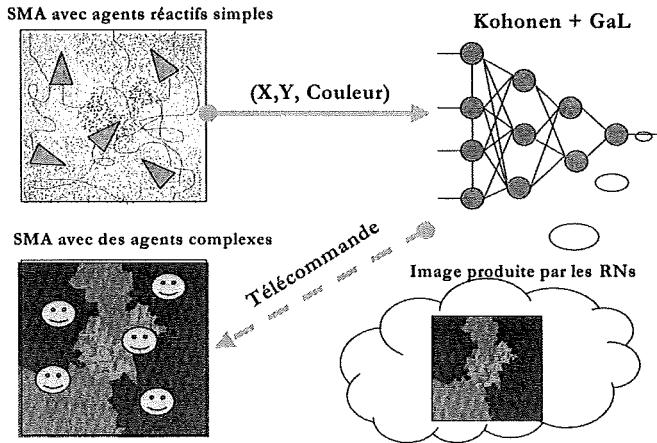


fig. 11. : dialogue

#### 4. Réseaux de neurones formels pensant : deuxième choix

Les premiers résultats ont été assez encourageants mais, le GaL ne correspond pas à nos attentes pour ce qui est de la reconnaissance de cibles dans des images aériennes. Premièrement, la sur-généralisation est un réel problème, deuxièmement, nous avons besoin d'un RN à apprentissage supervisé. En effet, nous savons ce que nous cherchons dans les images : avions, chars, camions, ... Ainsi, nous avons décidé d'utiliser les résultats de [5] où N. Nasrabadi utilise des perceptrons multicouches - MLPs - pour faire de la reconnaissance automatique de cibles. Nous avons partiellement réutilisé son travail, et plus précisément, le "Fully Connected Network Classifier - FCNC". Nous avons commencé le processus par enseigner à notre RN ce que nous voulons le voir reconnaître par la suite. Pour nos premiers essais nous nous sommes concentrés exclusivement sur les avions. Comme il est très difficile de rassembler des centaines d'images aériennes militaires, il nous a fallu les fabriquer à partir d'un nombre limité d'entre-elles. Pour ce faire nous avons utilisé des formes originelles et exactes issues du "Jane's". A chaque forme d'avion nous avons appliqué un premier algorithme dit de *diversification* et nommé R-div, et dont le travail est de bouger aléatoirement des pixels de l'image source. Ainsi, il est possible d'obtenir de nombreuses images R-div : il nous faut au moins une centaine d'images différentes pour une forme source d'avion. Ensuite, nous appliquons à chaque image R-div un deuxième



algorithme de diversification nommé MRFE pour "Multi-Resolution Feature Extraction" [5]. Le MRFE produit des images de résolutions inférieures aux images R-div. Pour ce faire, nous avons besoin de diviser les R-div images en utilisant un masque carré. Ce masque est de surface  $a^2$  pixels. Chaque pixel du masque reçoit un couple de coordonnées  $(i,j)$  comme montré sur la figure 12, où  $i$  donne le numéro du masque, et  $j$  le numéro du pixel dans le masque  $i$ . Nous sommes donc capables de créer  $a^2$  images de basse résolution, et ce, pour chaque image R-div. Si nous utilisons MRFE une fois, nous obtenons des images de demi-résolution. Si nous l'utilisons deux fois de suite, nous obtenons des images de quart de résolution. Il est préférable de ne pas aller au-delà, car alors, on obtient des résolutions trop faibles par rapport aux images aériennes militaires. De plus, dans les faibles résolutions les risques de confusion entre cibles sont trop grands. La figure 13 montre la forme d'un MIG 25 et trois images diversifiées par R-div. Ainsi, pour une forme originelle, si nous produisons  $(k-1)$  R-div images auxquelles nous appliquons MRFE deux fois, alors nous obtenons finalement un jeu de  $(k*(2*a^2+1))$  formes d'avions. Et, nous donnons ces  $(k*(2*a^2+1))$  images à  $(a^2+1)$  MLPs pour leur apprentissage. A ce stade, il faut retenir que chacun des  $(a^2+1)$  MLPs apprend des images toutes différentes d'un MLP à l'autre et, sans qu'aucun n'apprenne toutes les images. Nous avons donc divisé l'ensemble des images en  $(a^2+1)$  sous-ensembles d'images. Le point important c'est que nous partageons la connaissance relative à une image d'avion entre  $(a^2+1)$  MLPs, (Cf figure 14). Au-dessus des MLPs nous plaçons une couche logiciel pour moyenniser et généraliser les sorties des MLPs, et prendre une décision finale quant à l'identification de la cible potentielle. Cette couche logiciel peut être une simple fonction de moyenne à seuil, ce qui est le plus simple à coder. Cette fonction utilise alors les taux de reconnaissance en sortie de chaque MLP, en fait la moyenne, et la compare à un seuil fixé empiriquement pendant la phase d'apprentissage. De nombreuses fonctions sont envisageables, les plus complexes résidant dans des fonctions floues ou de Dempster-Schafer [7]. Mais, nous pensons, qu'à terme, l'utilisation d'un RN supplémentaire serait pertinente et donnerait de meilleurs résultats. Nous étudions actuellement quelle architecture neuronale serait la plus adaptée à l'utilisation de sorties d'autres réseaux de neurones, (Cf figure 12).

Quand la phase d'apprentissage, qui peut être longue, est terminée, nous sommes prêts à exploiter la partie neuromimétique de *Jarod*. Mais, cela ne sera possible que si la partie *agent* de *Jarod* est opérationnelle.

## 5. Agents agissant : second choix

Dans la première version de *Jarod* nous avons restreint la détection d'objets aux contours d'avions. Identifier un contour est un premier point, mais extraire le contour de l'image source est un autre aspect du traitement tout aussi délicat. Sur la base de [2] et [3] nous avons amélioré les SMA présentés pour permettre le dialogue entre RNs et SMA. Comme nous l'avons décrit dans la première section, nous utilisons des agents réactifs aux comportements très simples, mais cette fois, nous allons équiper nos agents de capteurs embarqués. Ces capteurs utilisent pour notre première version soit

l'algorithme de Sobel, soit celui de Prewitt, ou encore, le gradient de Laplace, voire, des algorithmes agents ad hoc comme dans [2].

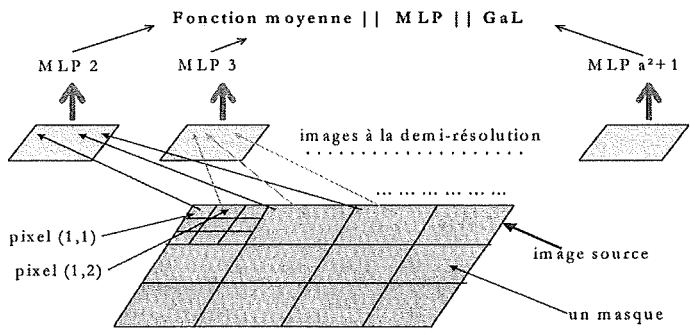


fig. 12 : Classificateur modulaire multi-résolution de Nasrabadi

	<p>Image source originale : MIG 25 "FoxBat"</p>		<p>MIG 25 après diversification par R-div</p>
	<p>Image R-div du MIG 25 après MRFE : demi résolution</p>		<p>Image R-div du MIG 25 après 2 MRFE: quart de résolution</p>

fig. 13 : exemple d'images d'apprentissage après les algorithmes R-div et MRFE

Forme originelle + forme R-div	$a^2$ images de demie résolution produites à partir des images de la première colonne	$a^2$ images de quart de résolution produites à partir des images de la deuxième colonne
→ ...	→...→ ...	→...→ ...
↑ Cette colonne est apprise par le MLP(1)	↑ Cette colonne est apprise du MLP(2) au MLP( $a^2+1$ )	↑ Cette colonne est apprise du MLP( $a^2+2$ ) au MLP( $2*a^2+1$ )

fig. 14 : procédure d'apprentissage par les RNs

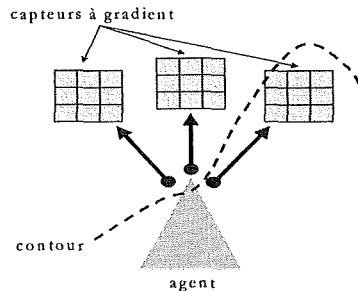


fig. 15 : exemple d'agent détectant les contours par un gradient

Sur la figure 15, nous pouvons voir qu'un agent possède en fait un jeu d'au moins trois capteurs pour la détection et le suivi de contour. Ci-dessous se trouve l'algorithme simplifié des agents détecteurs de contours :

```

Capter
Si pas de gradient
(je me déplace au hasard)
Sinon
(Je suis le gradient le plus élevé
Je mémorise tous les points du gradient
Si le contour est fermé

```

(Je transmets la liste des points au serveur neuronal)  
Boucler

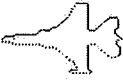





Il est important de comprendre pourquoi nous avons utilisé des agents. Comme nous l'avons dit, les agents sont des capacités d'action locale ayant une grande autonomie. Il est par conséquent inutile de coder une coordination centrale. Une coordination, sinon une coopération, devrait naître des interactions entre agents. Donc, dans l'optique de rendre la programmation multi-agents plus facile, nous utilisons des capteurs agents embarqués, sans considération pour une quelconque technique de traitement d'image globale. La figure 16 montre des exemples de contours extraits par des agents utilisant des capteurs basés sur une simple détection de contrastes.

Cette approche nous permet de juxtaposer, sur la même image, des cohortes d'agents ayant des capteurs différents. Mais également, des comportements différents en matière de stratégie de recherche de contours. En effet, pourquoi se limiter à un seul type d'agent, d'autant plus, que nous ne savons pas à l'avance le type d'image à traiter, le type de cibles, ... D'un point de vue de la programmation agent, nous pallions le manque de coordination centrale et l'information a priori sur l'image et les cibles, par l'utilisation dans le même SMA d'agents aux capacités différentes. De plus, nous envisageons par la suite un algorithme favorisant, ne serait-ce que par renforcement ou contrôle génétique, les agents aux capacités les mieux adaptées à l'image traitée. Il ne s'agit en aucun cas d'une coordination centrale, mais plutôt d'une forme d'apprentissage multi-agents.

## 5. Jarod à l'œuvre

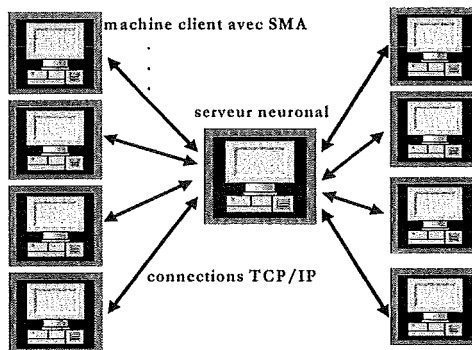
Ainsi, nous avons d'un côté un système multi-agents, capable de chercher des contours sur une image grâce à des agents réactifs autonomes équipés de capteurs. D'un autre côté nous avons une architecture neuronale faite de plusieurs perceptrons multicouches et un algorithme permettant la création d'exemples d'apprentissage à partir d'images parfaites issues du *Jane's*. Comme notre but était de réaliser une plateforme où les SMA et les réseaux de neurones seraient capables de travailler ensemble, nous avons décidé d'aller plus loin en imaginant une architecture distribuée qui intégrerait à la fois des SMA et des réseaux de neurones, et ceci, sans coordination centrale. De plus, nous voulions que Jarod soit capable de traiter plusieurs images à la fois. Toutes ces raisons nous ont amené à construire Jarod comme un système parallèle distribué dont chaque partie s'exécute de façon asynchrone sur des machines différentes. La figure 17 donne une illustration de cette architecture. Plus précisément, la figure 18 montre l'ensemble du processus Jarod dont voici les principales étapes : apprentissage par les MLPs d'autant de cibles que nécessaire. Sur plusieurs machines clients, nous instancions un SMA par machine avec une image différente. Chaque fois qu'un agent trouve un contour, il l'envoie par TCP/IP au serveur neuronal ou les MLPs tentent de l'identifier. S'il n'y arrive pas le serveur neuronal renvoie un message de non-identification vers le SMA expéditeur qui continue son exploration de l'image. Dans le

cas contraire, le serveur de neurone renvoie le nom de la cible supposée correspondre au contour. Si les MLPs ont un doute, c'est à dire, si la fonction de sortie renvoie une valeur inférieure de peu à la valeur seuil de reconnaissance, alors, le serveur demande au SMA de créer une *imagerie*, faite de la portion d'image entourant le contour source du doute. Sur cette imagerie, le serveur de neurones applique d'abord une série de filtres classiques pour nettoyer l'imagerie, puis, il y place un autre SMA dit subalterne, fait d'agents spécifiques capables de faire une recherche plus fine.

<i>Algorithme basé sur les contrastes</i>	<i>Algorithme de Sobel</i>
 F 18	 F117
 F 111	 HARRIER
 B 2	 F111

*fig. 16 : contours extraits par les agents de Jarod*

Dans tous les cas, tant dans le SMA principal que dans le subalterne, après un temps paramétrable, les agents sont tués pour libérer la RAM. On suppose après ce temps qu'il n'y a rien à trouver où que les agents sont inadapés à l'image.



*fig. 17 : architecture réseau de Jarod*

La figure 19 montre le type d'image que nous souhaitons traiter. Sur cette figure, les cibles potentielles sont les bombardiers de fabrication soviétique. L'image de la figure 15 est en fait une image prototype sur laquelle nous avons « collé » les avions afin de tester *Jarod*. La figure 20 montre les contours trouvés par les agents sur l'image prototype et identifiés par les MLPs.

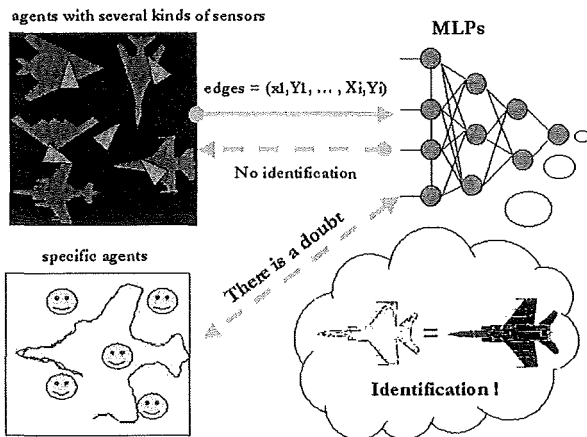


fig. 18 : processus complet de *Jarod*

## Conclusion et perspectives

Notre objectif premier était de permettre le dialogue entre des SMA et des réseaux de neurones et de concevoir un cadre commun au traitement d'image et à la détection de cibles. Nos premiers essais sont globalement positifs, en effet, nous sommes capables de traiter plusieurs images, sur des machines différentes et ceci sans coordination centrale et dans un processus totalement asynchrone, parallèle et distribué. Concernant la partie neuronale, l'architecture de [5] correspond parfaitement à nos besoins puisqu'elle permet l'apprentissage d'un très grand nombre de formes et la reconnaissance avec une grande précision. Enfin, cette architecture permet le dialogue entre les deux parties de *Jarod* par des imagerie et des agents subalternes. Dans l'avenir nous développerons de nouveaux capteurs et de nouveaux comportements de recherche de contours. Concernant la partie neuronale, un gros travail demeure pour distribuer la connaissance dans plusieurs sous parties neuronales. En effet, nous pensons réaliser une pré-classification, par des réseaux de Kohonen, selon la famille d'appartenance du contour. Ainsi, le, ou les Kohonens seraient entraînés à séparer en familles les avions, les tanks, les bateaux, ... mais pas à identifier précisément les cibles à l'intérieur de chaque famille. Par exemple, si le contour appartient à la famille des bateaux, il routera l'information vers les MLPs spécialistes des bateaux. De même, nous pensons pouvoir, à l'intérieur de chaque famille, spécialiser les MLPs en sous-familles : les bateaux français de transport, les croiseurs russes, ... avec une pré-classification par

un Kohonen à chaque niveau. Nous tentons donc de tendre vers un système à l'architecture la plus parallèle et la plus désynchronisée possible.

*Jarod* est donc un moyen d'extraction et de classification de l'information graphique. Il ne possède pas à l'heure actuelle de processus cognitif lui permettant de transformer cette information en connaissance. Il lui manque la possibilité d'apprendre dynamiquement au fur et à mesure de son fonctionnement et, de transformer ce qu'il apprendrait en contexte suffisamment complet pour transformer l'information graphique en connaissance. Pour ma part, je différencie ces deux concepts par le fait que l'information est directement reliée à un support contrairement à la connaissance qui en est indépendante. Le besoin d'un contexte pour transformer l'information en connaissance est très fort dans le cas de l'information graphique car la relation entre *information graphique* et connaissance est très loin d'être bijective.

En effet, si dans le cadre d'une application militaire nous savons que sur une image il existe plusieurs cibles de familles différentes, nous savons qu'un contour en forme de triangle sera interprété par un opérateur humain comme un avion plutôt qu'un bateau. Or, si l'on se place maintenant dans la famille des avions, à partir de quel moment un triangle devient-il un avion ? Or, lors de la phase d'apprentissage des MLPs, c'est exactement à ce genre de question qu'il nous faut répondre. On comprend bien, que cela n'est possible que parce que l'opérateur humain possède une *intelligence de la situation* qui lui permet dans le cas de la détection de cibles de répondre à ces questions. C'est à dire dans le nombre important de relations entre une *information graphique* et *connaissance de la situation* de choisir la relation la plus cohérente avec le contexte.

Ainsi, si nous pouvons dire qu'*un petit dessin vaut mieux qu'un long discours*, c'est parce que ce dessin s'adresse à des être intelligents partageant avec l'auteur du dessin un contexte commun. Sinon, *un petit dessin* ne vaut rien.



fig. 19 : image prototype de test

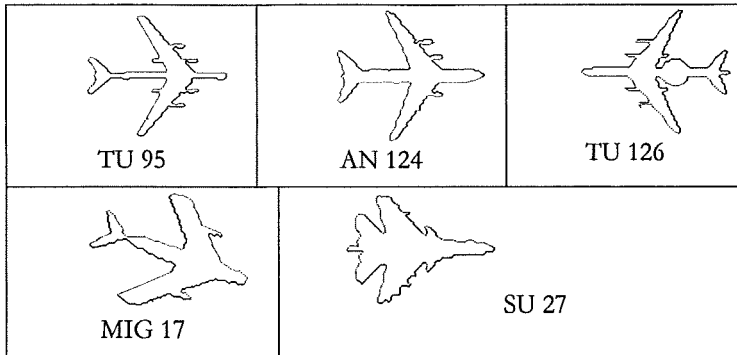


Fig. 20 : contours extraits et identifiés

## Références

- [1] Alpaydin, E. (1990) *Grow and Learn : an Incremental Method for Category Learning*, Int. Neural Network Conf., Paris, France.
- [2] Ballet, P., Rodin, V., Tisseau J. (1997) *Multi-Agents Boundary Detection System : a Way to Parallel Image Processing*, SPIE, Sans Diego, CA, USA.
- [3] Cozien, R., Colautti, A. (1999) *Project DANA : Multi-Agents Simulations and Fuzzy Rules for International Crisis Detection : Can we Forestall Wars?*, SPIE, Denvers, Colorado, USA.
- [4] Minsky, M. (1985) *The Society of Mind*, Simon and Schuster, New York, USA.
- [5] Nasrabadi, N. M. (1998) *Automatic Target Recognition Using Artificial Neural Networks*, SPIE, San Diego, CA, USA.
- [6] Reignier, P., Hansen, V., Crowley, J. (1997) *Incremental Supervised Learning for a Mobile Robot Reactive Control*, Int. Journal on Robotics an Autonomous Systems, 19:247-257.
- [7] Shafer, G. (1976) *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- [8] Wooldridge, M., Jennings, N.R. (1998) *Pitfalls of Agent-Oriented Development*, proceedings of AGENTS'98, Minneapolis, MN, USA.



# Entre le visuel et le verbal : l'architecture dite "de papier"

**DESHAYES Catherine**

*Equipe de recherche EVCAU*

*(Espace Virtuel de Conception en Architecture et  
Urbanisme)*

*Ecole d'Architecture de Paris-Val-de Marne*

*11, rue du Séminaire de Conflans - 94 220 Charenton-Le-  
Pont*

*mél : [Catherine.Deshayes@evcau.archi.fr](mailto:Catherine.Deshayes@evcau.archi.fr)*

## Introduction

L'oeuvre architecturale est le produit d'un processus complexe dans lequel l'architecte, sans doute grâce à sa sensibilité, à sa culture, son savoir, son savoir-faire, son faire-savoir crée et réalise l'édifice par un travail de perpétuelle négociation. L'architecte doit en premier lieu faire advenir l'idée, la travailler, la retravailler, la réajuster selon une demande et des contraintes liées au programme, puis soumettre ses propositions à plusieurs interlocuteurs.

Il est probable qu'à la Renaissance, l'architecte était maître de l'oeuvre et seul décideur, mais aujourd'hui, le développement des technologies a apporté de nouvelles techniques et a modifié les consultations entre gens du métier, les rendant plus spécialisées, plus professionnelles, et plus diversifiées aussi. Les dossiers sont plus complexes, car il faut consulter le permis de construire, le bureau d'études, les entreprises. Les échanges se font à toutes les étapes, augmentant les documents et les informations préalables qui doivent être continuellement ajustées, nécessitant de multiples concertations. Les représentations graphiques sont alors une base solide et significative aux nombreuses discussions nécessaires : entre le visuel et le verbal, l'objet doit advenir.

Aussi, même si un projet d'architecture n'est pas encore de l'architecture *stricto sensu* mais un ensemble d'intentions concrètes, il est cependant indéniable que les premières esquisses serviront déjà de support aux dialogues, négociations, décisions, compromis entre l'architecte et les acteurs du projet concernant sa faisabilité, son coût, etc. Ainsi, le dessin

d'architecte, même dans sa phase la plus élémentaire doit être technique, représentatif, persuasif, et visionnaire.

L'architecte se doit donc d'objectiver ses idées : représenter un objet non encore existant, un pensable-possible. La représentation, si elle se réfère au modèle ou à l'objet extérieur et visuellement appréhendable, s'élabore dans et par un savoir professionnel, un travail de connaissance culturelle (perception - interprétation) et au travers de communications faites ou de paroles que suscitent la perception, son interprétation et sa représentation.

Avant d'arriver à ce stade d'élaboration du dessin, il lui faut acquérir les méthodes de son art et faire son apprentissage en reproduisant – mais non en copiant, car il doit suivre son interprétation, c'est-à-dire représenter sa perception – des modèles ou objets déjà existants.

Ce qui importe n'est pas comment modeler l'idée mais bien comment passer de l'idée à sa représentation. Cela suppose une certaine liberté d'expression accordée à l'intuition et à la sensibilité individuelle combinée à un savoir, une connaissance de techniques appropriées – concernant tant les outils que les méthodes –, l'ensemble formant le savoir-faire de chacun.

Le dessin d'architecte est la résultante d'un long apprentissage où se mêle savoir et pratique, d'un professionnalisme donc d'une culture architecturale.

## **1. La culture de l'architecte**

### *1.1. Le dessin : image technique ou opérative*

Au début du siècle, il était fortement recommandé à celui qui voulait devenir architecte de savoir essentiellement dessiner. Cette orientation qui tend cependant à s'atténuer de nos jours perdure tout de même dans l'enseignement plus traditionnel pour lequel Julien Guadet ou même Violet-Le Duc restent des référents en la matière. Mais « être un bon dessinateur » ne signifie pas faire « des images agréables » ou belles, mais bien apprendre à cerner, à connaître son modèle, dans ses contours et dans ses formes, pour pouvoir le rendre le plus fidèlement et devenir ainsi un « dessinateur loyal ». L'aspect plastique ou esthétique du dessin – utile bien plus tard à la communication du projet et mis en exergue par les outils informatiques, principalement par l'image de synthèse – n'est pas primordial. Ce qui est importé c'est la technique et la pratique du dessin qui

va permettre à l'architecte d'apprécier au seul coup d'oeil les proportions<sup>1</sup> afin de produire un dessin à l'échelle<sup>2</sup> sans autre outil de mesure que son regard.

Cet exercice est d'une telle importance que même dans un dessin déjà produit, l'architecte devra retrouver le cheminement original de l'auteur. Il lui faudra donc retrouver les diverses projections – plans<sup>3</sup>, coupes<sup>4</sup>, élévations<sup>5</sup> – utiles à la réalisation du dit dessin.

L'architecte se doit avant tout de pouvoir apprécier la proportion et donc avoir une grande connaissance des techniques de représentation possible par l'optique et la géométrie et savoir « dessiner » car la technique doit disparaître au profit de la forme représentative et esthétique. C'est Gaspard Monge qui, à partir de collectes et de codifications des divers éléments d'expressions graphiques utilisés par les praticiens, a constitué un véritable langage nécessaire à toute communication entre partenaires d'une construction. Le statut scientifique est ainsi dû à la géométrie descriptive de G. Monge.

La découverte de la perspective qui se situe à la charnière du Moyen Age et de la Renaissance bouleverse les techniques de représentations du monde et de l'espace. Cette étape est capitale car c'est à partir de la Renaissance que le dessin s'est particulièrement développé, trouvant à cette époque un essor et un statut de scientificité jusque là incertain. Il acquiert ce statut d'informations scientifiques et techniques en instituant « *une correspondance métrique rigoureuse entre les objets dans l'espace et leur représentation ; elle fournit un système logique de symboles visuels de la réalité permettant ainsi de la décrire et de la reproduire sous des formes d'une intelligibilité universelles ; elle crée, ce faisant, les conditions d'un développement de la recherche scientifique, soutenue en cela par les nouvelles techniques de reproduction mécanique des images* »<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> La proportion, issue des mathématiques est un rapport. Employé en un sens relatif, c'est ce qui résulte de la justesse des rapports : c'est l'harmonie entre les diverses parties d'un tout.

<sup>2</sup> Par échelle nous entendons la proportion adoptée entre le modèle et le dessin.

<sup>3</sup> Le plan est une coupe ou section d'un édifice faite à une hauteur variable par un plan horizontal qui coupe les murs, piliers, cloisons. C'est une empreinte à plat, prise sur la construction en cours.

<sup>4</sup> La coupe est une section d'un édifice ou partie d'édifice par un plan vertical (elle est dans la verticalité ce que le plan est dans l'horizontalité).

<sup>5</sup> Elévation ou façade est la projection de l'édifice sur un plan vertical extérieur.

<sup>6</sup> Sanson, P. - Histoire des données iconiques relatives à l'espace architectural et urbain. In *Le savoir et ses outils d'accès : repères historiques*, Solaris n°4, sous la direction de Sylvie Payet-Scribe, décembre 1997, p.9, citant Versale.

Jean-Pierre Epron, précise d'ailleurs que « [...] le dessin, mais aussi plus généralement tout mode de représentation d'un objet ou d'un processus, est l'outil privilégié de tous ceux qui prennent part à l'élaboration et à la réalisation du projet. Cet espace de représentation n'est pas limité aux techniques de figuration, à la "portraiture". Il englobe toute méthode permettant le calcul de la forme, le report de l'exactitude requise par l'exigence de la stabilité de toute mesure, son positionnement rigoureux dans un espace encore vide d'objet »<sup>7</sup>.

Ainsi la géométrie descriptive en est le point nodal du dessin d'architecte et le futur architecte doit avoir des notions de perspective, apprendre la géométrie – la géométrie analytique (courbe du second degré) et plus particulièrement la géométrie descriptive –, ainsi que la statistique. D'ailleurs, le terme de stéréotomie désigne les applications spéciales de la géométrie descriptive qui nécessite au préalable des notions d'architecture et qui concerne la coupe de pierre et de charpente. Les architectes de cette époque sont ainsi tout à la fois ingénieur, architecte et artiste.

En tant qu'art appliqué et support d'informations, le dessin d'architecte se réfère à un aspect technique et scientifique du dessin. Pierre Francastel, qui critique vigoureusement l'apport de la géométrie descriptive dans les arts en général, fait exception en ce qui concerne l'architecture où il prend acte de son impact : « A mon avis, le quattrocento presque tout entier n'utilise la loi rigoureuse qui sort des expériences de Brunelleschi que dans la représentation des architectures »<sup>8</sup>, ou encore « le nombre des oeuvres qui mettent rigoureusement en application la doctrine soi-disant générale de la perspective centrale [...] se limite [...] d'une manière générale (à) tous les tableaux et toutes les fresques où c'est l'architecture qui donne à la composition sa loi d'ensemble ; voire les seules parties d'oeuvres où est traduit un motif architectural quelconque »<sup>9</sup>.

Le dessin d'architecture par excellence est donc le dessin géométral, dessin prétendant à l'exactitude dans la mesure où il est supposé représenter les objets tels qu'ils sont, à la différence du dessin pittoresque qui représente l'aspect des objets tels qu'ils apparaissent. Ce dessin géométral nécessite l'exactitude et la parfaite précision.

## 1.2. La pratique du dessin : un regard

Un croquis se doit être léger et clair, ce qui nécessite une longue pratique pour arriver à la sûreté du trait. Aussi, le croquis est tout à la fois

---

<sup>7</sup> Epron, J.P., *Architecture, une anthologie, t. 2 : Les architectes et le projet*, Liège, Mardaga, 1995, p. 65.

<sup>8</sup> Francastel P., *Etudes sociologique de l'art*, Paris, Denoël, 1970, p. 168.

<sup>9</sup> *ibid.*, p. 166.

forme d'expression et forme d'exercice permettant d'apprendre à regarder, à voir, et même à voir en géométral, car il doit être conçu d'après la réalité avec des coupes, plans, élévations « *non pour rendre compte à d'autres, mais pour vous garantir que vous l'avez étudié intégralement. Vous devez vous interdire toute mesure, afin d'arriver à faire de votre oeil un véritable instrument de précision.* »<sup>10</sup>. Julien Guadet précise : « *le croquis, [...] est le moyen le plus rapide de progresser dans votre art, car vous ne pouvez faire le croquis d'une chose quelconque sans l'avoir attentivement examinée, pénétrée en tout sens, analysée à fond, ni rendre tout cela sans l'intelligence et la possession de votre sujet. Non seulement vous devez en saisir la composition, en distinguer les éléments, mais il faudra en fixer les rapports sans autre secours que l'étude attentive de proportions. Ni compas, ni mètre, l'oeil seul comme unique instrument de mesure et d'évaluation* »<sup>11</sup>.

Par ailleurs une pratique répétée du croquis de mémoire permet de faire travailler une mémoire visuelle nécessaire au regard et à la culture de l'architecte. Il s'agit ici, de différer la pratique du dessin, de voir le modèle, mais de n'en faire le croquis que de mémoire, de renouveler l'expérience deux ou trois fois jusqu'à satisfaction du dessin et alors seulement le confronter au modèle afin de le contrôler et éventuellement de le corriger.

Enfin le croquis en perspective n'est possible que lorsque la maîtrise du géométral est acquise.

Pour arriver à un tracé sûr, clair et pur, il est donc nécessaire de passer par une pratique répétée. C'est l'habitude, la pratique et les connaissances qui peu à peu vont transformer la manière de voir et faire du regard de l'architecte un oeil de professionnel ayant la compétence d'analyser les différents éléments composant l'espace observé. C'est bien une science qui tout en s'appuyant sur la théorie doit être pratiquée, intériorisée, personnalisée : « *n'étudier aucune question sans faire vous-même rigoureusement l'épure correspondante, sur des données différentes de celle de l'épure de votre ligne. Vous vous ferez ainsi vous-même un atlas personnel de géométrie descriptive, et en même temps vous aurez pris l'habitude du tracé rigoureux et correct, du dessin précis et inflexible.* »<sup>12</sup>.

C'est donc à partir de connaissances scientifiques, mais aussi empiriques ou personnelles, que les techniques de représentations graphiques vont être utilisées afin de projeter sur papier l'espace désigné.

La pratique du dessin d'architecte passe aussi par la connaissance de ce que Guadet nomme les principes généraux, à savoir que l'architecture

---

<sup>10</sup> *ibid.*, p.51.

<sup>11</sup> *ibid.*, p. 186.

<sup>12</sup> *ibid.*, p.21.

est une composition d'éléments constituée à la fois par les éléments de l'architecture même, tels que les murs, portes, façades, piliers, colonnes, escaliers, plafonds, etc., et des éléments de composition. La composition est la mise en oeuvre, la réunion de différentes parties connues (salles, couloirs, etc) dans un même tout englobant, c'est « en faire un tout », un ensemble, un édifice.

L'architecture est une composition d'éléments qui s'effectue aussi selon un programme qui émane d'un demandeur. Ce programme est donné par le client ou les clients : c'est ce qui est attendu. Il est extérieur à l'architecte, aussi ce ne peut être l'oeuvre même de celui-ci qui n'en est que l'artiste, le professionnel capable d'y répondre et de le réaliser.

Il est important que l'architecte se fasse une idée juste des diverses contraintes et demandes qui composent ce programme. Cependant, un programme s'il donne la nomenclature des services, indique leurs relations, il ne suggère ni leur combinaison, ni leur proportion. *Cela « c'est votre affaire ; le programme doit encore moins vous imposer des solutions »*<sup>13</sup>. Il existe de fait à l'architecte une certaine liberté des moyens (matériaux, proportions, agencements, etc.), et d'inventivité.

Si la composition ne s'enseigne pas et qu'elle ne s'apprend que par les essais multiples, les exemples, les conseils et qu'enfin l'expérience de chacun se superpose à l'expérience d'autrui, toute composition d'éléments suit certains critères ou règles soumis ou dépendants de la disposition ou composition choisie, des proportions adaptées et de la construction elle-même. A l'origine de la composition, certes, l'idée est primordiale, mais il faut aussi pouvoir la mettre en oeuvre, et au-delà, la réaliser puisque *« l'architecture a pour but les constructions, elle a pour moyen la construction. La construction est un art et une science. Art par l'invention, la combinaison, la prévision ; science par le contrôle et la rigueur de vérification »*<sup>14</sup>. Cette composition doit donc être constructible, esthétique et utile. L'architecture est à la fois art et science de la construction.

L'architecte doit donc respecter le programme, mais également prendre en considération d'autres facteurs qui interviennent et peuvent changer l'expression du programme tels le climat, le terrain avec ses reliefs en tant qu'emplacement, le sol physique en tant que support des fondations, etc.

Par ailleurs, il existe aussi un autre facteur très important : l'architecte intervient dans une culture. En effet, *« au-dessus des oeuvres, au-dessus des programmes spéciaux, il y a le programme des programmes, c'est la civilisation même de chaque siècle, la foi ou l'incrédulité, l'aristocratie ou*

---

<sup>13</sup> *ibid.*, p.102.

<sup>14</sup> *ibid.*, p.194.

la démocratie, la sévérité ou le relâchement des moeurs [...] nous sommes entraînés par un mouvement général et complexe qui résulte de nos idées, de nos moeurs de notre civilisation présente »<sup>15</sup>. Il s'agit bien entendu de la culture d'origine de l'architecte même qui aura un impact sur ses idées mais également de la culture de l'endroit où il doit réaliser sa construction. Cette dernière joue un rôle important tant dans l'aspect administratif, juridique, politique, etc.

L'architecte dans sa composition, dans son projet, dans ses esquisses et dans ses dessins doit prendre en compte et faire intervenir l'ensemble de ces principes. Le dessin d'architecte est un long apprentissage du savoir regarder. La Renaissance avec la géométrie descriptive va lui conférer un statut scientifique, ce qui va aussi modifier la pratique et la production de dessins et de fait le regard lui-même emprunt de tous ces savoirs. La vision doit être géométrale, les croquis sont à l'échelle, en perspective, etc. L'axonométrie permet une représentation projective à trois dimensions et la perspective concède à l'observateur une place privilégiée. Ces deux dernières techniques sont particulièrement importantes pour le développement de l'infographie que nous ne traiterons pas dans ce travail puisque nous nous centrons sur le dessin à main levée. Tout l'apprentissage de l'architecte est donc d'analyser l'existant, de reproduire ce qu'il voit et enfin de créer une composition selon un programme. Tout cela ne peut exister qu'au travers de ce regard qui progressivement, par la pratique et le savoir sans cesse accumulé, se forge pour devenir un acte usuel.

Nous percevons alors toute la profondeur de ces termes « dessin et dessiner », puisqu'il ne s'agit pas d'un simple transcodage graphique, mais de la mise en oeuvre de processus beaucoup plus complexes.

Mais alors, qu'est ce donc que dessiner. C'est percevoir et exprimer les proportions spécifiques qui distinguent et particularisent le modèle. « *Le meilleur dessinateur, c'est le plus sensible percepteur des proportions.* »<sup>16</sup>.

Le dessin est l'expression de la forme et de la proportion, c'est apprendre à voir de façon professionnelle ce qui nécessite une longue éducation de l'esprit et de l'oeil.

Julien Guadet nous dit bien que le procédé n'est rien, seul compte l'identité du dessin avec le modèle. Il faut donc commencer par bien connaître le modèle en question sans se précipiter sur son crayon. Pour cela il faut être attentif à ce qui fait la particularité du modèle, c'est-à-dire l'étudier et le comprendre dans sa globalité, dans son ensemble « *et si, par hasard, vous ne comprenez pas qu'il y a quelque chose à comprendre en présence du modèle, c'est que vous n'êtes pas encore apte à le dessiner*

---

<sup>15</sup> *ibid.*, p.135-136.

<sup>16</sup> *ibid.*, p.185.

[...] pas un coup de crayon ne devra être donné qui ne soit précédé d'un coup d'oeil au modèle ; mais auparavant, étudiez-le dans son ensemble [...]. »<sup>17</sup>. Il est ainsi indispensable de passer par une compréhension personnelle du modèle : cette « [...] pénétration profonde et intime de toute l'essence du modèle par l'intelligence du dessinateur. C'est l'art difficile de voir. Tout dessin est une conquête et une prise de possession »<sup>18</sup>. Citant l'exemple de la Joconde, Julien Guadet écrit : « ce n'est pas seulement la Gioconde, c'est la Gioconde telle que l'a vue, telle que l'a exprimée l'étude profonde et le génie souverain de Léonard de Vinci »<sup>19</sup>. Il s'agit d'une interprétation, d'une traduction toute personnelle du modèle et c'est ce qui fait l'oeuvre d'art.

## 2. Le dessin support de communication

Le dessin fait donc partie intégrante de la pratique de l'architecte. Présent à toutes les étapes de la conception, c'est de fait son mode de communication par excellence, même si des explications souvent orales, parfois écrites peuvent les accompagner. Le dessin est et reste la trace visible et exploitable du passage de l'idée à la forme ou de la forme à l'idée. Mode d'expression en soi du fait qu'un croquis même rapide peut être lu par un autre architecte, voire par certains acteurs de la profession. C'est un support significatif qui va permettre la discussion, les rectifications, modifications, etc., et même, paradoxalement de nouveaux projets car, en tant qu'expression, il suscite récursivement réflexions, interprétations, etc.

### 2.1. L'expression d'une perception

Le dessin est une perception temporelle de l'espace existant communicable par un espace de représentation individuel. Ce ou ces dessins sont, lors d'un projet, en perpétuelle modification – dues en partie aux commentaires suscités chez les autres partenaires et qui permettent à l'architecte d'ajuster, de changer ses intentions d'origine.

En fait, le dessin est la résultante d'une perception individuelle et, à l'instar de la perception d'un message, le graphisme est une expérience

---

<sup>17</sup> *ibid.*, p.69.

<sup>18</sup> *ibid.*, p.65.

<sup>19</sup> *ibid.*, p.66.



singulière, mettant en cause la dimension de l'expérience sociale, culturelle et émotionnelle de l'architecte face à un existant que nous qualifions de "naturel" (modèle, espace, site, environnement où il doit projeter une idée de bâti). Cette pensée, ou idée, prend forme et se manifeste par la communication : représentation graphique et parole – parfois mais rarement l'écrit – qui l'accompagne.

La communication architecturale se déploie, à travers la négociation, dans une construction ensemble, petit à petit ou pas à pas, oeuvre commune dans laquelle la personnalité<sup>20</sup> de chacun intervient : c'est une "co-construction". Cela, même dans une situation de conception architecturale que nous pourrions qualifier de type « constructiviste ». Ce processus se décline aux travers d'extériorisations diverses (graphiques ou dialogiques).

Tout au long des conversations un sens, dont les acteurs sont co-responsables, va progressivement émerger. Les remarques de Christian Brassac<sup>21</sup>, concernant la conversation s'applique tout autant aux dessins d'architecte : il relève la possibilité de stabilisation et non de fixation du sens toujours négociable dans l'après conversationnel car il est donné par chacun dans l'ici et maintenant de la conversation.

Ce qui importe, c'est la position de léger décalage qui permet l'émergence certes d'un sens mais va également permettre l'émergence d'une idée créatrice dans une conception architecturale. Ce dialogue permet de donner « forme et réalité » à un pensable-possible, cet objet non encore advenu et qui par le biais de conversations diverses va se structurer et émerger progressivement dans cette co-construction, dans et par une communication dont le graphisme sera le support.

L'énoncé est donc élaboré à travers une négociation qui est en fait une proposition d'actualisation de sens par le couple d'interlocuteurs, pour arriver à une stabilisation toute provisoire de ce sens. Mais la spécificité que souligne Christian Brassac et qui nous intéresse particulièrement c'est « *que le locuteur ne contrôle pas ce qu'il peut advenir de ces implicites dans la suite de l'échange. La conversation n'est pas un lieu de transfert d'un message, fut-il caché (au sens d'implicite), il est le lieu de "l'intercommunicabilité des cognitions en présence". Cette façon de voir*

---

<sup>20</sup> Nous entendons par là le savoir, le savoir-faire, la culture, la sensibilité, la créativité, etc.

<sup>21</sup> Brassac C., - Processus cognitifs en situation d'interaction. De la communication à la communication. In *Le mouvement des boucles sensori-motrices aux représentations cognitives et langagières*. Actes de la sixième Ecole d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive, juillet 1997, pp. 229-236.

relève du paradigme de la communicabilité que Francis Jacques 1995 oppose à celui de communicativité. »<sup>22</sup>

## 2.2. L'entre-deux conversationnel

La communicativité ne concerne que le problème de l'information, donc de la transmission du savoir et donc du faire savoir, c'est le sens passif et unidirectionnel de la communication qui présuppose une attitude passive du récepteur. A l'inverse, la communicabilité est bien le sens actif et au moins bidirectionnel de la communication, où il importe de savoir et de comprendre. C'est une activité de construction sémantique commune, ce qui nécessite une relation active entre les interlocuteurs et un "vouloir communiquer".

Ainsi, la conversation n'est pas le lieu de l'adéquation de deux individus mais le lieu de l'intercommunicabilité des personnes en présence.

L'intention de sens est une production commune dans un espace intersubjectif constitué par *l'entre-deux conversationnel*. C'est cet entre-deux conversationnel – qui, chez l'architecte, est un entre deux de l'objet<sup>23</sup> –, que nous avons rapproché de l'espace transitionnel dans lequel prend forme l'objet, à savoir entre l'objet perçu et l'objet rendu. Christian Brassac, déjà, concernant la conversation, précise que « le travail de participation conjointe à l'émergence de sens ne porte pas sur un objet qu'il faut observer de l'extérieur. [...] Ce travail est un façonnage, une sculpture, qui se réalise à deux, d'un objet en perpétuel devenir. »<sup>24</sup>.

S'agissant de la conception architecturale, un percept et sa représentation ne sont jamais figés mais toujours en devenir car dépendant de l'ici et maintenant et des émotions du spectateur. Gombrich dans *L'Art et l'illusion*, insiste sur le rôle interactif du spectateur qui en percevant et en comprenant l'image, la fait exister. Il estime ainsi que « *La perception visuelle [est] une position de type constructiviste. Pour lui, la perception visuelle est un processus quasi expérimental, impliquant un système d'attentes, sur la base desquelles sont émises des hypothèses, lesquelles sont ensuite vérifiées ou infirmées. Ce système d'attentes est lui-même largement informé par notre connaissance préalable du monde et des images : dans notre appréhension des images, nous anticipons, en plaquant*

---

<sup>22</sup> *ibid.*

<sup>23</sup> Deshayes, C., " L'entre-deux de l'objet ", communication à la 5ème table ronde francophone sur la conception (01 DESIGN'97): *Les objets de conception*. Paris, Europa Production, septembre 1997, pp. 49-54

<sup>24</sup> Brassac C., *op. cit.*

*des idées toutes faites sur nos perceptions.* »<sup>25</sup>. La pensée, la réflexion, l'idée sont bien des phénomènes singuliers et individuels mais forcément alimentés par ce qui vient de l'extérieur et que chacun s'approprie pour sa propre élaboration.

## Conclusion

Le référent n'est donc jamais le modèle, c'est un référent fictif (appropriation du modèle par l'architecte), un objet en devenir, l'objet "virtuel" de cette architecture de papier qui doit être suffisamment persuasive, visionnaire et "parlante" afin de représenter de façon claire ce que cela pourra ou devra être pour les autres partenaires, et en particulier pour le maître d'ouvrage qui finance l'opération. Le dessin, support de représentation des visions de l'architecte est, à toutes les étapes du processus, en devenir, à advenir, parfois stabilisé mais jamais fixé. Il est évident qu'à un certain moment, il faut se déterminer et s'arrêter sur des graphismes qui paraissent justes ou adéquats pour le projet en question, mais ces dessins restent toujours négociables ou re-négociables car ils peuvent être réutilisés pour d'autres projets ou encore comme base pour de nouvelles idées. Il existe dans cette mouvance de l'utilisation quelque chose de comparable à ce qui se passe dans la conversation et dans la co-construction du sens analysées par C. Brassac. La communication architecturale, telle le processus de la co-construction conversationnelle, se situe bien dans cet entre-deux de l'objet, cet entre-deux conversationnel, dans cet espace intersubjectif ou transitionnel.

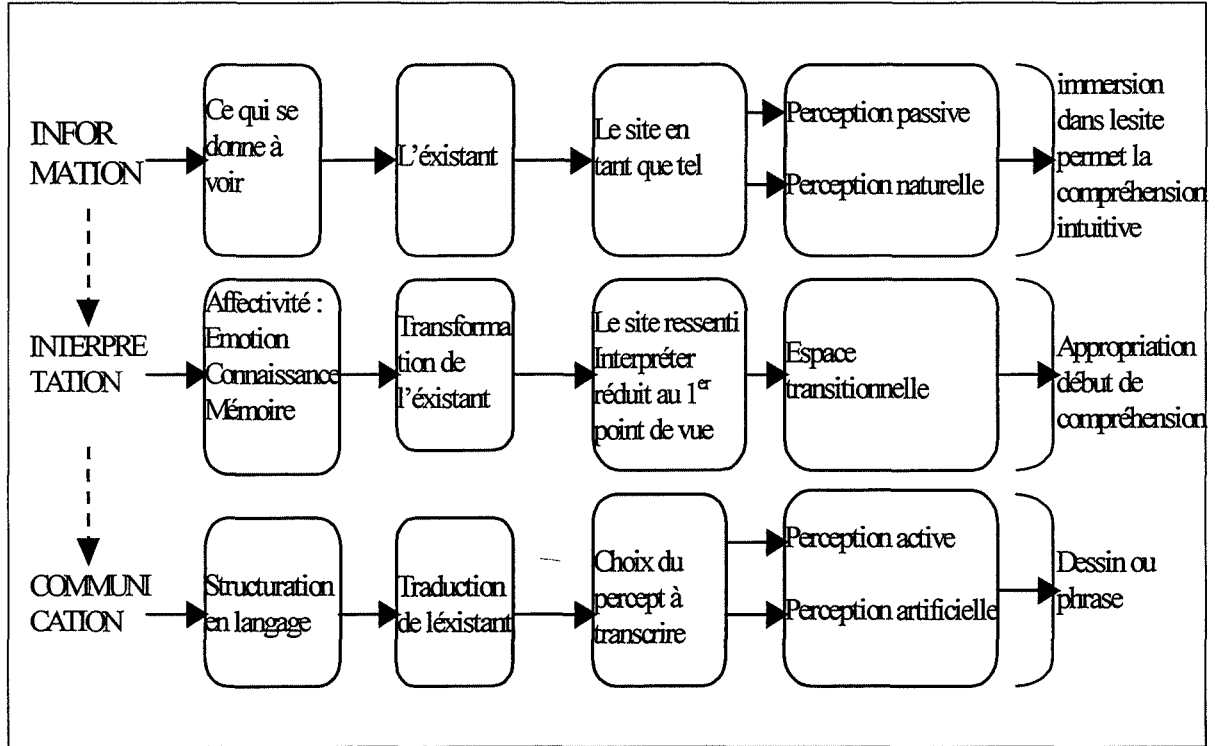
Nous pouvons par ailleurs remarquer, à l'instar des théories de la communication, que la communication architecturale – mais nous pouvons même dire le processus de la conception architecturale – se condense dans le déplacement significatif d'une relation unilatérale (l'architecte face au site), à l'acte (la perception à représenter), à l'objet (le dessin ou le bâti) et même aux moyens (la relation dynamique qui intervient et permet le passage : la co-construction).

Nous pouvons à présent proposer le schéma suivant qui illustre et synthétise l'analyse précédente.

---

<sup>25</sup> cité par J. Aumont, *L'image*, Paris, Nathan, coll. "Fac-cinéma", 1996, p. 55.

Schéma



Ce processus, modélisé ici abouti à cette mise en parallèle

Discours verbal	Dessin
Échange verbal	Échange entre voir et savoir
Aider à structurer la pensée de chacun	Culture et pratique du dessin
Partage des connaissances et des idées	Partage des percepts par tâche
Ajustement des connaissances	Ajustement entre le site / le regard / le dessin
→ idée nouvelles ou nouvelles connaissances écart qui permet la création, la nouveauté par saut	→ Idée nouvelles, nouveaux points de vue écart qui permet la création, la nouveauté par saut
Communication externe	Communication interne et externe

Le premier mouvement ou première partie de ce schéma modélise le phénomène de la perception visuelle du site et la représentation graphique (ici par le dessin) d'un percept. Nous déroulons alors le processus du dessin pour l'architecte lui-même dans une "communication interne" où l'information (provenant de la perception visuelle) va être interprétée (appropriée) pour être communiquée (structurée et travaillée pour être représentée et transmise à autrui).

Le deuxième mouvement met l'accent sur le parallèle possible entre "communication interne" et la "communication externe" nécessaire à l'échange entre l'architecte et ses partenaires. Entre le processus du dessin et le processus du discours conversationnel, il existe la possibilité de se réapproprié un dire ou un faire, de le faire rebondir afin qu'il devienne une nouvelle source d'information, cela de manière récurrente jusqu'au terme où les parties s'accordent sur un ajustement qui leur semble "consensuel". Le dire et le faire sont ainsi complémentaires et leur fluidité permet toujours une ouverture possible vers de nouvelles idées créatrices.

La communication architecturale est bien ce croisement transversal entre une communication très professionnelle, culturelle, codifiée, technique et une communication verbale très conversationnelle, usuelle et quotidienne. Il existe un travail de l'architecte entre perception (davantage pour soi), appropriation (traduction qui nécessite un savoir, un savoir-faire, un faire-savoir) et représentation (qui est structurée et redonnée aux autres).

## Références bibliographiques :

- Aubert, J. (1980) *Cours de dessin d'Architecte à partir de la géométrie descriptive*, collection Savoir-faire de l'architecture, Unité Pédagogique d'Architecture n°6, Paris La Villette.
- Boudon, P. (1977) *Sur l'espace architectural. Essai d'épistémologie*, Paris, Dunod.
- Brassac, C. (1977) Processus cognitifs en situation d'interaction. De la communication à la communication. In Actes de la sixième Ecole d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive, *Le mouvement des boucles sensori-motrices aux représentations cognitives et langagières*. pp. 229-236.
- Brassac, C., Stewart, J. (1996) Le sens dans les processus interlocutoires, un observé ou un co-construit ?. In actes de journées de Rochebrune, *Du collect.f au social*, pp. 85-94.
- Deshayes, C. (1997) L'entre-deux de l'objet . In acte de la 5ème table ronde francophone sur la conception (01 DESIGN'97), *Les objets de conception*. Paris, Europa Production, pp. 49-54.
- Epron, J.-P. (1995) *Architecture, une anthologie, t. 2 : Les architectes et le*

- projet, Liège, Mardaga.
- Francastel, P. (1970) *Études sociologique de l'art*, Paris, Denoël.
- Guadet, J. (1929) *Eléments et théories de l'architecture*, tome 1, cours professé à l'École des Beaux-Arts, Paris, librairie de la construction Moderne, sixième édition.
- Gombrich, Ernst H. (1971) *L'Art et l'illusion*, 1959, tr. fr., Paris, Gallimard.
- Jantzen, E. (1983) *Traité pratique de perspective de photographie et de dessin...*, Paris, Edition de la Villette.
- Manzini, E. (1992) *Artefacts. Vers une nouvelle écologie de l'environnement artificiel*, tr. fr. Adriana Pilia, *Les Essais*, Centre Georges Pompidou.
- Sanson, P. (1997) Histoire des données iconiques relatives à l'espace architectural et urbain. In le savoir et ses outils d'accès : repères historiques, *Solaris*, 4, sous la direction de Sylvie Payet-Scribe.
- Trognon, A., Brassac C. (1988) Actes de langage et conversation. In *Intellectica*, 6, pp. 211-232.





# Adaptabilité et adaptativité pour une meilleure interface homme-machine dédiée aux SIG

Franck FAVETTA

*Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information, INSA de  
Lyon, 20 av. A. EINSTEIN, 69621 Villeurbanne Cedex  
ffavetta@lisisun1.insa-lyon.fr*

## Résumé :

Cet article présente une proposition pour enrichir la communication dans les langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales en permettant notamment de s'adresser à différents types d'utilisateurs. De plus en plus d'utilisateurs ont besoin d'effectuer des requêtes sur des Bases de Données spatiales. Ces utilisateurs sont de différents types : utilisateurs fréquents ou occasionnels, connaissant ou non les Systèmes d'Informations Géographiques. Nous expliquons comment l'adaptabilité et l'adaptativité peuvent nous aider dans ce but.

## 1. Introduction

Nous nous intéressons ici aux langages de requête pour Base de Données spatiales et à la communication homme-machine.

Dans le domaine des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG, **Laurini98**), on a toujours besoin d'interroger l'ordinateur pour trouver un lieu, une route, un nom... c'est-à-dire exprimer une requête. De plus, pour ce faire, nous allons devoir poser nos questions à une machine, et donc pour une part importante, communiquer avec cette machine.

De nombreux langages de requêtes existent déjà, plus ou moins techniques, plus ou moins accessibles.

Les Systèmes d'Informations Géographiques ont connu un essor considérable ces dernières années. Les principaux utilisateurs sont les collectivités territoriales, bien que d'autres applications telles que le géomarketing sont apparues récemment. Les principales applications des collectivités territoriales concernent les projets d'urbanisme, la gestion des réseaux, la collecte des déchets, etc. De nombreux SIG sont actuellement commercialisés mais proposent essentiellement des applications "clés en mains" et n'offrent pas la possibilité à l'utilisateur de modifier son application de manière simple ni d'interroger les données de manière intuitive.

Nous essayons dans cet article de voir comment en améliorant et en enrichissant la communication entre l'utilisateur et la machine, on peut palier les différents problèmes et limitations des langages de requêtes pour SIG actuels.

En partie 2, Nous expliquons plus en détails ce que nous cherchons. Nous présentons ensuite l'état de l'art du domaine en partie 3. Après avoir montré la problématique qui se pose en partie 4, nous expliquons en partie 5, l'idée que nous avons pour la résoudre. Enfin, nous expliquons comment nous comptons valider cette idée en partie 6, avant de conclure.

## **2. But**

Nous sommes confrontés à un large public d'utilisateurs. Par exemple : un urbaniste, un cartographe, un touriste cherchant un restaurant dans une ville, un voyageur interrogeant son système de navigation embarquée, etc...

Nous cherchons à définir un langage de requête qui soit le plus convivial et intuitif possible.

Nous nous restreignons au domaine des SIG.

La requête est constituée d'objets spatiaux et de relations spatiales entre ces objets spatiaux.

## **3. Etat de l'art**

De nombreux travaux de recherche ont été effectués pour proposer des langages d'interrogations pour SIG et notamment des extensions du langage SQL. Un état de l'art des langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales est présenté dans **Aufaure96**.

Nous allons résumer ce qui existe actuellement en matière de langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales.

On peut classer les langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales en trois catégories : les langages textuels, les langages graphiques et les langages visuels.

1. Les langages textuels comprennent les langues naturelles et les langages de type SQL.
2. Les langages graphiques reposent sur l'interrogation par l'exemple (QBE: Query-By-Example) et leur principe est d'exploiter les deux dimensions de l'écran et les interfaces WIMP qui ont émergé dans les années 80 : souris et multi-fenêtrage.

3. Enfin les langages visuels sont basés sur la représentation visuelle des requêtes elles-mêmes. Les langages visuels suivent deux approches principales :

- 1) L'approche de **Aufaure95** avec *Cigales*, et de **Bonhomme98** avec *LVIS*.
- 2) L'approche de **Meyer92** avec *Sketch*, et de **Egenhofer97** avec *Spatial-Query-By-Sketch*.

### 3.1. Langages textuels

Voici un exemple de requête exprimée en langue naturelle : Which towns are located into a mountains zone ?

Le problème avec la langue naturelle est que la requête est très souvent très ambiguë.

Voici la même requête, mais cette fois exprimée en langage de type SQL : `SELECT TOWNS.NAME FROM TOWNS,MOUNTAINS WHERE TOWNS.OBJ ISCONTAINED MOUNTAINES.OBJ.`

Le problème avec les langages de type SQL est qu'ils sont souvent trop techniques pour certains types d'utilisateurs, notamment pour les personnes n'ayant pas l'habitude de manipuler des langages de type informatiques comme le SQL.

### 3.2. Langages graphiques

On peut distinguer trois grands types de langages graphiques :

- Les premiers représentent la Base de Données (relationnelle) sous forme de tables dans laquelle les critères des requêtes sont exprimées à l'aide de variables (Figure 1).

<b>TOWNS</b>	<b>Name</b>	<b>... Geometry</b>
	<b>Population</b>	
	<b>?</b>	<b>a</b>
<b>MOUNTAINS</b>	<b>Name</b>	<b>... Geometry</b>
	<b>Areal</b>	
		<b>b</b>
<b>Selection criterion :</b>	<b>a IsContained b</b>	

**Figure 1 : Table**

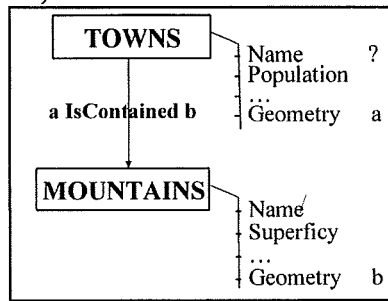
- Les seconds permettent aux utilisateurs d'exprimer leurs requêtes à l'aide de formulaires qu'ils remplissent de manière textuelle ou guidés par des sélections dans des listes de choix possibles (BoxList). Les

requêtes sont représentées de manière structurée selon les clauses traditionnelles des requêtes SQL : Select, From et Where (Figure 2).

<b>Selection:</b>	TOWNS.NAME
<b>From tables:</b>	TOWNS, MOUNTAINS
<b>Selection criteria:</b>	TOWNS.OBJ IsContained MOUNTAINS.OBJ

**Figure 2 : Formulaire**

- Les troisièmes représentent graphiquement le schéma de la Base de Données dans sa totalité. Les requêtes sont formulées à l'aide de variables (Figure 3).



**Figure 3 : Schéma**

Le problème avec les langages graphiques est que tous les critères formulés restent des conditions spécifiées textuellement : Ainsi donc, même les critères spatiaux tels que l'inclusion topologique sont exprimés à l'aide de mots clés et de variables, et non pas de manière visuelle.

### 3.3. *Langages visuels*

Dans les langages visuels, les requêtes sont représentées à l'aide d'éléments visuels : le texte n'est employé que lorsqu'il est nécessaire (nom d'un objet).

La syntaxe (règles de construction des phrases) et la sémantique (signification des phrases) du langage portent sur des éléments visuels.

Les langages visuels sont très avantageux pour les requêtes effectuées sur les Bases de Données spatiales. En effet, de telles requêtes mettent souvent en jeu au moins un critère spatial qui teste le positionnement relatif

de plusieurs objets dans l'espace (à deux dimensions sur la surface de la Terre). Une relation spatiale entre objets est alors plus facilement représentable par un dessin que par une phrase.

Notre requête précédente peut alors être représentée visuellement de la manière suivante (Figure 4).

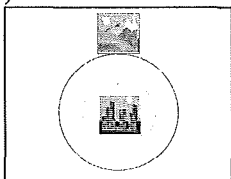


Figure 4 : Requête visuelle

Je vais maintenant détailler les deux approches que l'on rencontre dans les langages visuels.

### 3.3.1. Première approche

La première approche est basée sur l'utilisation d'icônes prédéfinies.

Les langages Cigales de **Aufaure95** et LVIS de **Bonhomme99a** (Figure 5) reposent sur la sélection d'icônes et sur un principe de construction incrémentale des requêtes.

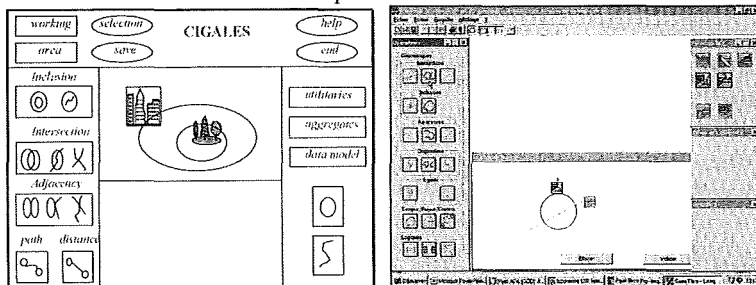


Figure 5 : Cigales et LVIS

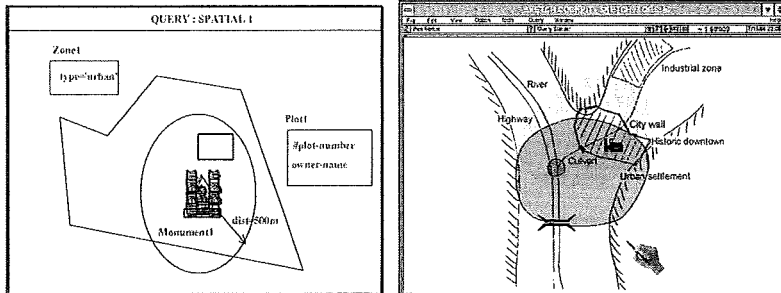
Les icônes représentent d'une part les objets de la Base de Données à interroger, et d'autre part les opérateurs nécessaires à la formulation de critères spatiaux.

Ce langage suit la philosophie de l'interrogation par l'exemple (QBE).

### 3.3.2. *Seconde approche*

La seconde approche est basée sur ce que l'on nomme *la métaphore du tableau noir*.

Les langages Sketch de Meyer<sup>92</sup>, Spatial-Query-By-Sketch de Egenhofer<sup>97</sup> (Figure 6), ou encore l'Antéserveur Géographique de Gaio<sup>98</sup>, laissent l'utilisateur dessiner sa requête comme il le souhaite.



**Figure 6 : Sketch et Spatial-Query-By-Sketch**

Le système est ensuite chargé d'interpréter le dessin obtenu pour en déduire les critères spatiaux volontairement exprimés par l'utilisateur[X1].

## 4. Problématique

Les langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales actuels se confrontent aux problématiques suivantes :

- La communication entre l'utilisateur et le système est souvent difficile et contraignante car le langage est imposé. Utiliser un moyen d'expression figé est une contrainte importante et même dissuasive pour l'utilisateur car chaque personne a ses préférences pour s'exprimer.
- Les langages proposés sont ciblés pour certains types d'utilisateurs. On ne peut ainsi satisfaire différents types d'utilisateurs : novices ou experts, personnes familières ou non aux SIG, maîtrisant ou non la géographie ou l'informatique.
- Les langages ne prennent pas en considération les préférences des utilisateurs dues à leur nationalité. Selon leur langue, culture et usages, les utilisateurs ont différentes préférences pour s'exprimer.

## 5. Résolution

Nous proposons la stratégie suivante pour palier les problèmes de communication dans les langages de requêtes pour Bases de Données spatiales :

- Notre système doit être adaptable : il doit permettre à l'utilisateur de choisir par quel moyen s'exprimer.
- En devenant adaptatif, le système découvre et reconnaît l'utilisateur. Il devine alors quel comportement avoir avec tel ou tel utilisateur qu'il sait avoir en face de lui.

### 5.1. Adaptabilité

Un système adaptable signifie que l'utilisateur peut choisir tel ou tel moyen d'expression. Ceci, selon ses préférences, sa convenance.

Voyons maintenant plus en détails quels sont les différents moyens d'expression.

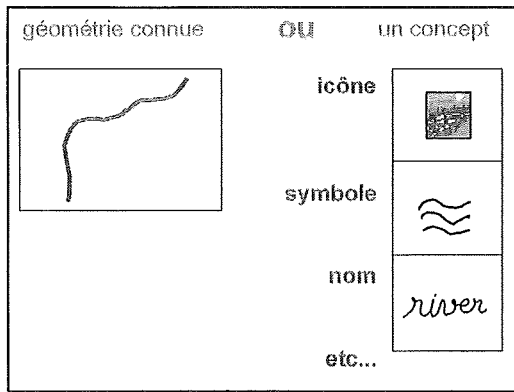
#### 5.1.1. Différents moyens d'exprimer un objet

Si la géométrie est connue, l'utilisateur peut dessiner la forme de l'objet. C'est le principe de *la métaphore du tableau noir* (Egenhofer97/Meyer92). Voir Figure 7.

Sinon, on utilise un concept (une métaphore) :

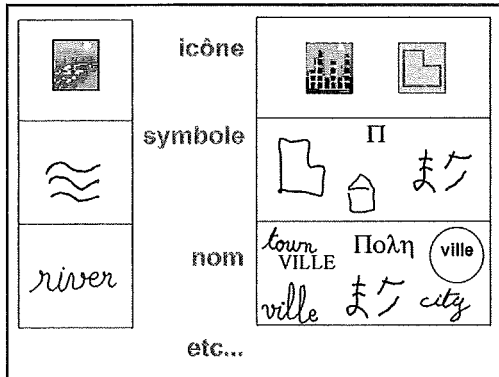
- Icône.
- Symbole.
- Nom manuscrit ou abréviation.
- etc ?..

Peut-être y a-t-il encore d'autres concepts. L'icône, le symbole et le nom sont ceux qui viennent naturellement à l'esprit.



**Figure 7 : Moyens pour exprimer un objet**

En fonction des préférences de l'utilisateur, l'icône, le symbole ou le nom peuvent se présenter différemment. Voir Figure 8. Mais tous ces moyens d'expressions sont synonymes, ils expriment la même chose, le même objet.



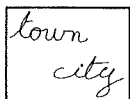
**Figure 8 : Synonymes pour exprimer un objet**

### 5.1.2. Les synonymes

Les synonymes améliorent la convivialité sur deux plans en même temps : sur le plan technique et communicationnel.

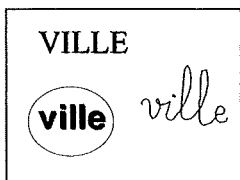
- Sur le plan technique, on voit par exemple Figure 9 que l'utilisateur peut vouloir désigner un objet sous des noms différents. Au niveau du SIG, la requête doit impérativement prendre en compte que pour l'utilisateur les deux noms désignent le même objet.





**Figure 9 : Synonymes techniques**

- Sur le plan communicationnel, on voit par exemple Figure 10 que de façon totalement indépendante des SIG et de la Base de Données, l'utilisateur peut vouloir exprimer un même nom de deux façons différentes. Disons de deux modes différents. Nous reviendrons dessus plus tard.



**Figure 10 : Synonymes communicationnels**

### 5.1.3. Langue, culture et usages

Un avantage important des synonymes est qu'ils nous délivrent des contraintes de la langue.

Selon sa langue, sa culture et ses usages, l'utilisateur peut choisir de s'exprimer de la façon qu'il préfère et connaît depuis toujours. Le système devient ainsi multilingue.

On remarquera que ce qui peut être perçu comme un nom par une personne peut aussi être perçu comme un symbole par quelqu'un d'autre (Figure 8). Si on réfléchit un peu plus loin dans cette direction, un tel système peut même devenir éducatif car chaque utilisateur, si on lui en donne la possibilité, va découvrir et s'habituer aux moyens d'expression des autres utilisateurs qui peuvent être étrangers. La question qui est ainsi très intéressante à se poser est : à terme, quelle émergence un tel système donnera-t-il ?

### 5.1.4. Différents moyens d'exprimer les relations spatiales

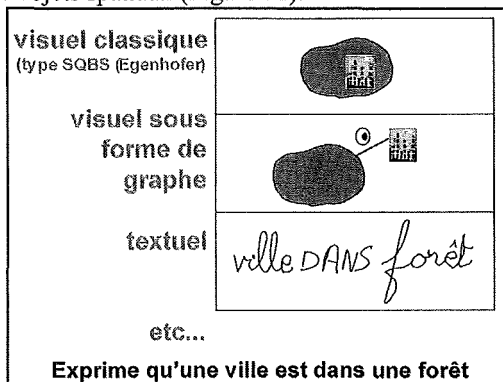
Voyons maintenant quels sont les différents moyens d'exprimer les relations spatiales entre les différents objets spatiaux.

Voici un exemple d'information spatiale : une ville qui est représentée par une icône est incluse dans une forêt dont on connaît sa forme

géométrique. Voyons trois différents moyens d'exprimer cette relation spatiale.

#### 5.1.4.1. Langage visuel classique

Un premier moyen d'expression est le langage visuel classique de type SQBS de Egenhofer. Le principe est que l'utilisateur dessine grossièrement les formes des objets spatiaux (Figure 11).



**Figure 11 : Moyens d'exprimer les relations spatiales**

C'est très utile et intuitif quand on connaît la géométrie des objets spatiaux, ainsi que pour exprimer le positionnement spatial des objets car on dispose des deux dimensions de l'écran pour décrire les deux dimensions de la surface de la Terre. Dans notre exemple, le fait d'avoir placé l'icône à cet endroit dans la forme peut signifier que la ville se trouve approximativement à cet endroit dans la forêt.

Mais cet avantage peut se retourner en inconvénient si, au contraire, on ne connaît justement pas le positionnement spatial de la ville dans la forêt.

#### 5.1.4.2. Langage visuel sous forme de graphe

Un autre moyen d'expression est d'utiliser un langage visuel sous forme de graphe. Le principe est que l'utilisateur dessine un graphe où les nœuds sont les objets, et les liaisons les relations entre objets (Figure 11).

On peut, par exemple, dessiner un trait entre l'icône et la forme géométrique et affecter à ce trait une inclusion topologique représentée.

Ce moyen d'expression utilise une syntaxe et une sémantique plus définie que le langage visuel classique pour exprimer les relations spatiales car on sait exactement entre quel et quel objet s'exerce telle ou telle relation spatiale. Par rapport à l'exemple précédent, nous savons exactement quelle

information nous avons ou non sur le positionnement spatial de la ville dans la forêt.

#### 5.1.4.3. Langage textuel

Un autre moyen d'expression est le langage textuel. Le principe est que l'utilisateur tape au clavier ou écrit de façon manuscrite une sorte de formule ou de code (comme par exemple SQL ou le langage pivot de **Bonhomme99a**). Voir Figure 11.

Ce moyen d'expression utilise aussi une syntaxe et une sémantique bien définie car comme pour le langage visuel sous forme de graphe, on sait exactement entre quel et quel objet s'exerce telle relation spatiale. Mais comme on l'a dit dans l'état de l'art, le langage textuel est aussi beaucoup trop technique pour certains utilisateurs.

Un inconvénient important des langages textuels et aussi des langages visuels sous forme de graphes est qu'ils présentent des problèmes de *redondance* ou *hyperstatisme*<sup>1</sup>.

Voici un exemple très simple : En langage textuel, l'utilisateur spécifie qu'une ville est incluse dans une forêt. Il spécifie aussi que la forêt est incluse dans la France. Il spécifie aussi que la ville est incluse dans la France. On voit que cette dernière information est redondante et inutile car on aurait pu la déduire par transitivité. Dans ce cas, ce n'est pas gênant mais cette redondance peut devenir un véritable problème si l'utilisateur spécifie comme dernière information que la ville est, par exemple, disjointe de la France, car alors l'information spatiale devient éronnée.

On voit que représenté sous forme de langage visuel classique, nous n'avons pas ce problème de redondance (Figure 12).



**Figure 12 : Pas d'hyperstatisme en langage visuel classique**

Utiliser un langage textuel ne constitue pas vraiment une difficulté supplémentaire car, au niveau de la Base de Données, c'est un langage textuel de type SQL qui l'interroge. Nous sommes donc de toutes façons obligés de transcrire la requête en langage textuel pour interroger la Base de Données. Pourquoi alors ne pas utiliser ce langage textuel par lequel

---

<sup>1</sup> Notion de *Subsumption* de Meyer92

nous devons de toutes façons passer pour enrichir notre communication homme-machine, en le mettant lui aussi à la disposition de l'utilisateur ?

#### 5.1.4.4. Proposition

Au regard des trois exemples en 5.1.4, de moyens d'expression pour exprimer une relation spatiale, on constate que chaque moyen d'expression a ses avantages et ses contraintes. Et on s'aperçoit qu'il n'existe pas de "meilleur" moyen d'expression.

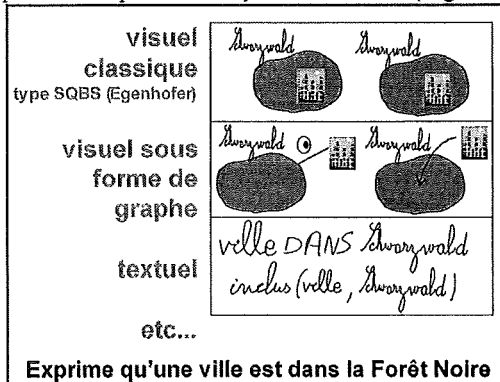
L'idée est donc la suivante : N'aurait-on pas intérêt à éventuellement croiser ces différents moyens d'expression pour en retirer les avantages de chacun ?

En mettant à la disposition de l'utilisateur tous les moyens d'expression possibles, cela augmente la convivialité car l'utilisateur peut ainsi choisir le moyen d'expression qu'il préfère.

De plus, c'est éducatif car à force d'utilisation, l'utilisateur va apprendre en fonction du type de requête, quel est le moyen d'expression le plus adapté. On voit donc que non seulement le système s'adapte à l'utilisateur mais que, à terme, l'utilisateur s'adaptera aussi au système[X2].

#### 5.1.5. Les synonymes

Comme pour les objets spatiaux des synonymes permettent d'exprimer les relations spatiales de plusieurs façons différentes (Figure 13).



**Figure 13 : Synonymes pour exprimer les relations spatiales**

L'utilisateur, pour notre information spatiale exemple, peut choisir :

- L'icône est simplement dessinée dans la forme.
- Une flèche de l'icône pointe dans la forme.

- Un trait entre les deux objets est affecté par une relation topologique d'inclusion représentée.
- L'icône est dessinée dans la forme. L'icône est d'une couleur ou encadrée d'une couleur.
- etc...

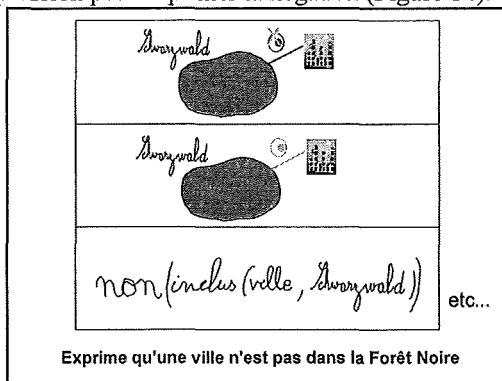
Tout ceci parce que, selon l'utilisateur, cela indique un positionnement indéterminé.

On pourrait aussi utiliser l'animation et le temps:

- L'icône est dessinée dans la forme et se déplace dans toute la forme.
- L'icône est dessinée dans la forme et bouge un peu là où elle a été dessinée.
- L'icône est dessinée dans la forme. L'icône est clignotante.
- L'icône est dessinée dans la forme et émet une onde dans la forme.
- etc...

#### 5.1.6. La négation

Voici un autre exemple d'information spatiale qui illustre différents moyens d'expression pour exprimer la négation (Figure 14).



**Figure 14 : Synonymes pour exprimer la négation**

L'utilisateur peut choisir:

- On dessine une croix ou on raye ce qui doit être " négatif ".
- On dessine ou affiche ou encadre en rouge ce qui doit être " négatif ".
- etc...

Tout ceci parce que, selon l'utilisateur, cela exprime la négation.

On pourrait encore utiliser l'animation ici :

- On dessine ou affiche ou encadre en rouge clignotant ce qui doit être “ négatif ”.
- etc...

### 5.1.7. Multimodalité

Pour satisfaire aux préférences de l'utilisateur, le système doit être multimodal. C'est-à-dire que l'utilisateur qui préfère par exemple utiliser le clavier plutôt que la souris, doit avoir cette possibilité. Par exemple, certaines sociétés comme la NASA développent actuellement des projets d'interfaces homme-machine en trois dimensions en pariant sur un avenir où le moniteur habituel est remplacé par un casque 3D.

Un mode qui semble des plus prometteurs dans les langages de requête visuels est la tablette graphique. C'est ce que préconisent **Egenhofer97** et **Meyer92** dans leurs langages visuels d'interrogation SQBS et SKETCH! La tablette graphique permet à l'utilisateur de (Figure 15) :

- Tracer à main levée la forme géométrique des objets spatiaux quand il connaît leur géométrie.
- Désigner de façon manuscrite les objets, c'est à dire de façon naturelle et facile même pour une personne qui ne sait pas, parce qu'elle n'a jamais appris à taper au clavier.

De façon générale, la multimodalité permet de palier les handicaps de certains utilisateurs comme par exemple les aveugles ou les mal voyants en leur offrant un interface vocale par exemple (**Vivier99**).

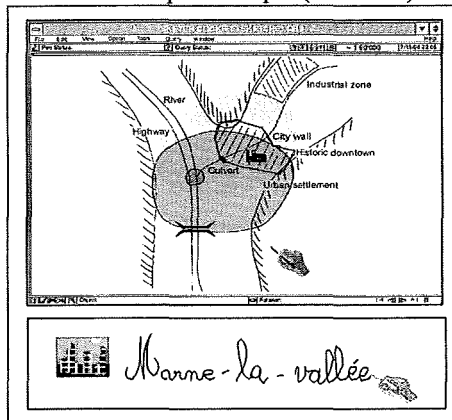


Figure 15 : Tracé et désignation avec la tablette graphique

La multimodalité offre différents moyens d'expression mais uniquement communicationnels. Par exemple, le fait que l'utilisateur écrive à la main le nom d'un objet ou bien qu'il le tape au clavier, n'intervient pas au niveau du SIG et de la Base de Données. Les avantages de la multimodalité se retrouvent d'un système à un autre.

## 5.2. *Adaptativité*

Pour que le système soit adaptatif, c'est à dire qu'il découvre et reconnaisse les différents utilisateurs, il faut créer une base de profils utilisateurs.

Ensuite il faut que le système fasse de l'apprentissage sur cette base de profils utilisateurs en observant l'utilisateur : ses actions, ses choix, ses préférences, etc.

## 6. Validation

Pour valider cette idée, une maquette intégrant toutes ces notions est actuellement en cours de développement.

Elle permettrait, dans un premier temps, d'offrir une interface entièrement paramétrable au niveau des moyens d'expressions utilisables.

Nous travaillons beaucoup sur le modèle qui doit être complet pour comporter tous les composants d'une requête.

Afin que le système soit utilisable par le plus grand nombre et facilement récupérable, nous essayons dans la mesure du possible d'utiliser les normes comme SQL, ainsi qu'en implémentant en JAVA.

Nous essayons de faire en sorte que le système soit facilement accessible en le mettant utilisable sur le WEB, ce qui facilite aussi beaucoup toutes les phases de tests.

L'architecture de tout ce système est en cours de conception et nous espérons effectuer des tests dans les mois à venir.

Dans un deuxième temps, nous essaierons de concevoir un système d'apprentissage sur l'utilisation de l'interface.

## 7. Conclusion et perspectives

Nous avons vu ce en quoi l'adaptabilité et l'adaptativité peuvent contribuer à résoudre les problèmes de communication homme-machine dans les langages d'interrogation pour Bases de Données spatiales.

Notre idée permettrait d'avoir un langage de requête :

- Convivial, intuitif.
- Multilingue.
- Adaptatif (utilisable par les utilisateurs fréquents ou occasionnels, par les experts comme les non-experts en géographie ou en informatique).

L'interface serait alors :

- Multimodale.
- Multi plates-formes.
- Accessible sur le WEB.

Pour l'instant, le système a été réfléchi pour le domaine des SIG, mais la partie "adaptativité" pourrait être utilisable dans d'autres domaines dans l'avenir.

Actuellement, nous n'avons aucune idée de la puissance de traitement nécessaire pour qu'un tel système tourne convenablement, notamment au niveau du débit des réseaux, mais grâce à la continuelle croissance de la puissance des machines et grâce à l'arrivée des réseaux à hauts débits, on peut rester confiants pour l'avenir.

Comme perspective, il est intéressant de réfléchir à l'utilisation des deux, voire trois dimensions spatiales et du temps (animations, requêtes spatio-temporelles, etc).

Désormais, nous devons réaliser la maquette et il serait très intéressant d'implémenter un banc d'essai sur le WEB pour tester toutes ces notions et la maquette auprès d'un panel d'utilisateurs le plus large possible.

## 8. Bibliographie

- Aufaure95**      Aufaure-Portier, M.A. (June 1995) , A High Level Interface Language for GIS , *Journal of Visual Language and Computing*, 6 (2), pp. 167-182, Academic Press
- Aufaure96**      Aufaure-Portier, M.A., Trepied, C. , A Survey of Query Languages for Geographic Information Systems , *Proceedings of IDS-3 (third International Workshop on Interface of Database)*, Springer Verlag's Electronic Workshops in Computer Series, Edinburgh, United Kingdom , 14p., July 1996



- Bonhomme98** Aufaure-Portier, M. A., Bonhomme, C., Lbath, A. , Un langage visuel d'interrogation de bases de données spatiales , *BDA'98, 14èmes Journées de Bases de Données Avancées*, Hamammet, Tunisie , pp. 425-445 , 26-30 Octobre 1998
- Bonhomme99a** Aufaure-Portier, M. A., Bonhomme, C. , A High Level Visual Language for Spatial Data Management , *Third International Conference on Visual Information Systems, VISUAL'99*, Amsterdam, The Netherlands , pp. 325-332 , June 2-4, 1999
- Egenhofer97** Egenhofer, M. (1997), Query processing in Spatial Query By Sketch , *journal of Visual Language and Computing*, **8** (4), pp. 403-424
- Gaio98** Gaio, M., Buléon, P., Boursier, P. (1998), L'antéserveur géographique, un système intuitif pour accéder à l'information géographique , *actes des Journées Cassini 1998, Revue internationale de géomatique*, **8** (1-2), pp. 45-58 , Université de Marne-la-Vallée , 25 Novembre 1998
- Laurini98** Laurini, R., Thompson, D. (1998), *Fundamentals of spatial information systems* , Academic Press, sixth printing, ISBN 0-12-438380-7
- Meyer92** Meyer, B. , Beyond icons : towards new metaphors for visual query languages for spatial information systems, Ed. R. Cooper, *Proceedings of the first International Workshop on Interfaces to Database Systems, Springer-Verlag 1993*, pp. 113-135, 1992
- Vivier99** Vivier, J., Zreik, K. , Spécificité de la référencement dans un document "télé-conçu" , *Colloque International sur le Document Electronique*, Université de Damas, Syrie, pp. 29-41 , 5-7 Juillet 1999



# De l'illustration à la schématisation

Clairette KARAKASH

*clairette.karakash@theol.unine.ch*  
*Institut romand d'herméneutique et de systématique*  
*Fbg de l'Hôpital 41, CH-2000 Neuchâtel, Suisse*

## Introduction

Au sens large du terme, les représentations graphiques comprennent aussi bien des photographies, des images virtuelles, des dessins et des icônes que des plans, cartes, coupes, croquis, schémas et graphes.

Une réflexion sur les représentations graphiques de systèmes complexes, naturels ou artificiels, peut donner lieu à trois approches au moins:

- Une approche épistémologique, qui s'intéresse à la relation entre la représentation et la chose représentée – phénomène, processus, concept, raisonnement. D'une part, il s'agit d'examiner quel rôle joue la représentation graphique dans la connaissance et la compréhension du réel. Dans une perspective critique d'autre part, il en va de la pertinence des représentations, de leurs limites et de leurs conditions de validité.
- Une approche cognitive focalisée sur la relation que les représentations graphiques entretiennent avec les structures psychologiques et neurophysiologiques. Dans cette optique, la représentation est considérée comme le reflet du fonctionnement et de l'organisation de l'esprit humain et fait partie intégrante des théories à ce sujet (apports du mouvement gestaltiste, schèmes piagétiens, constructivisme, cognitivisme, modularité fodorienne de l'esprit, etc.) D'un point de vue méthodologique, l'une des difficultés en la matière consiste à faire la part de l'inné et de l'acquis, de l'individuel et du social, de l'universel et du particularisme culturel.
- Une approche communicationnelle qui considère la représentation graphique comme un langage et qui s'efforce de saisir sa spécificité par rapport aux autres systèmes sémiotiques. Dans ce domaine, il importe de distinguer les formes et les fonctions de la représentation, ses destinataires, ses enjeux.

Après avoir esquissé une typologie fonctionnelle des représentations graphiques associées à des textes, des discours ou des actions, nous prendrons quelques exemples dans le domaine de la communication scientifique publique, puis nous finirons par quelques réflexions sur le schéma et la schématisation. Ces propos n'ont pas d'autre prétention que de servir d'apéritif aux échanges de Rochebune 2000.

## 1. Esquisse d'une typologie fonctionnelle

Dans sa classification des représentations graphiques cotextuelles, Risler<sup>1</sup> distingue trois classes de représentations:

- les "représentations graphiques icôniques, démonstratives, descriptives ou explicatives". Du point de vue formel, elles font appel à la reproduction (photographie, copie) à la schématisation (croquis, schéma) ou à la symbolisation (icône, image publicitaire, caricature).
- les représentations graphiques topologiques et topographiques (coupes et plans, cartes cosmologiques, géologiques, géographiques, thématiques), dont le dénominateur commun est la visualisation de positions relatives dans l'espace.
- les représentations graphiques non dotées de formes concrètes (structures, systèmes d'ordre, relations, organigrammes), exprimées sous la forme de réseaux d'arcs et de noeuds, de diagrammes, de tableaux, etc.

Sans mettre en question la pertinence de cette typologie formelle, nous voudrions attirer l'attention sur les principales fonctions remplies par les représentations graphiques :

- ◆ fonction **monstrative et illustrative**: des planches anatomiques de Vésale aux atlas interactifs contemporains, l'image a pour rôle de visualiser des objets ou des phénomènes. La qualité majeure requise de ce type d'image est la fidélité.
- ◆ fonction **prospective**: des premières radioscopies aux photos prises par satellite ou aux coupes obtenues par scanning lors d'un examen médical, l'image constitue une donnée fondamentale dans la quête d'informations sur des objets inaccessibles à l'oeil humain. La validité de ce type d'image dépend, entre autres, de la fiabilité des appareils utilisés.

---

<sup>1</sup> Risler R. (1998). Typologie des représentations graphiques cotextuelles. *Schéma et schématisation, revue de schématologie et de bibliologie* 47, 46-52.

- ◆ fonction **pratique**: la présentation d'un appareillage ou d'un dispositif expérimental a pour fonction d'en faciliter la reproduction, à titre de vérification des résultats ou de développement des investigations. L'image virtuelle sert d'aide à la conception dans des domaines toujours plus nombreux (architecture, aménagement du territoire, régulation du trafic, etc.). La carte permet de s'orienter sur le terrain. Le schéma d'un circuit électronique permet de le réaliser ou de le modifier.
- ◆ fonction **explicative**: les représentations graphiques à but didactique (croquis, schémas, graphes, etc.) servent à traduire un concept, un processus, une liste de chiffres, une formalisation mathématique, voire une théorie, dans un autre système sémiotique que le langage source. Elles peuvent aussi servir d'intermédiaires dans la conceptualisation et la construction de modèles ou de systèmes.
- ◆ fonction **symbolique**: l'image publicitaire, la caricature, l'illustration de presse peuvent servir à renforcer ou détourner le sens du message textuel/verbal, à suggérer des rapprochements, à susciter des émotions ou simplement à capter l'attention.

La diversité des catégories fonctionnelles excède celle des catégories formelles énumérées par Richler. D'ailleurs, lors du pointage qu'il a effectué dans diverses revues de vulgarisation scientifique, il a repéré nombre d'images "sans rapport avec le sujet traité"<sup>2</sup>. Examiner la fonction permet d'affiner la typologie fondée sur des critères purement formels.

## 2. Exemples de relation image-texte dans la communication scientifique publique

### 2.1. *La pompe à air de R. Boyle*

Dans leur fort belle étude sur la controverse qui opposa Boyle à Hobbes et à quelques autres, Shapin et Schaffer<sup>3</sup> relèvent que l'illustration fit son apparition dans les traités scientifiques au XVII<sup>e</sup> siècle. Boyle prit soin de publier des planches réalistes montrant avec force détails les divers modèles de pompes à air utilisés pour ses expériences.

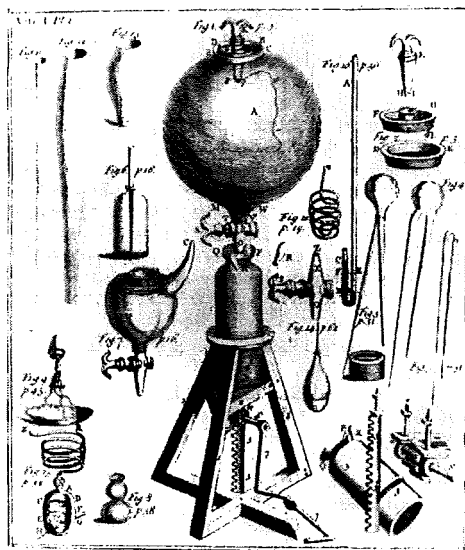
Pourquoi publier des gravures – entreprise alors onéreuse et inhabituelle? Effectuées d'abord en plein air puis en laboratoire grâce à un outillage *ad hoc*, les expériences firent apparaître des phénomènes nouveaux, suscitant

---

<sup>2</sup> *Ibid.* p. 51.

<sup>3</sup> Shapin, S., Schaffer, S. (1993). *Léviathan et la pompe à air: Hobbes et Boyle entre science et politique* (traduction de l'anglais par Th. Piélat avec la collaboration de S. Barjanski). Paris: La Découverte.

à la fois la curiosité et la suspicion. Ces phénomènes produits artificiellement offraient-ils la même évidence que ceux qui adviennent naturellement et que chacun peut observer? Comment parvenir à une connaissance fiable et générale de la nature sur la base d'artefacts? Prendre le fait expérimental comme fondement d'une connaissance de la nature n'allait pas de soi autour de 1650: la méthode scientifique était encore à inventer!



III. 21. La première pompe à air de Robert Boyle. Source : Robert Boyle, *New Experiments Physico-mechanical Touching the Spring of the Air* (1660).

Fig. 1<sup>4</sup>

L'effort de Boyle et Hooke, dans le cadre social de la Royal Society, consista à couper court aux spéculations métaphysiques en instaurant une nouvelle pratique et une nouvelle forme de discours: l'expérimentation dans un espace public et son compte rendu minutieux, signé par des témoins oculaires dignes de foi. Il en fallait toutefois davantage pour convaincre les détracteurs de la méthode expérimentale naissante. Si la valeur d'une expérience venait à dépendre d'un consensus intersubjectif et non d'une démonstration rigoureuse comme en mathématique ou en

<sup>4</sup> Shapin, S. (1998). *La révolution scientifique*(traduction de l'anglais par C. Larssonneur). Paris: Flammarion, p. 122.

géométrie, encore fallait-il prouver que les phénomènes observés étaient reproductibles ailleurs et par d'autres expérimentateurs. C'est la raison pour laquelle Boyle a jugé nécessaire de publier des dessins de son dispositif expérimental: d'une part, pour inciter les savants à reproduire ses expériences, en leur fournissant les moyens de construire une pompe à air suffisamment étanche; d'autre part, pour faire de ses lecteurs, par image interposée, des spectateurs virtuels de l'expérience effectuée, donc des témoins par procuration.

A l'aube de la science expérimentale, l'illustration devint une partie intégrante de l'argumentaire scientifique.

## 2.2. Dessine-moi un champ électrique!

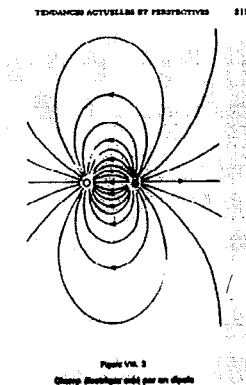


Fig. 2<sup>5</sup>

Il est certainement possible de traduire en français courant la fonction mathématique d'un champ électrique. Mais il est probablement plus économique et pédagogique de la représenter au moyen d'un graphe sans valeurs numériques.

## 2.4. Dessine-moi un paradoxe

Comme le prouvent les dessins d'Eschler, il est possible de dessiner un paradoxe. Sans aucun doute, ses dessins valent mieux que le long discours qu'il faudrait faire pour décrire ces paradoxes visuels par téléphone ou à la radio. Prenons le cas inverse: il arrive parfois qu'un formalisme

<sup>5</sup> Cohen-Tannoudji, G., Spiro, M. (1986). *La matière-espace-temps*. Paris: Fayard, p. 211.

mathématique, ou une théorie exprimée dans un langage spécialisé, s'avère trop difficile à interpréter par des destinataires non initiés. La solution consiste alors à proposer une métaphore. C'est ce qu'ont risqué Pharabod et Ortolí dans leur remarquable ouvrage de vulgarisation sur la mécanique quantique. Ces physiciens recourent à la métaphore du poisson soluble, pour parler du comportement des entités quantiques, et à celle du pêcheur à la ligne, pour expliquer la réduction de la fonction d'onde lors de la mesure. A l'aide d'une image verbale et de sa représentation graphique, ils exposent au grand public le paradoxe d'Einstein-Podolsky-Rosen.

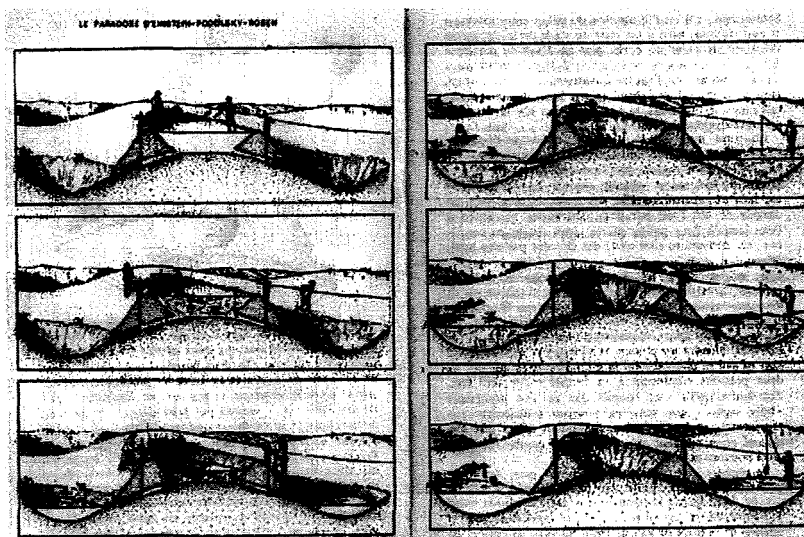


Fig. 3<sup>6</sup>

*“Le pêcheur, accompagné de son fils, vient encore une fois de prendre deux petits poissons dans un ruisseau et les amène encore vivants jusqu'à une mare assez spéciale. Cette mare en effet, située sur un monticule, est drainée en son fond par deux dérivations qui amènent l'eau jusqu'à deux petites mares vides situées en contrebas, ces dérivations sont obstruées chacune par une petite écluse.*

*Le pêcheur jette les deux petits poissons à l'eau; aussitôt ils se dissolvent en une étrange combinaison de deux poissons solubles. Puis le pêcheur et son fils relèvent chacun une des écluses. L'eau s'écoule complètement vers les deux petites mares, et finalement chacune de ces petites mares contiendra un poisson soluble, alors qu'il n'y aura plus ni*

<sup>6</sup> Pharabod, S., Ortolí, J.-P. (1984). *La cantique des quantiques*. Paris: La Découverte, pp. 18-19.



*eau ni poisson dans la mare principale (en fait les deux poissons continuent à ne former qu'un seul être, c'est-à-dire qu'ils seront couplés par un lien mystérieux "hors espace" que nous ne pouvons évidemment pas représenter; en toute rigueur, il vaudrait mieux dire que chaque mare contient une partie de la combinaison des deux poissons solubles.) Le pêcheur jette sa ligne dans la petite mare de droite, tandis que son fils s'allonge sans rien faire près de celle de gauche. Mais quand le poisson de la mare de droite mord à l'hameçon et est sorti de l'eau, immédiatement le poisson de la mare de gauche jaillit lui aussi de l'eau et est projeté auprès du fils du pêcheur, qui n'a plus qu'à le ramasser sur l'herbe.*

*C'est la célèbre expérience d'Aspect; elle a été faite non pas avec des poissons, mais avec des photons .."*

Si la représentation graphique ci-dessus ne s'accompagnait pas d'un texte en langue naturelle, mais uniquement des formules des fonctions d'onde et de leurs transformations, serait-elle compréhensible au commun des mortels? Probablement pas (même indépendamment du fait que la reproduction du dessin est de qualité médiocre...!). En l'occurrence, la compréhension de la représentation graphique nécessite le passage par le langage ordinaire pour accéder à la compréhension de l'interaction à distance des entités quantiques. Une fois l'explication verbale donnée, le dessin est une forme économique d'instruction, un résumé signifiant tenant lieu d'un discours plus ou moins long (comme peuvent l'être les flèches et les icônes des toilettes ou des téléphones dans les lieux publics).

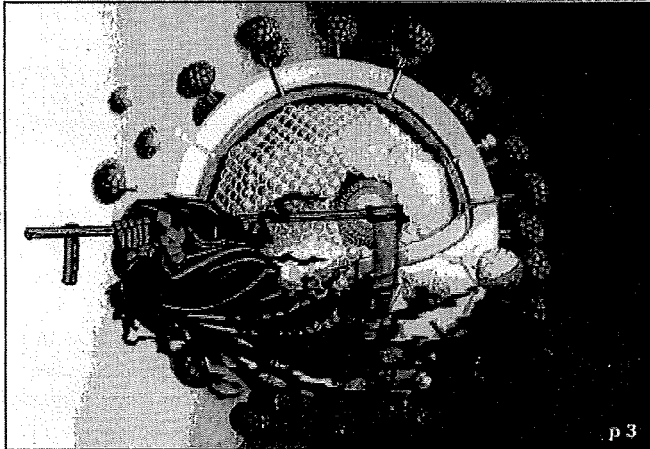
Un autre aspect de la question consisterait à examiner si l'interprétation proposée par le biais de la métaphore rend justice à cet élément de la théorie quantique. Lors de la traduction d'un langage dans un autre, il y a toujours une perte. Le prix à payer pour communiquer – c'est à dire transférer un complexe de significations d'un contexte à un autre – est-il trop élevé? Cette question ne saurait admettre de réponse générale ni unique, car elle dépend de l'auditoire et des buts visés par la communication.

### *2.3. Détournement de sens par l'image*

Dans l'exemple de la figure 4, l'image semble contredire le message du titre. Il faut, bien sûr, tenir compte du fait que cet exemple est tiré d'un quotidien, et que le rédacteur de l'article ne choisit généralement pas les illustrations placées en regard de son texte. Il n'empêche qu'au niveau de la réception une dissonance apparaît entre le texte et l'image: dissonance voulue ou reflet de l'imaginaire social?

# Journée mondiale du sida

## Une petite lueur d'espoir



Et la recherche n'a pas encore permis d'entrevoir des signes de guérison, les Nations Unies font état de signes encourageants: pour la première fois, la propagation de l'infection (photo: virus VIH) donne des signes de ralentissement dans les pays les plus touchés. photo: a-tisser

Fig. 4<sup>7</sup>

Plus la communication publique des découvertes et des recherches scientifiques s'éloigne de sa source pour toucher un large public, moins les illustrations insérées en marge du texte servent d'explicitation ou de visualisation de leur message. Leur rôle ne réside pas dans une complémentarité avec le message verbal, mais elles servent à attiser la curiosité d'un lecteur qui, en leur absence, ne s'arrêterait peut-être pas sur un article à teneur scientifique.

Il en va pour les représentations graphiques comme pour les mots: leur sens dépend de leur usage.

### 3. "Penser c'est schématiser"

#### 3.1. *Le schéma*

<sup>7</sup> Illustration tirée de *L'Express* (quotidien neuchâtelois), 30 novembre 1996, p. 3.

Un schéma offre une représentation simplifiée d'un objet, d'un phénomène ou d'un processus, à des fins didactiques ou pratiques. Contrairement au modèle, à la maquette ou à la carte topologique, le schéma ne contraint pas à conserver la proportionnalité des grandeurs en jeu, la relation qu'il entretient avec l'objet étant plutôt d'ordre qualitatif que quantitatif. Il sert à mettre en évidence certaines relations structurelles ou fonctionnelles.

Exemple: le plan griffonné à la hâte pour indiquer à son interlocuteur comment se rendre à l'endroit voulu. Seules les bifurcations et les repères essentiels figurent sur ce plan. Etant donné le but poursuivi, il n'est pas nécessaire de quantifier les distances. En revanche, s'il faut acheminer une grue au centre d'une ville, le plan du parcours à suivre devra, entre autres, tenir compte de la largeur des rues, de l'angle entre deux voies consécutives et d'éventuels obstacles (giratoires, travaux, etc.), cela à cause de la longueur du convoi. Mais il ne sera pas nécessaire d'établir une carte à l'échelle de toute la ville. L'exemple de "la boule dans la forêt", imaginé F. Gonseth<sup>8</sup>, décrit la marche à suivre dans un cas analogue.

*"Une plaine est recouverte d'une forêt assez dense, mais dont les arbres sont irrégulièrement distribués. Quelque part, à l'intérieur de la forêt, il y a une clairière, et dans cette clairière une grande boule. Il nous faut la faire rouler jusqu'en un point, peu importe lequel, de la lisière."*

*"Allons-nous nous précipiter sur la boule et la pousser au petit bonheur, en confiant au hasard le soin de trouver une issue : Si la boule est grande et les arbres serrés, nous n'irons peut-être pas bien loin. Un peu de réflexion pourra nous épargner bien des efforts superflus. Nous avons à notre disposition, supposons-le, une feuille blanche, un crayon, et un assez grand nombre de morceaux de papier. Commençons par tracer une image de la forêt adéquate à notre entreprise."*

*Nous représentons le point de départ, où gît la boule par un point A de la feuille blanche. Puis chaque arbre est à son tour représenté par un point selon le procédé que voici : On choisit parmi les arbres qui bordent la clairière trois arbres tels que le triangle qu'ils déterminent contienne la boule à son intérieur. Ces trois arbres vont recevoir les trois premiers numéros : 1, 2 et 3. Trois points 1, 2, 3 formant un triangle contenant A sont alors reportés sur la feuille blanche.*

*Dans le voisinage du " segment 1-2 " déterminé par les deux premiers arbres, choisissons-en un quatrième, de telle façon que le triangle 1, 2, 4 ne contienne, lui, aucun arbre. Sur la carte en devenir de la forêt, reportons un point 4, qui soit " conforme " au rôle qu'il doit jouer, ce qui est bien facile à réaliser et ainsi de suite...*

---

<sup>8</sup> Gonseth, F. (1936, 1974). *Les mathématiques et la réalité*, Paris: Blanchard, p. 226ss. F. Gonseth (1890-1975), mathématicien et philosophe, professeur de mathématique et de philosophie des sciences à l'École polytechnique fédérale de Zürich.

Rien ne nous empêche de supposer que la carte de la forêt ait été complètement et fidèlement exécutée suivant ce procédé. Mais elle n'est pas encore prête à nous rendre service. Revenons à l'arbre 1 et déterminons tous les arbres du voisinage qui ont, du premier, une distance plus petite que le diamètre de la boule<sup>9</sup>. Ce seront, disons, les arbres  $n_1, n_2... n_L$ . Traçons alors sur la carte des lignes rouges joignant 1 aux points voisins  $n_1, n_2... n_L$ . Ces traits rouges vont naturellement signifier que le passage entre les arbres correspondants est infranchissable.

Ceci fait pour tous les arbres sans exception, la carte est terminée. Nous pouvons tranquillement aller nous attabler à l'auberge voisine. Nous y pourrions à loisir découvrir la solution de notre problème, si elle existe : la carte va remplacer avec profit la forêt véritable.

Nous allons simplement la découper tout le long des traits rouges. Si elle se partage en un certain nombre de morceaux, il nous suffira de conserver celui qui contient A. Se ce dernier fragment contient une partie de la lisière, le problème peut être facilement résolu " en pensée " : nous aurons vite fait de tracer l'image d'un chemin possible. Sinon le problème est insoluble, naturellement.

Rien ne nous empêche maintenant de passer à l'exécution. A supposer que nous ayons découvert une solution " théorique ", il va falloir la réaliser sur le terrain. Mais la correspondance des numéros attribués aux points de la carte et aux arbres de la forêt est justement faite pour qu'il ne se présente plus aucune difficulté."

Ce texte fut écrit à une époque où la simulation informatique n'existait pas, mais la démarche proposée ressemble à celles qui président à la construction d'un modèle opératoire. Lorsque le schéma sert à planifier une action, il se rapproche du modèle et comporte des informations numériques. Le schéma et le modèle ne constituent pas une carte du paysage ni une reproduction du phénomène ou processus réel. Alors qu'est-ce que schématiser?

### 3.2. La schématisation

La schématisation opère une réduction de la complexité du réel qu'il représente, en sélectionnant uniquement l'information pertinente en fonction du but visé. Cette opération d'abstraction se double d'une structuration de l'information sélectionnée: "schématiser c'est penser". Penser c'est aussi organiser: établir des connexions, construire un réseau significatif.

Pour Risler<sup>10</sup>, il n'est légitime de désigner une représentation graphique par le terme de schéma que si ces trois paramètres sont coprésents:

<sup>9</sup> Le papier et le crayon ne suffisent pas: il faut aussi disposer d'un instrument de mesure!

<sup>10</sup> Risler, R. (1998). La notion de forme significative minimale et celle d'archétype dans les représentations graphiques. *Schéma et schématisation, revue de schématologie et de bibliologie* 48, 55-62.

- la finalité de "rendre visuellement évident ce qui, par définition ne l'est pas spontanément",
- une schématisation conceptuelle (réduction à l'information minimale nécessaire),
- une schématisation graphique. Le graphisme recourt à des "formes minimales significatives" (squelette permettant à quiconque de reconnaître l'objet), lorsque la représentation met en jeu des formes concrètes. Il s'appuie sur "des archétypes structurels" [ou structures graphiques fondamentales] lorsqu'il s'agit de mettre en évidence les objets ou concepts et leurs relations. Les archétypes structurels se composent de noeuds et de segments de lignes structurés de manière linéaire, arborescente ou réticulaire.

C'est une correspondance partielle et symbolique que le schéma entretient avec le réel. Le schéma décrit une partie du réel selon un point de vue particulier, choisi en fonction du but visé. La description qu'il en offre sera considérée comme conforme (Gonseth préfère le terme "idoine") au réel qu'elle capte dans son filet, si elle permet effectivement d'atteindre ce but.

D'un point de vue épistémologique, diverses questions méritent d'être débattues de manière transdisciplinaire:

- ♣ Quelle est la différence entre un graphe sans valeurs numériques, un modèle, un schéma? R. Estivals<sup>11</sup> a tenté de clarifier ces notions, tout en reconnaissant que les acceptions varient d'un locuteur à l'autre.
- ♣ Dans le cas où la validité d'un schéma ne peut être sanctionnée par l'expérience, comment évaluer sa pertinence (explicative, heuristique<sup>12</sup>)?
- ♣ Quels sont les gains et les pertes lorsqu'on interprète un message linguistique ou un formalisme logico-mathématique par une représentation graphique? Est-il possible d'énoncer quelques principes généraux? Une représentation graphique présente l'avantage sur un texte ou un discours d'échapper à la linéarité et à la temporalité: elle offre, de manière synchronique et synoptique, l'entier de l'information qu'elle recèle.

---

<sup>11</sup> Estivals, R. (1998). Théorie cognitive de la schématisation. *Schéma et schématisation, revue de schématologie et de bibliologie* 48, 7-54.

<sup>12</sup> Voir, dans ce volume, la contribution de Arnold, M. (1999). Le dessin dans l'activité de conception architecturale.

*«L'iconophilie, inhérente à la promotion des techniques graphiques, peut accuser la charge poétique du langage [verbal] de rester enfermée dans la sphère idéale d'un sens préalable à exprimer, alors que l'image, par le biais d'une construction spatiale et de l'attitude contemplative qu'elle suscite, ouvre un espace esthétique et herméneutique indéfini.»<sup>13</sup>*

L'interprétation indéfinie vaut-elle aussi pour les représentations graphiques scientifiques...?!

Sur le plan cognitif et communicationnel, d'autres questions appellent un traitement systémique:

- ♣ L'hypothèse de structures graphiques fondamentales (archétypes structurels) est-elle corroborée par les investigations conduites en psychologie expérimentale et par la phénoménologie?
- Il est communément admis, dans les milieux enseignants, que l'auditoire se partage entre "visuels" et "auditifs", d'où la recommandation de prévoir un enseignement audiovisuel. L'inclinaison des individus à comprendre préférentiellement l'image ou le discours est-elle fonction de l'éducation (d'une histoire personnelle liée au milieu social), d'une conjoncture (culture de l'image qui prend la relève de la culture de l'écrit) ou est-elle déterminée physiologiquement (prédominance du cerveau gauche sur le droit ou l'inverse)?

Conclusion: mieux vaut avoir un dessin et un discours qu'être pauvre et malade!

---

<sup>13</sup> Wunenburger, J.-J. (1997). *Philosophie des images*, Paris, Presses Universitaires de France, p. 22.

# Les modèles graphiques pour représenter l'organisation spatiale des activités agricoles

S. LARDON (\*), M. CAPITAINE (\*\*), M. BENOIT (\*\*).

\* INRA-SAD, 2 place Viala, 34000 Montpellier

\*\* INRA-SAD, Domaine du Joly, 88500 Mirecourt

*lardon@ensam.inra.fr ; capitain@mirecourt.inra.fr ;  
benoit@mirecourt.inra.fr*

---

## Résumé :

L'activité agricole transforme l'espace et l'espace conditionne les activités. Comprendre les interactions entre la dynamique des activités et la transformation de l'espace est un enjeu important pour l'agriculture qui doit répondre à de nouvelles demandes de la société, tant en termes de respect de l'environnement que de création de produits de qualité et de participation au développement territorial. Nous proposons une démarche instrumentée pour modéliser les dynamiques territoriales et aider les acteurs à concevoir des projets de gestion de l'espace. Elle repose sur la formalisation de modèles graphiques pour représenter des dynamiques et aider au raisonnement sur les évolutions possibles. Nous illustrons sur deux exemples l'intérêt d'une telle démarche qui donne une grande place à la représentation graphique et nous montrons comment se construit progressivement la traduction entre des dynamiques observées et des choix raisonnés d'actions.

Dans les deux exemples, la méthodologie est inspirée de la méthode des chorèmes élaborée par des géographes (GIP Reclus de Montpellier) et adaptée aux problématiques agronomiques. 'Un chorème est une structure élémentaire de l'espace qui se représente par un modèle graphique. Toute configuration spatiale relève de la combinaison, éventuellement très complexe, de mécanismes simples'. Ces configurations se comprennent par le jeu de quelques structures élémentaires inventoriées dans une grille chorématique. Elle fournit un référentiel de reconnaissance de formes et un potentiel de génération de formes qui contribuent à la fois au dialogue et au raisonnement.

La méthode des chorèmes est un langage qui oblige à expliciter notre compréhension des phénomènes pour communiquer avec d'autres et confronter nos points de vue. Les modèles graphiques rendent compte de stratégies spatiales et de logiques sous-jacentes aux observations. Ils ont une signification que l'on peut partager et sur laquelle on peut jouer pour interpeller les acteurs concernés. Si les règles de traduction entre les représentations des acteurs et celles objectivées dans les représentations spatiales produites sont encore à formaliser, il est clair que l'élaboration dynamique de tels schémas cognitifs fournit les termes d'un raisonnement, sinon d'une démonstration.

Le premier exemple concerne l'élaboration de modèles graphiques pour rendre compte des modalités d'organisation de l'espace par des élevages ovins extensifs du Sud du Massif Central. A partir d'études de cas, nous construisons progressivement les représentations des pratiques d'utilisation et de configuration du territoire des exploitations. Nous montrons que les deux principes organisateurs de l'espace, la polarité et le contraste, déclinés selon l'intensité de la différenciation de l'espace résument les différentes modalités mises en œuvre par les éleveurs. Cela fournit une grille de comparaison entre exploitations et de raisonnement des transformations des pratiques agricoles pour maîtriser à la fois la production et la gestion de l'espace. Les représentations graphiques sont le support d'analyse et de raisonnement. Leur élaboration progressive participe à la compréhension et à la résolution des problèmes de gestion.

L'organisation spatiale des territoires dans les exploitations agricoles de Lorraine constitue le deuxième exemple. Nous étudions la façon dont les agriculteurs perçoivent le territoire de leurs exploitations pour y organiser leurs pratiques. Il s'agit alors, en favorisant le discours des agriculteurs, d'identifier leurs conceptions sur leur territoire pour comprendre l'organisation spatiale qu'aurait pu décrire un agronome. Conceptions, territoire et organisations sont les objets sur lesquels repose notre travail et qu'il nous faut expliciter. Nous nous attachons à montrer le rôle que peut avoir un dessin lorsqu'il s'agit de recueillir le raisonnement d'agriculteurs sur l'espace et sur leurs activités dans cet espace. Et nous exposons comment une représentation graphique peut aider à décrire et à comprendre ce raisonnement.



Une réflexion initiée dans un séminaire de recherche INRA-Cemagref-ENGREF sur les 'Modèles Spatiaux pour le Développement Territorial' permet de généraliser notre questionnement de recherche : quel rôle peuvent jouer les représentations spatiales dans des dispositifs de recherche-action ? Pour quels acteurs, à quels moments, selon quelles modalités sont-elles utilisables et appropriables ? Quels itinéraires méthodologiques élaborer pour faire évoluer les représentations de l'espace des acteurs du développement et les modèles spatiaux produits par les chercheurs ? Nous pensons que les représentations spatiales sont des objets intermédiaires qui servent de traduction et de médiation entre différents points de vue. Les expériences en cours montrent la richesse potentielle d'une telle démarche qui demande à être expérimentée et validée.

### **Mots-clés :**

Modèle, représentations spatiales, raisonnement, agriculture.

---

### **Introduction :**

Comprendre les dynamiques territoriales, c'est apporter des connaissances sur les phénomènes à l'œuvre dans les territoires ruraux. Le territoire est le lieu où les activités humaines et les processus bio-physiques interagissent sur l'espace géographique. Les territoires ruraux, systèmes complexes où les activités et les processus sont divers, ont une forte dimension spatiale. Les activités humaines sont les activités de production agricole et de production forestière. Elles interviennent sur les processus bio-physiques et se concrétisent par la dynamique d'occupation du sol. Les systèmes techniques de production s'adaptent aux nouveaux enjeux, liés à l'évolution de la société et du milieu.

Aider à la conception de projets de gestion de l'espace, c'est apporter des connaissances sur les possibilités de maîtrise des processus bio-physiques par les activités humaines. Les projets sont les choix que les acteurs font pour leur territoire. Ils se concrétisent par les actes quotidiens qu'ils réalisent par leurs activités, plus particulièrement les actes techniques qui organisent l'occupation du sol, produisent le paysage et aménagent le territoire. La gestion territoriale nécessite une volonté collective des acteurs concernés et la mise en place de dispositifs organisationnels pour

coordonner leurs activités. Ainsi, les acteurs locaux, mais aussi les institutions qui mettent en œuvre les politiques publiques, sont concernés. Les logiques des différents acteurs et la façon dont ils peuvent coordonner leurs activités contribuent à une meilleure intégration territoriale.

L'enjeu de ce papier est de montrer l'intérêt de cette démarche de modélisation spatiale dans l'élaboration de connaissance et l'aide à la décision pour la gestion de l'espace. Nous illustrons sur deux exemples l'intérêt d'une telle démarche qui donne une grande place à la représentation graphique et nous montrons comment construire progressivement la traduction (Jeantet, 1998) entre des dynamiques observées et des choix d'actions dans des itinéraires méthodologiques.

## **1. Comprendre et agir sur l'espace**

### *1.1. Problématique*

La modélisation spatiale est une démarche d'analyse et de synthèse de la transformation de l'espace par les activités et les processus. Elle permet de décrire les différenciations de l'espace, de caractériser les organisations spatiales et l'intégration des activités, dans le temps et dans l'espace. Elle permet de comprendre les dynamiques territoriales, par l'identification d'objets spatiaux, la caractérisation des découpages de l'espace par les acteurs et le passage d'un niveau d'organisation à l'autre, ainsi que la formalisation des stratégies spatiales des acteurs et de leurs représentations de l'espace. Les représentations spatiales issues de cette modélisation fournissent les supports de dialogue et de raisonnement pour la conception de projets territoriaux. Elles participent à la construction d'une démarche instrumentée pour le développement territorial.

### *1.2. Méthodologie*

La méthode des chorèmes a été proposée par les géographes pour étudier les lois d'organisation régionale (Brunet, 1980, 1986). Un chorème est une structure élémentaire de l'espace qui se représente par un modèle graphique. Toute configuration spatiale relève de la combinaison éventuellement très complexe de mécanismes simples. Ces configurations se comprennent par le jeu de quelques structures élémentaires inventoriées dans une grille chorématique. Ces modèles rendant compte à la fois des formes spatiales observées et de leur signification fonctionnelle traduisent sept processus majeurs mettant en évidence les structures de l'espace

(maillage et quadrillage), les flux dans l'espace (attraction, contact et tropisme) et les modes d'articulation entre espaces (hiérarchie et dynamique territoriale).

Ce sont de bons outils de communication des connaissances pour faire comprendre les structures spatiales observées, à différentes échelles, celles où s'expriment les activités agricoles. Ainsi, nous pouvons décrire toute situation par un nombre limité de signes qui donnent du sens aux observations et interpréter des situations nouvelles par reconnaissance de formes en référence à la grille. C'est un outil de généralisation puissant qui permet de se détacher de la variabilité observée et facilite les comparaisons. Il est également possible de quantifier certains critères relatifs aux modèles graphiques, pour comparer différentes situations. L'intérêt des chorèmes est qu'ils sont indépendants de l'échelle, tant que les processus étudiés restent du même ordre. Le même modèle centre-périphérie peut représenter des dynamiques régionales de répartition de population ou des dynamiques locales de répartition des cultures, une métropole régionale ou une petite ville, une exploitation d'élevage de 1000 ha ou une exploitation de cultures spéciales de 10 ha, si c'est le processus d'attraction au centre qui structure les observations.

Cependant, il importe également de valider ces interprétations, en les mettant à l'épreuve de nouvelles observations. C'est la démarche inverse qui consiste à montrer qu'il est possible de générer des formes abstraites, rendant compte de la diversité du réel. Cela fait de la méthode des chorèmes un outil de spécialisation<sup>1</sup>. Nous disposons ainsi d'un moyen de validation des chorèmes, qui, du fait de leur essence a priori qualitative, se prêtent mal à l'évaluation. En effet, si l'extraction des connaissances est suffisante pour que la grille de figures élémentaires obtenues soit considérée comme complète, alors on pourra représenter toute nouvelle situation, par combinaison de ces modules élémentaires et évaluer les écarts au modèle. On se retrouve là dans une situation classique en Biométrie. Cela donne une assise plus formelle à l'utilisation des chorèmes qui acquièrent ainsi un statut de méthode réversible, pour décomposer et recomposer les situations réelles.

---

<sup>1</sup> Le terme spécialisation est utilisé ici dans son sens informatique de dériver plusieurs représentations spécifiques à partir d'une classe abstraite regroupant les caractéristiques communes. C'est l'opération inverse de la généralisation.

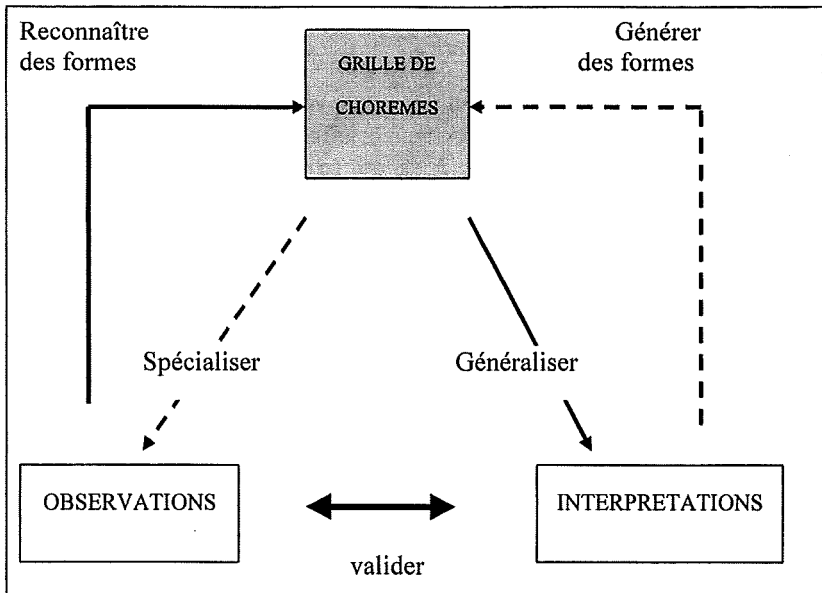


Figure 1 : Place de la grille de chorèmes dans la problématique.

On se place du point de vue du chercheur. Soit la grille de chorèmes sert de référence pour reconnaître des formes dans des situations observées et pour les interpréter par généralisation (exemple 2 ci-dessous), soit l'interprétation de situations connues permet de générer des formes et de constituer une grille de référence pour analyser des observations nouvelles, par spécialisation (exemple 1 ci-dessous).

L'idée est alors d'utiliser les chorèmes comme fil directeur dans des itinéraires méthodologiques. En effet, ces outils semblent avoir toutes les qualités nécessaires. Ce sont de bons outils de description et de communication, dès lors que l'alphabet est spécifié. Ils sont performants, malgré la simplification qu'ils nécessitent, et permettent de comprendre la grande diversité du monde vivant, avec un nombre restreint de signes. Les chorèmes sont des outils de généralisation, par reconnaissance de formes et des outils de spécialisation, par genèse de formes. On a ainsi la double correspondance entre observation et interprétation, qui permet la validation et élève la méthode des chorèmes, qui est intrinsèquement qualitative, au rang des méthodes quantitatives, parce qu'on peut tester les hypothèses, on ne reste pas dans le champ de l'expertise. Nous voudrions montrer que les

chorèmes sont de bons outils d'intégration, à la fois pour combiner et pour relier.

## **2. Les stratégies spatiales des élevages ovins extensifs du Sud du Massif Central**

Les acteurs agissent sur l'espace, en fonction de leurs objectifs, de leurs contraintes et des enjeux qu'ils identifient. On peut observer leurs pratiques, elles répondent à ces critères et intègrent le fait qu'ils prennent plus ou moins d'importance à certains moments ou à certains lieux dans le raisonnement des acteurs. Il importe d'extraire les logiques sous-jacentes aux actions des acteurs, même si on ne reconstruit pas tous les mécanismes de la prise de décision, et de les formaliser en terme de stratégie.

Nous analysons les stratégies d'organisation de l'espace des exploitations du Causse Méjan (Osty & Lardon, 1999). Les éleveurs organisent leurs activités dans le temps et dans l'espace selon leurs objectifs de production. Cette organisation dépend des modalités de mise à la reproduction et de commercialisation des animaux, qui déterminent les périodes et l'intensité des besoins alimentaires. Elle tient compte des ressources disponibles sur le territoire des exploitations, par l'intermédiaire des stocks réalisés sur les champs et du pâturage des parcours. Ces ressources sont générées par des pratiques d'amélioration des champs et d'aménagement des parcours, qui interfèrent avec la dynamique spontanée de la végétation. Les stratégies d'organisation de l'espace des exploitations peuvent donc être un outil d'évaluation de l'impact des activités d'élevage sur la protection de l'environnement, par exemple dans la maîtrise de l'embroussaillage.

La méthodologie proposée (Naïtlho & Lardon, 1999) repose sur la formalisation des stratégies spatiales des acteurs. Il s'agit de décrire les principes organisateurs de l'espace en référence à la connaissance que l'on a des pratiques des éleveurs et des caractéristiques de l'espace. Nous avons procédé par analogie avec la méthode des chorèmes, en l'adaptant au niveau individuel des exploitations agricoles.

La démarche se déroule en deux phases complémentaires. La première analyse les modalités d'organisation de l'espace d'une exploitation agricole, en partant des fonctionnements techniques qui produisent des formes spatiales. On décrit ainsi la structure, l'utilisation et la

configuration du territoire<sup>2</sup> d'une exploitation agricole. La seconde construit une grille de référence des modèles spatiaux à partir des études de cas et des principes organisateurs de l'espace. L'organisation spatiale d'une exploitation peut alors être décrite par la combinaison de ces modèles élémentaires.

### *2.1. Représenter les pratiques agricoles dans l'espace*

L'exemple présenté ici est une exploitation d'élevage située dans le Causse nu. C'est une propriété familiale depuis plusieurs générations. Elle produit des agneaux de parcours, valorisés en production biologique, du miel, vendu directement sur l'exploitation et un atelier d'engraissement de porcs, pour la transformation charcutière. Des boisements de pins noirs ont été réalisés sur l'exploitation il y a une trentaine d'années.

A l'aide de représentations schématiques, nous décrivons la structure de l'exploitation, l'utilisation pastorale du territoire qui y est faite et la manière dont ce territoire a été configuré (Figure 2).

Nous rendons compte du parcellaire et de l'occupation du sol (terres labourables, parcours ou reboisements), des aménagements ponctuels (bergerie, point d'eau) et linéaires (chemins, clôtures) et du bâti. Le schéma de la structure du territoire synthétise les informations fournies par les éleveurs sur la base de documents cartographiques précis et permet de visualiser globalement la structure du territoire. Il constitue le fond de modèle sur lequel sont reportées les données relatives à l'utilisation et à la configuration.

L'utilisation du territoire indique l'affectation, à différentes périodes de l'année, des parcelles aux lots d'animaux. Au cours de la campagne annuelle, le troupeau fait l'objet d'interventions techniques : la lutte et la mise-bas des mères, le sevrage des jeunes (agneaux et agnelles), la mise à la reproduction des agnelles d'un an, ... Le calendrier est ainsi découpé en plusieurs saisons, selon les modalités de constitution des lots d'animaux et des affectations au pâturage. La localisation des lots d'animaux sur le fond de modèle permet de définir des séquences d'utilisation du territoire.

---

<sup>2</sup> Le terme territoire est utilisé ici alternativement au terme espace, dans la mesure où on se réfère à des pratiques d'acteurs.

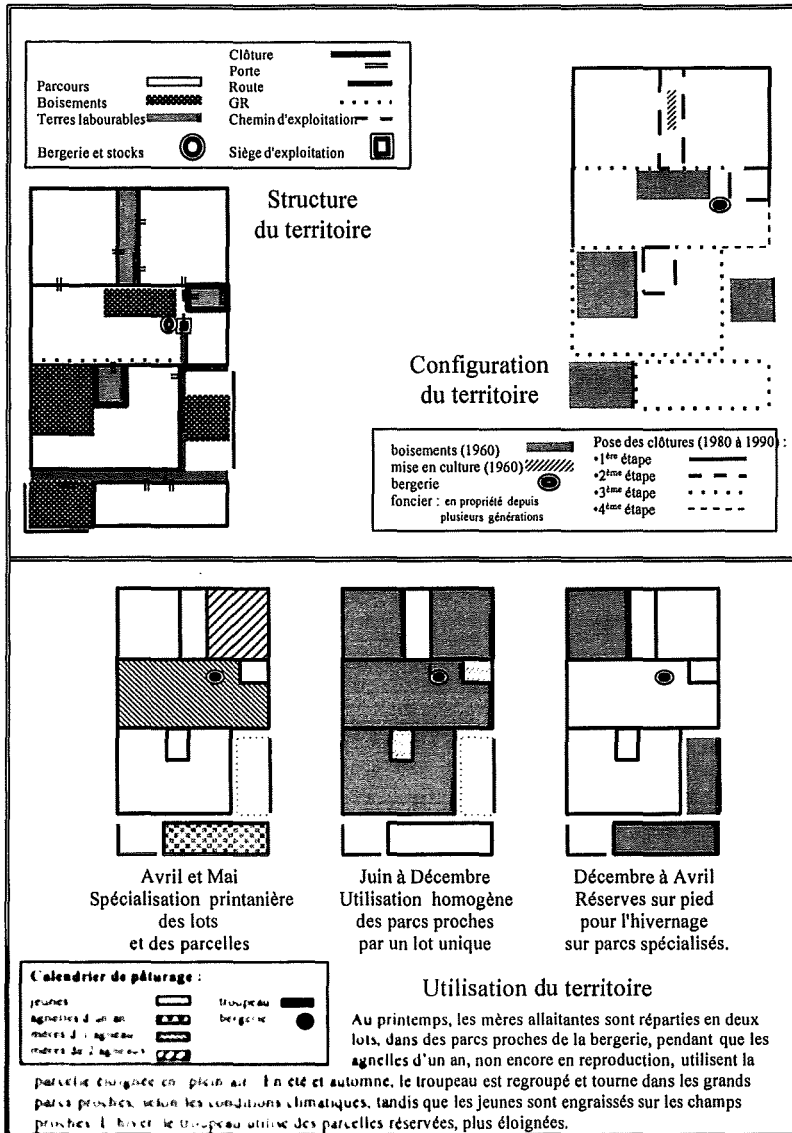


Figure 2 : Organisation du territoire d'une exploitation agricole

La configuration du territoire représente les modifications progressives du territoire de l'exploitation réalisées par l'éleveur sur plusieurs années. Ces modifications portent sur la constitution du territoire de l'exploitation, la mise en place d'aménagements et la mise en valeur des parcelles. La chronologie de ces transformations et leur localisation éclairent le projet de l'éleveur sur son exploitation : agrandissement de l'exploitation, types de surfaces et modes d'appropriation foncière, pose des clôtures et aménagement du bâti, principaux travaux de défrichage, de remise en culture ou de reboisement sur l'exploitation.

## 2.2. Identifier les principes organisateurs

A partir de cette représentation de l'organisation de l'espace et de l'analyse des pratiques concrètes qui l'ont produite, nous définissons les principes organisateurs de l'espace des exploitations agricoles et nous les classons dans une grille (Figure 3).











Chorèmes élémentaires		Figures de base	
		Surface (bloc)	
		Ligne (chemin)	
		Point (bergerie)	
principe de différenciation de l'espace	Intensité de la différenciation	Non différencié	Différencié
			
Polarité	Pôle Centré	 en radian	 en auréole
	Pôle Excentré	 en secteur	 en gradient
Contraste	sans Pôle	 en enfilade	 en mosaïque

Figure 3 : Principes organisateurs des stratégies d'organisation de l'espace.

Un éleveur organise son espace par deux processus majeurs, liés au cheminement des animaux dans l'espace d'une part et à la séquence des activités dans le temps d'autre part. C'est ainsi que le retour quotidien à la bergerie, pour la traite ou pour la nuit, le gardiennage ou le pâturage libre



dans de grands parcs, l'hétérogénéité des ressources, ... créent des polarités. De même, la spécialisation des lots d'animaux et des parcelles, la constitution de parcs et l'ordonnancement de l'utilisation des ressources, ... créent des contrastes. Nous retrouvons là les deux grands principes de différenciation de l'espace mis en évidence par les géographes au niveau régional : la polarité et le contraste. Selon les pratiques mises en œuvre par les éleveurs, la polarité et le contraste seront réduits ou amplifiés, l'espace sera rendu plus homogène ou plus hétérogène, définissant ainsi plusieurs degrés de différenciation.

On aboutit à une grille de chorèmes élémentaires qui correspondent à des archétypes. Les chorèmes élémentaires se construisent à partir des figures de base ponctuelles, linéaires et surfaciques. Le point est le pôle constitué par la bergerie (en dur ou en abri précaire, éventuellement en parc de contention de nuit) et souvent le siège de l'exploitation, lieu à partir duquel se déplace l'éleveur. La surface est le bloc de parcelles présentant la même accessibilité et gérée de la même façon. La ligne est la draille, le chemin ou la route reliant les blocs entre eux et aux pôles. Ainsi, la figure de base est composée d'un bloc, d'un pôle et d'un lien, reliant le bloc au pôle.

Les chorèmes élémentaires résultent du croisement entre les deux principes de différenciation de l'espace, la polarité (décomposée elle-même en deux selon la position du centre) et le contraste, avec l'intensité de la différenciation, selon qu'elle est faible ou forte. On obtient ainsi une grille de six chorèmes élémentaires :

- en radian : le bloc est utilisé de façon systématique à partir du pôle, placé en position centrale; l'espace est peu différencié,
- en auréole : le bloc est utilisé de façon préférentielle à partir du pôle, en position centrale; l'espace est différencié en fonction de la distance au pôle,
- en secteur : proche de la figure en radian pour sa faible différenciation, le pôle excentré modifie le découpage de l'espace en le rendant dissymétrique,
- en gradient : proche de la figure en auréole pour sa forte différenciation selon la distance au pôle, qui est excentré et découpe l'espace de façon dissymétrique,
- en enfilade : le bloc est utilisé de façon systématique par contiguïté spatiale; il n'y a pas de pôle structurant,
- en mosaïque : le bloc est utilisé de façon préférentielle par discontinuité spatiale; il n'y a pas de pôle structurant.

A partir de la connaissance des pratiques d'utilisation et de configuration du territoire de l'exploitation, il est possible de rendre compte de la stratégie d'organisation de l'espace de l'éleveur. C'est la façon dont il agence les blocs de son territoire et dont il combine les fonctionnalités. Ainsi, la polarisation peut être multi-polaire, pour une gestion à distance. Le contraste vient d'une spécialisation par l'utilisation de portions de territoire par différents lots d'animaux à certaines périodes de l'année, ce qui est une façon de gérer l'hétérogénéité du milieu. Le territoire de l'exploitation est décrit par l'agrégation des chorèmes élémentaires qui spécifient la fonctionnalité de chacun des blocs. Les figures obtenues rendent compte des principales forces qui sous-tendent le fonctionnement de l'exploitation et son mode d'organisation. Nous disposons ainsi d'une méthode de comparaison de l'organisation spatiale des exploitations.

### *2.3. Comparer des modes d'organisation et les possibilités d'évolution*

La comparaison de quatre exploitations étudiées montre d'ores et déjà que ni les conditions de milieu, ni les objectifs de production ne suffisent à expliquer les formes d'organisation du territoire élaborées par les éleveurs (Figure 4). Il faut prendre en compte aussi l'organisation du travail, la gestion des ressources et les logiques techniques relatives à chaque exploitation.

Les exploitations A et B sont voisines et situées dans le même type de milieu ; l'une produit des agneaux d'herbe, l'autre du lait. L'une gère la distance, en spécialisant la parcelle éloignée pour des lots moins exigeants et à des saisons plus propices, l'autre ne gère pas la distance, en n'utilisant pas avec ses brebis la parcelle éloignée et en utilisant préférentiellement les parcelles proches de la bergerie. Ce qui différencie ces deux exploitations, ce sont les logiques techniques correspondant à une logique de cueilleur pour l'un et de cultivateur pour l'autre, l'exploitation B disposant en effet d'un potentiel de champ plus important alors que l'exploitation A s'est dotée de boisements pour améliorer son potentiel d'abri pour les animaux.

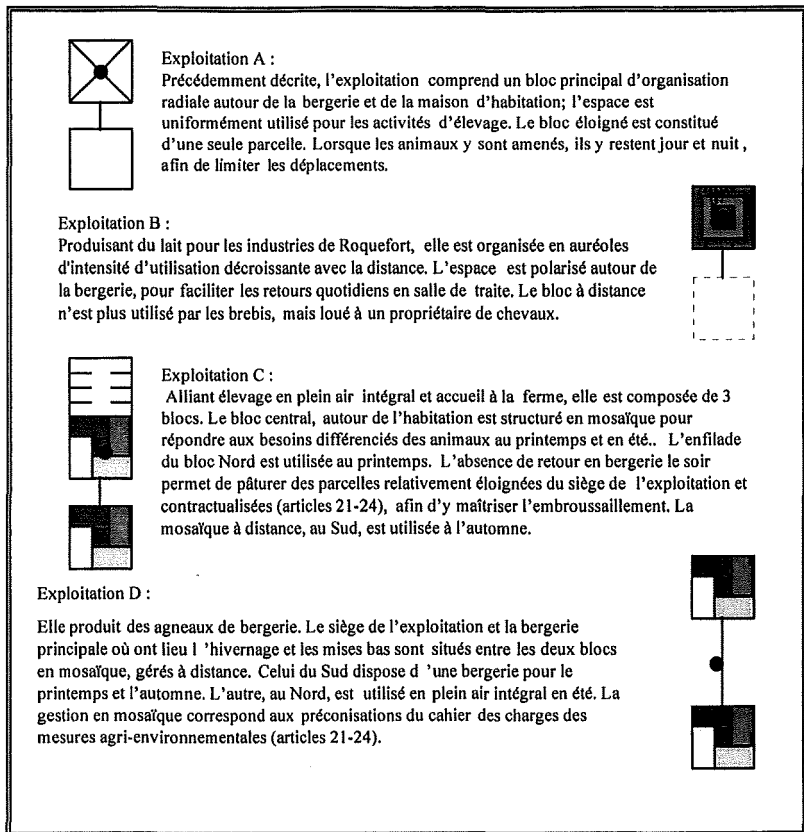


Figure 4 : Représentations de territoires d'exploitations.

L'organisation en mosaïque est choisie par l'exploitation C, qui est en ferme récente dans un milieu assez boisé et qui produit des agneaux d'herbe en plein-air intégral, et par l'exploitation D qui a les caractéristiques contraires. Celle-ci se trouve dans un milieu steppique et produit des agneaux de bergerie sélectionnés (race Blanc du Massif Central). Ce qui rapproche ces deux exploitations, c'est la logique d'organisation du travail pour minimiser les contraintes de déplacement, quitte à passer du temps au préalable pour configurer le territoire. Par ailleurs, dans la même exploitation C, les deux blocs, l'un en enfilade au Nord et l'autre en mosaïque au Sud, répondent à la même difficulté de gérer à distance. L'exploitant joue sur des saisons d'utilisation différentes

et sur l'existence ou non de contiguïté spatiale. Ainsi, la contiguïté spatiale au Nord permet l'utilisation au printemps par des animaux allaitants alors que la chasse interdit toute utilisation à l'automne. La discontinuité spatiale au Sud est utilisée pour constituer deux lots pour la lutte d'automne, ce qui est permis par la fin du passage des touristes.

L'analyse des formes d'organisation de l'espace permet de construire des images synthétiques sous forme de chorèmes et l'analyse des pratiques d'utilisation et de configuration de l'espace donne les clés d'interprétation de ces formes. Les chorèmes fournissent des représentations spatiales qui ont l'avantage de mettre en évidence les principaux traits d'une exploitation et facilitent ainsi la comparaison. On pourra par la suite affiner ces représentations, par exemple pour évaluer les possibilités d'évolution des exploitations pour s'adapter aux changements du contexte (Osty *et al.*, 1998).

Pour les conditions dans lesquelles la méthodologie a été élaborée, le cas d'exploitations d'élevage ovin extensif de la région des Grands Causses, c'est un outil de comparaison des exploitations et un outil pour raisonner des alternatives d'organisation de l'espace. Cela ouvre des perspectives pour explorer le champ des possibles. Il est possible d'étendre la formalisation des stratégies spatiales à d'autres types d'acteurs, par exemple aux stratégies des forestiers, des collectivités territoriales ou des autres gestionnaires de l'espace. Cependant, l'énoncé des stratégies des éleveurs s'appuie sur une connaissance préalable de leurs pratiques, leurs objectifs et leurs contraintes. La méthodologie ne peut donc être généralisée à d'autres types d'acteurs qu'à condition de disposer de ces connaissances essentielles.

### **3. Conceptions et représentations de territoires d'agriculteurs lorrains**

L'enjeu de la recherche qui constitue notre deuxième exemple, est d'aider à la création d'outils permettant de faciliter les changements d'organisation de territoires agricoles qui sont confrontés à la protection des ressources naturelles (ressources en eau, biotopes... ). La première étape de cette recherche consiste en la construction d'un outil méthodologique qui permette de recueillir les conceptions des agriculteurs et de les analyser. La

réflexion que nous illustrons dans ce document en est issue (Capitaine, 1999).

### 3.1. *Conceptions, territoire et organisations*

L'organisation du territoire des exploitations agricoles est, là encore, l'objet de notre étude. La notion de territoire étant définie comme un espace approprié, cela nécessite d'intégrer l'acteur à notre démarche : l'agriculteur. L'agriculteur intervient d'autant plus qu'il est à l'origine, et est le moteur de l'organisation de son territoire, tant au niveau du processus, de l'action d'organiser (organisation territoriale), que du résultat de cette action (organisation spatiale) (Papy *et al.*, 1999).

Pour comprendre comment, par le raisonnement<sup>3</sup>, s'élabore l'organisation territoriale (quelles sont les règles de liaisons entre des objets, que l'acteur construit et qui aboutissent à l'organisation spatiale ?), nous nous intéressons aux conceptions de l'agriculteur sur son territoire. Darré (1997) définit les conceptions comme "les façons de connaître, d'organiser en pensée les choses, qui conduisent les façons d'agir et qui les justifient aux yeux des sujets. [...] Concevoir, construire la réalité, c'est distinguer des objets, et les situer dans un certain univers".

### 3.2. *Le dessin pour recueillir un raisonnement*

La méthode que nous proposons comporte trois étapes. Il s'agit de trois entretiens dans des situations différentes avec l'agriculteur : l'un autour d'un support graphique, le deuxième non dirigé et le troisième au cours d'un tour d'exploitation. Le support choisi pour la première étape, est une photo aérienne sur laquelle il est demandé à l'agriculteur pour commencer l'entretien, de dessiner son territoire : "*Pouvez-vous à partir de cette photo et sur ce transparent, dessiner le territoire de votre exploitation et le décrire ?*".

L'utilisation du dessin sur la photo aérienne permet :

- d'initier l'entretien ;
- de fournir un support au questionnement pour recueillir les informations recherchées ;
- d'offrir à l'agriculteur un outil auquel il peut se référer et qu'il peut utiliser pour construire ses réponses ;

---

<sup>3</sup> « Suite de propositions liées les unes aux autres [...] et aboutissant à une conclusion. » (Dictionnaire de la langue française, Petit Robert 1, 1989.)

- d'appréhender et de visualiser, pour l'enquêteur, le territoire auquel il sera fait référence au cours de l'enquête et ce que l'agriculteur y fait.

Pour l'agriculteur, le dessin l'aide à parler de structures spatiales en ayant la garantie qu'il est compris par l'enquêteur. Les formes dessinées sur la photo, en étant visualisées, donnent corps dans le discours à des éléments structurels. Les entités (parcelles, voies de desserte, structures végétales, etc. ) dont parle l'agriculteur sont ainsi implicitement définies. Il n'est plus nécessaire d'en préciser les limites, la localisation, lorsque l'on veut en parler. De plus la présence des différentes entités constitutives du territoire de l'exploitation sur un même papier donne une vision d'ensemble de ce dont on parle. Il est alors plus facile de comparer et d'évaluer ces différents éléments.

Le dessin est donc à l'origine du discours. C'est un "outil à faire parler". Cependant, à la pratique des enquêtes, nous constatons que les agriculteurs ne parlent pas à l'enquêteur lorsqu'ils dessinent le territoire de leur exploitation. Et quand après avoir dessiné, ils décrivent leur exploitation, les informations qu'ils fournissent ne sont jamais rajoutées sur le transparent.

### *3.3. Le raisonnement représenté par un dessin*

Les trois entretiens réalisés avec chaque agriculteur, sont enregistrés. Leur contenu après avoir été retranscrit donne lieu à une analyse. Pour cela, deux outils sont utilisés : (i) l'analyse de discours (Darré,1985) et (ii) l'analyse graphique.

(i) L'analyse de discours est réalisée uniquement en utilisant les textes des entretiens.

(ii) Le matériel valorisé par l'analyse graphique est le résultat de l'analyse de discours, des informations présentes dans les entretiens et non utilisées dans l'analyse de discours et les renseignements fournis par le dessin sur la photo aérienne. L'analyse graphique consiste en une représentation des éléments cités précédemment à l'aide de la grille chorématique proposée par Cheylan *et al.* (1990) pour l'étude des activités agricoles. Le discours est alors à l'origine d'un dessin.

Le dessin (le schéma plus exactement) devient un outil pour le chercheur. Il permet de représenter graphiquement l'organisation du territoire d'une exploitation agricole telle qu'elle est décrite par l'agriculteur. C'est alors un

outil pour comparer les exploitations, pour mettre en évidence des traits d'organisation semblables et pour les comprendre. Mais le dessin final obtenu pour chaque exploitation (Figure 5) ne représente pas le raisonnement de l'agriculteur. Il n'est que l'image du résultat du processus qu'est le raisonnement.

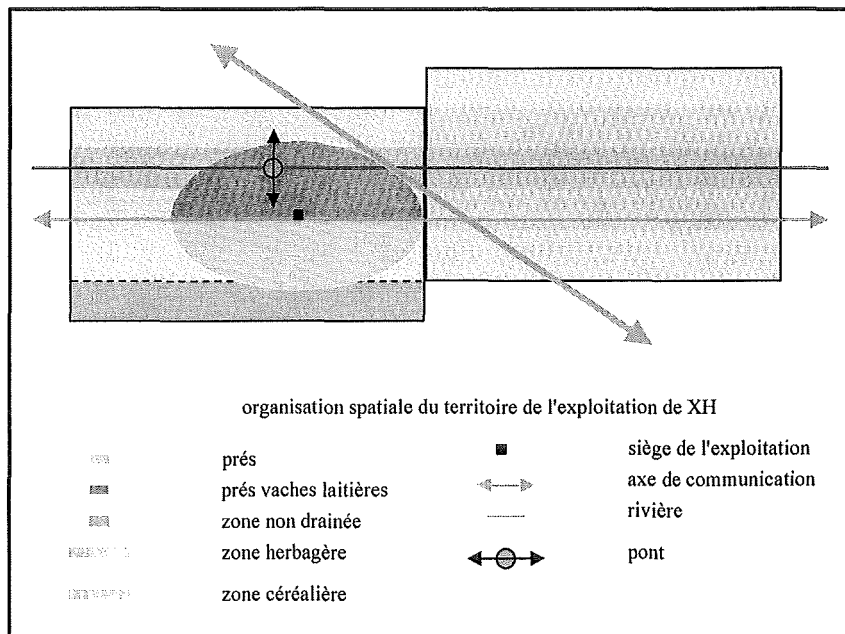


Figure 5 : Représentation graphique de l'organisation du territoire d'une exploitation.

Par contre, lorsqu'il y a construction successive de petits schémas qui aboutissent à une représentation synthétique, il y a représentation d'un raisonnement (Figure 6). Le dessin sert alors à expliciter en lui donnant forme, le processus du raisonnement. On illustre ainsi, une "suite de propositions liées les unes aux autres [les schémas intermédiaires] et aboutissant à une conclusion [le schéma synthétique final]". C'est d'ailleurs dans ces conditions que le schéma final obtenu est le plus informatif.

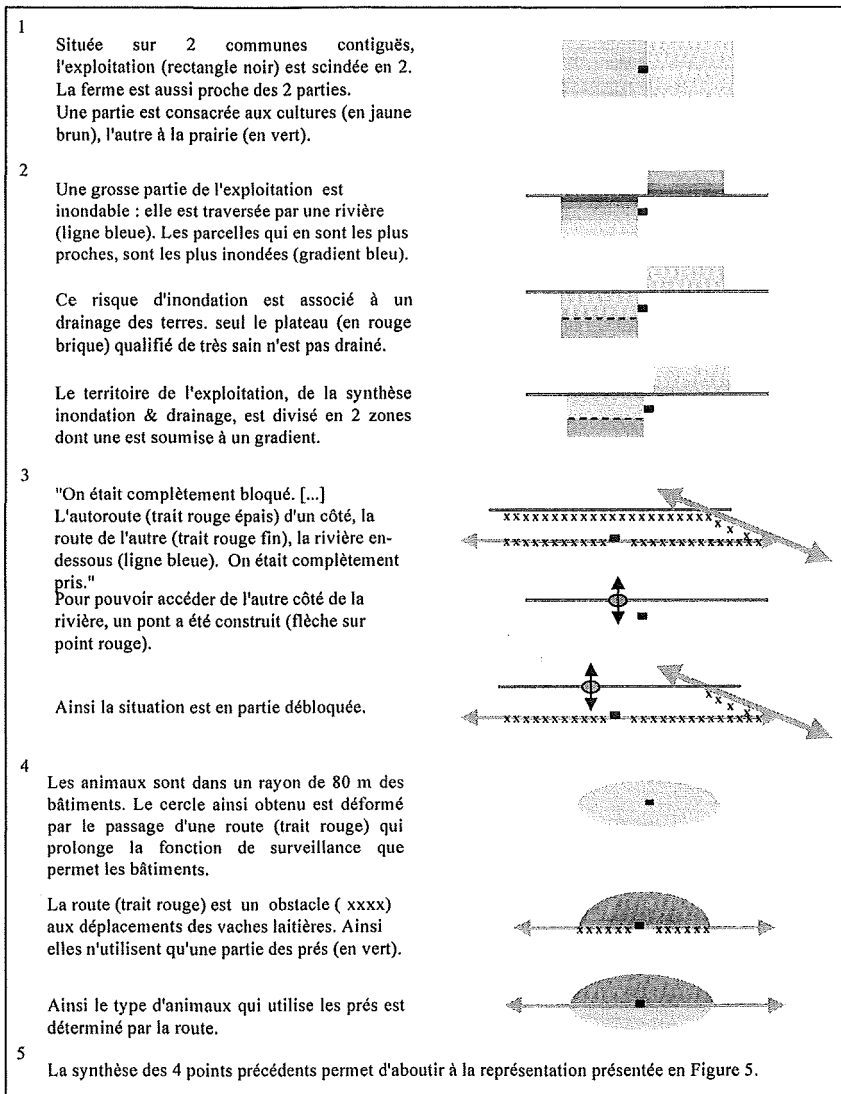


Figure 6 : Exemple de représentation par des chorèmes, de l'organisation du territoire d'un agriculteur.



Ainsi, le schéma terminé ne parle, dans toute sa richesse, qu'à son auteur qui en connaît l'historique. On peut pour s'en persuader et en ce qui concerne la représentation des activités agricoles par des chorèmes, consulter le n° 4 de *Mappemonde* (Deffontaines *et al.*, 1990). On s'aperçoit dans ce cas que si le schéma n'est pas accompagné, il est difficile de retrouver la linguistique dont parle Brunet lorsqu'il présente les chorèmes (1980). Il est difficile de retrouver le signifiant ("l'arrangement discernable") et le signifié (dynamiques, stratégies...) présents dans tous discours.

Un schéma lorsqu'il est complexe, nécessite donc d'être accompagné d'un discours. Il devient beaucoup plus informatif lorsque l'on raconte son histoire. D'autant plus qu'il nous apparaît central de pouvoir montrer comment les couches d'informations successives, les règles logiques mobilisées, construisent la représentation finale.

### **Conclusion : Généralisation de la démarche dans des itinéraires méthodologiques**

Différentes représentations spatiales sont nécessaires pour rendre compte de la diversité des processus et de la multiplicité des points de vue des acteurs. Dans les dispositifs que nous analysons dans le séminaire de recherche INRA-Cemagref-ENGREF 'Modèles spatiaux pour le développement territorial' (Lardon *et al.*, 1999), nous proposons de relier ces différentes représentations spatiales dans des itinéraires méthodologiques. Cette démarche questionne en retour à la fois les modèles spatiaux produits pour comprendre les dynamiques territoriales et les représentations de l'espace des acteurs, pour agir pour le développement territorial (Figure 7).

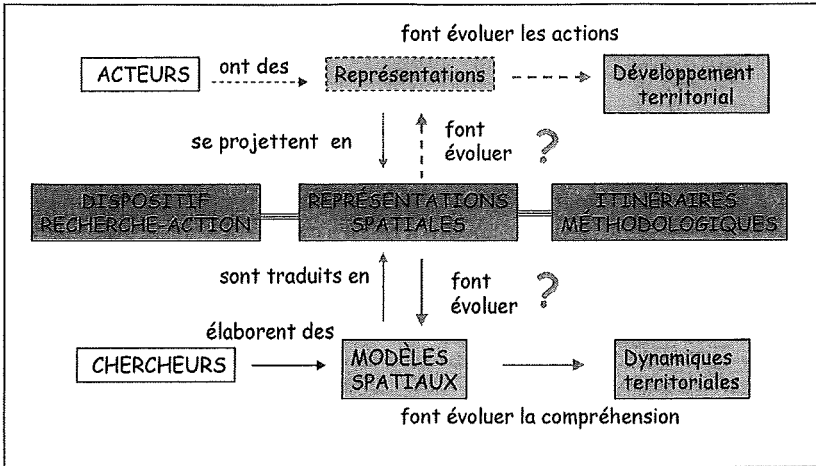


Figure 7 : Modélisation spatiale pour le développement territorial

Dans des dispositifs de recherche-action, les modèles spatiaux élaborés par les chercheurs sont traduits en représentations spatiales sur lesquelles les acteurs projettent leurs propres représentations. Ces représentations spatiales sont mobilisées dans des itinéraires méthodologiques à construire. La confrontation de ces représentations spatiales interroge en retour à la fois les modèles spatiaux pour comprendre les dynamiques territoriales et les représentations de l'espace pour les actions de développement territorial et les font évoluer.

Ainsi, comment une pratique de chercheur modélisateur est-elle modifiée par la nécessaire confrontation des modèles aux acteurs pour les aider à comprendre les processus ? Comment une pratique de chercheur engagé dans des dispositifs d'action est-elle modifiée par la nécessaire confrontation aux représentations des acteurs pour les aider à concevoir leurs actions ? Comment les différentes représentations spatiales peuvent-elles contribuer à faire évoluer les représentations des acteurs dans les processus de changement ?

Nous proposons d'intégrer les différentes représentations dans un itinéraire méthodologique. Pour aborder le développement du territoire, il faut considérer différents processus, différents niveaux d'organisation et différents points de vue. Or, on risque d'aboutir à une vision éclatée du territoire, et donc à disjointre au lieu de conjointre. Il nous faut un outil intégrateur, qui peut être le chorème. En effet, on peut traduire en chorème

toute information spatialisée, qu'elle soit sous forme de carte, de croquis paysager, de dessin...

Dans une démarche de diagnostic, les outils graphiques sont utiles aux différentes phases. Cependant, comme chaque méthode a son outil de représentation privilégié, qui est aussi sûrement le plus pertinent, et que la cartographie statistique ou l'analyse du paysage fournissent des informations différentes mais complémentaires, on se trouve devant une contradiction de vouloir à la fois l'unité et la diversité. Or, si le chorème est un outil de traduction, cela veut dire que l'on peut transformer, dans un langage unique, des acquis élaborés avec des langages différents. On sauvegarde à la fois la diversité, puisque chaque méthode utilise son mode d'expression le plus précis pour elle, et l'unité, car une fois extraites les connaissances, on les restitue dans un langage commun. De la même façon, on peut élaborer des connaissances à une échelle donnée, et une fois extrait les principales caractéristiques, les traduire à une échelle différente, par généralisation, pour une échelle englobante, ou spécialisation, pour une échelle englobée. On saute ainsi d'un niveau à l'autre, sans perdre de sens. Il reste alors à faire la synthèse de tous les chorèmes analytiques obtenus. Comme ils sont déjà relativement épurés, car ils n'expriment que les principes structurants, on peut déjà les regrouper par ensembles qui expriment le même principe organisateur. C'est à nouveau de la reconnaissance de forme, qui s'appuie sur des objets unitaires de même nature. C'est comme ça que l'on fait émerger les objets spatiaux pertinents. Le regroupement permet aussi de hiérarchiser les principes, par la répétition des indicateurs qui concourent au même principe directeur. On obtient alors un nombre restreint de figures qui résument assez bien l'ensemble des dynamiques observées et définissent la granularité des objets spatiaux à considérer. Les chorèmes donnent du sens aux formes et ils ne peuvent s'appuyer que sur une bonne connaissance des processus qu'ils représentent. On est donc limité, non pas par l'outil, mais par nos connaissances et c'est un très bon garde-fou, car on s'aperçoit vite qu'un chorème n'a pas de sens et qu'on est en train d'utiliser la méthode de façon abusive. La méthode contient donc en elle-même ses propres limites.

On peut aussi explorer la pertinence des chorèmes dans une démarche d'aide à la gestion et à la planification. Ils servent à expliciter les projets des acteurs et à en trouver une expression collective. On peut rendre compte des stratégies des acteurs et les confronter. On pourrait alors étendre l'utilisation des chorèmes à la prospective territoriale qui articule

les cohérences entre énoncés prospectifs, représentations et intentions d'action. La méthode des scénarios fournit une image finale cohérente, un horizon temporel et un chemin pour y parvenir (Mermet, 1998 ; Piveteau, 1995).

Ces propositions s'appuient sur les acquis du séminaire de recherche sur les modèles spatiaux pour le développement territorial. La diversité des études de cas analysées au cours de ce séminaire fournissent des connaissances sur les stratégies de différents acteurs : agriculteurs et forestiers et leurs institutions, touristes, résidents, acteurs économiques, décideurs et aménageurs, ... et complètent la panoplie de méthodes et de modes de représentation spatiale : photos, visualisation interactive, ... Nous disposons ainsi d'un matériau riche pour relier modélisation spatiale et développement territorial. Nous analysons les différentes expériences sous l'angle du positionnement des acteurs, des caractéristiques et des usages des représentations spatiales utilisées aux différentes étapes d'un projet. Cette confrontation débouchera sur des outils pédagogiques, à proposer aux formations initiales d'ingénieurs en charge de l'aménagement du territoire et aux formations continues des acteurs du développement local. Un effort de théorisation d'un langage de communication doit être fait. La modélisation spatiale pourrait en être le support.

### **Bibliographie :**

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

Brunet, R. (1986). La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde*, 4, 3-6.

Capitaine, M. (1999). *Organisation spatiale du territoire des exploitations agricoles. Proposition méthodologique pour interroger les conceptions des agriculteurs sur leur territoire*. Mémoire de DEA Sciences Agronomiques. ENSAIA, Nancy. 37 p.

Cheyland, J.P., Deffontaines, J.P., Lardon, S. & Thery, H. (1990). Les chorèmes : un outil pour l'étude de l'activité agricole dans l'espace rural ? *Mappemonde*, 4, 2-4.

Darré, J.P., (1985). *La parole et la technique. L'univers de pensée des éleveurs du Ternois*. L'Harmattan. Paris. 196 p.

Darré, J.P. (1997). Document de travail du séminaire GERDAL, INRA SAD : *Maîtrise du dialogue chercheur - agriculteur et analyse des formes de connaissance des agriculteurs*. Février 1997. 9 p.

Deffontaines, J.P., Cheylan, J.P. & Lardon, S. (éd.), (1990). Gestion de l'espace rural, des pratiques aux modèles. *Mappemonde*, 4: 48 p.

Deffontaines, J.P. & Lardon, S. (1994). *Itinéraires cartographiques et développement*. Paris, INRA (Coll. Espaces ruraux), 136 p.

Jeantet, A., 1998. Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du travail*, N°3 : 291-316.

Lardon, S., Benoît, M., Piveteau, V. (1999). Modèles spatiaux pour le développement territorial : quelles représentations spatiales produire ? *Actes du séminaire INRA-SAD, Saint-Martin de Londres*, 11-12/03/99, 3 p.

Mermet, L.(1998). *Place et conduite de la négociation dans les processus de décision complexes : l'exemple d'un conflit d'environnement. La négociation. Situations et problématiques*. Paris, Nathan.

Naïthlo, M., Lardon, S. (1999). Representing spatial organisation in extensive livestock farming. *Livestock Farming Systems Symposium*. Posieux, Switzerland, 19-20/08/99, 3 p.

Osty, P.L., Lardon, S.& de Sainte-Marie, C. (1998). Comment analyser les transformations de l'activité productive des agriculteurs : propositions à partir des systèmes techniques de production. *Etud. Rech. Syst. Agraires* *Liv.* **31**, 397-413

Osty, P.L., Lardon, S. (1999). *Livestock rearing modes to characterize the long-term change in sheep farming in less-favoured areas*. *Livestock Farming Systems Symposium*. Posieux, Switzerland, 19-20/08/99, 3 p.

Papy, F., Baudry, J., Benoît M. & Torre A. (1999). *Formes d'organisations territoriales à finalités environnementales*. Document de travail FORTE, projet inter-unités INRA-SAD. Version du 03. 06. 1999. 20 p.

Piveteau V. (1995). Prospective et territoire : apport d'une réflexion sur le jeu. *Etudes gestion des territoires*, n°15, Cemagref Editions, 298 p.

# Objets graphiques et cognition située et distribuée

## Un exemple en acquisition de connaissances

Florence Le Ber<sup>1</sup> et Christian Brassac<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INRA LIAB, Forêt d'Amance, 54280 Champenoux  
et LORIA, B.P. 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy cedex

<sup>2</sup> LPI-GRC Université Nancy 2 - BP 33-97 - 54015 Nancy cedex  
mél : leber@nancy.inra.fr, brassac@clsh.univ-nancy2.fr

### 1 Introduction

L'expérience que nous relatons ici concerne la construction d'un système informatique qui effectue la classification de structures spatiales agricoles sur des images satellitaires [14]. Elle a mis en jeu un ensemble de représentations graphiques et cartographiques manipulées successivement ou de concert par des agronomes d'une part et des informaticiens modélisateurs d'autre part.

Cette expérience s'est construite sur la confrontation de l'imagerie satellitaire à l'expérience « de terrain » des agronomes. L'idée était d'utiliser l'imagerie satellitaire, son extension temporelle et spatiale comme moyen pour étendre, généraliser et valider les connaissances des agronomes obtenues sur le terrain, donc de manière locale et parcellaire. Ces connaissances s'expriment particulièrement au travers de « modèles de paysages » que les agronomes représentent graphiquement à l'aide de chorèmes [3, 9] et qui constituent des abstractions des organisations spatiales agricoles observées sur le terrain. L'échelle choisie est celle du village et de son territoire, c'est-à-dire le « finage villageois ». L'hypothèse sous-jacente est qu'un mode particulier de fonctionnement des systèmes agricoles villageois peut être associé à chaque modèle.

L'imagerie satellitaire que nous considérons n'est pas brute : il s'agit en fait de cartes régionales d'occupations du sol, résultant du traitement de données multi-dates du satellite LANDSAT [13, 1]. Elles sont constituées de points (ou pixels) étiquetés par une occupation (forêt, bâti, prairie, blé, orge, colza, etc.). Chaque ensemble connexe de pixels de même étiquette constitue une région, qu'on peut assimiler à une parcelle agricole (quand l'étiquette est blé, orge, ou colza), à une forêt, ou à un village, par

exemple. Les cartes sont découpées en finages affectés à chacun des villages ou villes présents.

De manière plus concrète, on veut utiliser les modèles de paysage comme des indicateurs du fonctionnement des systèmes agricoles : classer les finages définis par l'imagerie satellitaire par rapport aux modèles permet ainsi d'obtenir des cartographies régionales et annuelles de fonctionnements agricoles supposés. Nous avons utilisé l'outil informatique pour réaliser cette classification de manière automatique et pouvoir traiter ainsi la masse d'informations que constitue l'imagerie satellitaire [2].

Pour réaliser le système informatique adéquat, modélisateurs et agronomes se sont attelés à la tâche de transcrire les modèles graphiques de paysages en modèles informatiques, utilisables pour traiter l'imagerie satellitaire. C'est ce travail de modélisation, qui a permis de relier le dessin et l'image, dont nous voulons rendre compte ici, en mettant en exergue le rôle qu'y ont tenu les représentations graphiques et cartographiques.

Le papier est organisé en quatre parties : description de la démarche, des représentations graphiques utilisées, apport de l'expertise orale, analyse.

## 2 Démarche de modélisation

Notre travail s'est appuyé en premier lieu sur les modèles graphiques de finages, que nous essayons de repérer, d'abord visuellement, puis automatiquement, sur les cartes d'occupations du sol. Mais il est clair que ces modèles graphiques ne sont que l'expression synthétique d'un ensemble de connaissances, plus ou moins abstraites : en particulier, les modèles graphiques sont indissociables de modèles conceptuels, portent sur les relations entre organisation spatiale et fonctionnement de l'agriculture : si on cherche à repérer les premiers sur les cartes d'occupations du sol, c'est bien pour, au bout du compte, reconnaître les seconds. Le travail de modélisation porte donc à la fois sur l'adaptation des modèles graphiques à l'image et sur « l'extraction » des connaissances sous-jacentes : les deux sont forcément liés et n'ont pas été dissociés au cours du processus de modélisation qui s'est déroulé entre les agronomes et les informaticiens.

À partir des modèles graphiques de finages et des connaissances des agronomes en matière d'analyse de paysage, nous essayons donc de définir les informations qu'on peut extraire de la carte et qui correspondent aux concepts manipulés par les agronomes et représentés sur les modèles graphiques. Dans le même temps, ces concepts sont affinés et adaptés par la confrontation à la donnée image. C'est une démarche en plusieurs étapes, avec des allers et retours entre ces étapes (cf. figure 1). De fait, nous avons travaillé en parallèle :

- à partir des modèles graphiques des finages pour essayer de les transcrire en



ensembles d'*indices* calculables sur des images. Par *indice* nous entendons une valeur binaire ou n-aire, éventuellement numérique, obtenue par l'application d'une méthode de calcul sur l'image, et que nous pouvons associer à un concept manipulé par les agronomes. Nous nous sommes appuyés pour cela sur la littérature disponible en matière de reconnaissance de formes et de représentation de l'espace.

- avec les agronomes pour voir comment ils peuvent analyser une image et comment ils attribuent un territoire de l'image à un modèle de finage : ils ont énoncé à haute voix leurs réflexions au cours d'une analyse. Le but est de mettre en lumière les informations, lues sur l'image, qui permettent de caractériser une organisation spatiale agricole et donc de la rattacher à un modèle graphique.
- en retour vers les agronomes, en leur proposant des cartes pour visualiser et retravailler les indices calculés sur l'image. Ceci permet de valider, d'affiner ou redéfinir ces indices pour une meilleure adéquation avec les concepts.

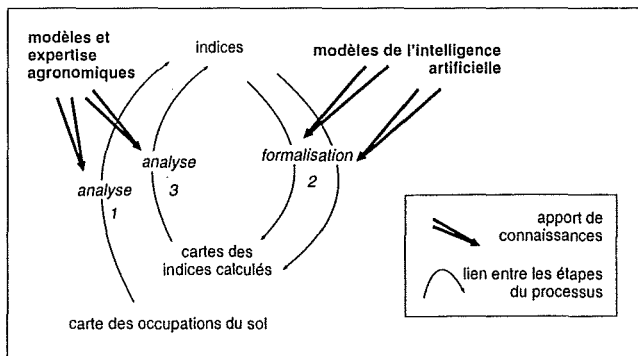


FIG. 1 – La démarche de modélisation : à partir des modèles graphiques, des connaissances expertes (étape 1, analyse de la carte des occupations du sol) et des modèles de l'intelligence artificielle sont définis des indices adaptés (étape 2, formalisation) qui sont calculés sur l'image. Le résultat est soumis aux agronomes qui peuvent alors corriger les indices (étape 3, analyse) : les nouveaux indices sont formalisés puis calculés et le cycle se poursuit.

Dans cette démarche, nous avons affaire à différentes représentations graphiques et cartographiques : il y a en premier lieu la donnée image d'une part et les modèles de l'expert d'autre part. Il y a ensuite les méthodes informatiques de représentation de l'espace et de reconnaissances de formes. Il y a enfin les modèles et indices que nous construisons en commun, qui se concrétisent par de nouvelles cartes ou de nouveaux graphismes, et qui sont une adaptation des modèles de l'expert à la donnée image et aux méthodes disponibles.

### 3 Représentations graphiques et cartographiques

Les agronomes ont synthétisé leur expertise par des dessins (notés [D1]), qui représentent des organisations spatiales types de finages villageois, par exemple en Lorraine [3, 9]. Ils ont utilisé les chorèmes [7], modèles graphiques qui permettent de rendre compte à la fois d'une structure observée et de son fonctionnement (voir figure 2).

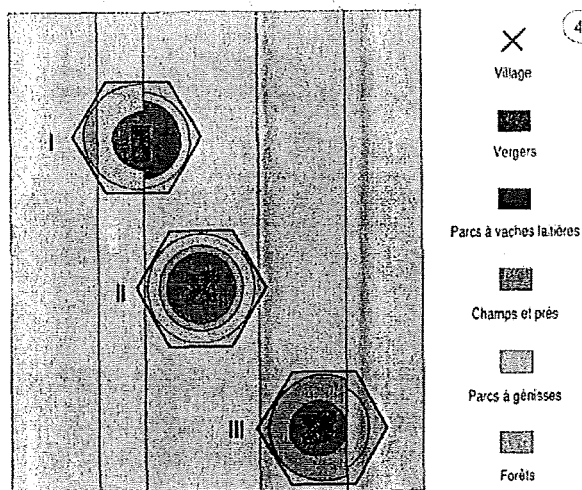


FIG. 2 – Trois modèles de paysages lorrains représentés par les chorèmes : de gauche à droite, bas de côte, plaine, rebord de côte. Dessin tiré de [9].

Lors de l'échange entre agronomes et informaticiens, ces modèles graphiques ont été redessinés — comme moyen de compréhension et d'appropriation. On aboutit alors à des dessins (notés [D2]) tels que celui présenté sur la figure 3. Nous avons travaillé sur cinq modèles graphiques, dérivés d'un même modèle dit *modèle concentrique d'organisation du territoire*. Ces cinq modèles se déclinent au long des reliefs lorrains : vallée, rebord de côte, bas de côte, plaine, plateau [9, 15].

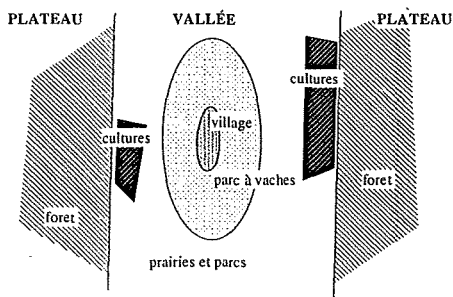


FIG. 3 – *Modèle « vallée » de finage, redessiné : le territoire du village est de forme rectangulaire ; il est entre deux forêts domaniales ; la partie centrale du territoire est occupé par des prairies ; les cultures sont regroupées sur les côtés, près des forêts.*

La carte des occupations du sol est découpée en finages. Outre la carte elle-même, représentant une région d'environ 900 km<sup>2</sup>, nous disposons donc d'une centaine de sous-cartes représentant chacune un finage de quelques km<sup>2</sup>. Ces cartes seront dénommées plus loin cartes-origines, et notées [C1]. Sur l'image de la figure 4 est représenté un finage extrait de l'image qui correspond à l'organisation « vallée » décrite en figure 3. Visuellement, nous retrouvons à peu près sur ces cartes-origines les types d'organisations décrits par les modèles graphiques. Par exemple, sur la figure 4, on voit de la forêt de part et d'autre du territoire, des cultures en bordure de ce territoire, de la prairie au centre, etc. La difficulté est de faire le lien explicite — qui permette une reconnaissance automatique — entre les dessins « abstraits » [D1], [D2], issus de l'observation du terrain et de l'interaction entre agronomes et modélisateurs, et l'image « concrète » (et bruitée) [C1], provenant de la donnée satellitaire.

Au cours du travail de modélisation, les cartes-origines ont fait l'objet de différents traitements, qui ont eu chacun pour résultat de produire de nouvelles cartes : nous avons cherché à spécifier la pertinence de certains indices spatiaux en les cartographiant. Nous



FIG. 4 – Extrait de l'image: les forêts sont les amas gris sombre, le bâti apparaît en blanc, prairies et cultures en gris moyens ; la partie noire est « hors finage ».

avons produit des cartes des « parcelles près de la forêt », des « parcelles en îlots », des « finages dont le territoire est vert », etc. Ces cartes d'indices spatiaux (notées [C2]) ont été soumises aux agronomes qui retravaillent dessus. Un exemple d'une telle carte est montrée en figure 7.

Les modélisateurs se sont appuyés sur les outils développés en matière de reconnaissance de forme et de représentation qualitative de l'espace et, en particulier, sur les modèles qualitatifs de relations spatiales : relations de distance, d'orientation, relations topologiques [11]. Ces relations nous ont paru adéquates pour traduire les modèles graphiques des finages. De plus, elles sont représentables par des dessins, ce qui facilite l'échange avec les agronomes. Un exemple de relations spatiales qualitatives ainsi que de leurs symboles graphiques est donné en figure 5. L'intérêt des symboles graphiques est ici de faire comprendre aux agronomes les modèles utilisés en intelligence artificielle et si possible, de leur faire utiliser, afin de faciliter le passage de l'expertise au système informatique.

À partir de ces symboles génériques issus de l'intelligence artificielle, nous avons défini des symboles graphiques communs aux agronomes et aux informaticiens pour représenter certains indices spatiaux particulièrement pertinents. Ces indices sont des combinaisons de relations spatiales — génériques — et d'entités spécifiques du do-

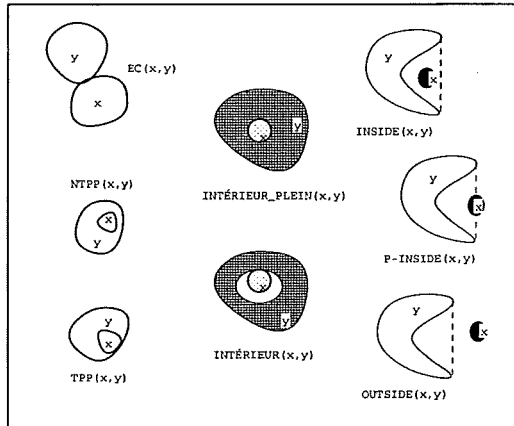


FIG. 5 – Quelques relations topologiques: relations de connexité (EC), d'appartenance (TPP, NTPP) et d'intériorité (INTÉRIEUR, INSIDE) entre deux objets. Le trait pointillé représente la limite de l'enveloppe convexe de l'objet y.

maine agricole considéré [14] : les symboles graphiques construits (notés [D3]) sont en quelque sorte des *instanciations* des symboles représentant les relations spatiales. Par exemple, on définit l'indice « *finage-connexe-à-une-forêt* » comme un finage connexe à exactement une forêt domaniale, l'indice « *finage-entre-deux-forêts* » comme un finage connexe à exactement deux forêts domaniales (voir figure 6).

Finalement, à l'issue du processus de modélisation et après implantation et mise en œuvre du modèle construit, nous obtenons des cartes finales, ou cartes classées, notées [C3] et non montrées ici, qui représentent les finages de la carte origine colorés de différentes façons selon la classe (le modèle de finage) à laquelle ils ont été attribués.

## 4 Une expertise orale

Le lien entre la carte et les modèles graphiques ne pouvait pas se faire de manière évidente. Pour faciliter l'acquisition de l'expertise, les agronomes ont dû extérioriser leur analyse : placés devant des images de finages sélectionnés sur la carte, ils énoncent à haute voix les entités et organisations qu'ils reconnaissent, les modèles graphiques

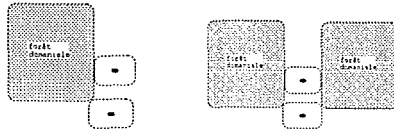


FIG. 6 – Symbolisation graphique des indices spatiaux : à gauche l'indice « finage-connexe à-une-forêt », à droite l'indice « finage-entre-deux-forêts ».

auxquels ils rattachent les finages, comment ils les rattachent, ce qu'ils déduisent sur les fonctionnements agricoles.

Ce travail permet de faire ressortir des expressions, exprimant des configurations spatiales, qui ne sont pas présentes (ou pas évidentes) dans les modèles graphiques d'origine. Par exemple, une expression couramment utilisée par les agronomes pour caractériser les villages de plaine par rapport aux villages de plateau est la suivante : « le fond du finage est vert ». Cette expression traduit l'impression visuelle que les entités non vertes (les cultures, le village) sont « posées sur du vert » (la prairie). Sur l'image, cela correspond au fait que les entités non vertes sont majoritairement *entourées* de vert.

Les modélisateurs se sont attachés à traduire cette expression en des formules calculables sur l'image. La première idée a été de regrouper tous les pixels verts appartenant à un même finage en une unique prairie et de considérer que toutes les entités non vertes doivent être à l'intérieur de cette prairie. On utilise la relation INSIDE qui est définie comme le recouvrement d'un objet par l'enveloppe convexe de l'autre objet (voir figure 5). Cette relation a été calculée et cartographiée pour tous les finages de la carte, mais il n'est pas apparu de différences significatives entre les villages : généralement, quel que soit le village, la prairie unique entoure à peu près les autres entités du finage.

Une seconde idée a été de conserver la relation d'intériorité mais de l'appliquer à d'autres objets : nous avons considéré séparément les prairies d'un même finage. Dans ce cas, on observe une différence significative entre les villages (voir figure 7) : dans certains finages, les entités non vertes sont presque toutes à l'intérieur des prairies ; dans d'autres, certaines entités non vertes couvrent une partie du finage disjointe des prairies. Nous en déduisons donc qu'une bonne traduction de l'expression « le fond du finage est vert » serait : *toutes les entités spatiales non vertes du finage sont à l'intérieur d'une entité spatiale verte appartenant au finage.*

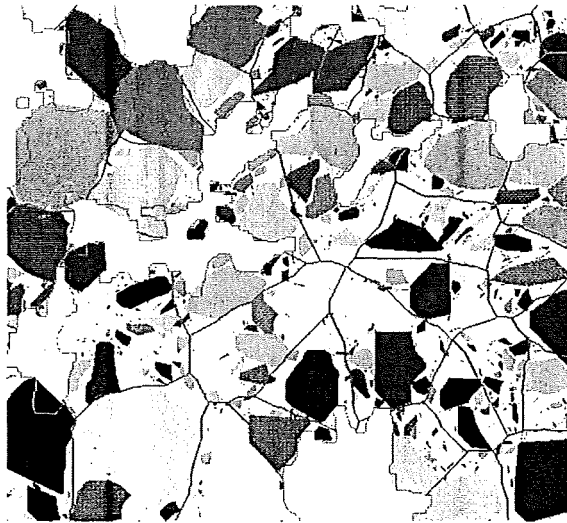


FIG. 7 – Formalisation de l'expression « le fond du finage est vert » : on évalue la couverture des finages par les enveloppes convexes de toutes les prairies prises séparément. Les limites des finages sont tracées.

## 5 Un processus situé et distribué

Dans cette partie nous allons occuper une position « méta » par rapport à ce processus très complexe qui met en scène terrain, agronomes, image satellitaire et modélisateurs. Nous allons le faire en examinant le rôle des actions des acteurs de ce processus et celui des objets graphiques qui en constituent autant le support que le produit final.

### 5.1 Différents types d'objets graphiques

Deux grands ensembles d'objets graphiques sont mobilisés par ces acteurs, les inscriptions graphiques et les images. Il est bien important de comprendre que les inscriptions graphiques qui nous occupent ici sont des inscriptions que les humains produisent concrètement sur du papier. En revanche, les images sont des photographies ou des

cartes réalisées au moyen d'artefacts.

Les premiers objets, inscriptions graphiques, mobilisés sont des dessins. Il y en a trois types qui sont produits soit par les agronomes, soit par les couples agronomes-modélisateurs, soit par les modélisateurs.

- Ceux que l'agronome produit initialement, les modèles graphiques de finage [D1], sont le résultat de sa lecture experte du terrain ; lecture surdéterminée par les modèles conceptuels qu'il a du fonctionnement des systèmes agricoles (figure 2).
- Ceux qui sont produits lors de l'interaction entre l'expert agronome et le modélisateur sont le résultat de la confrontation entre le dessin initial et l'image satellitaire. Ils sont des dessins [D2] plus adaptés à la donnée image que les précédents (figure 3).
- Ceux que le modélisateur produit *in fine* sont des dessins formels [D3] symbolisant des indices spatiaux particuliers, c'est-à-dire des entités spatiales particulières reliées par des relations topologiques (figure 6).

Les seconds objets, images, sont des cartes issues de l'imagerie satellitaire et sont manipulés au moyen de traitements informatiques. Il y a des cartes-origines [C1], des cartes d'indices spatiaux [C2] et des cartes classées [C3]. Les premières sont le résultat d'un processus antérieur [13, 1] dont nous n'avons pas parlé ici (figure 4). Les secondes sont issues de l'interaction agronome-modélisateur (figure 7) et les dernières constituent le produit final du travail de modélisation.

Nous allons voir que les statuts différenciés de ces objets graphiques jouent des rôles spécifiques dans la démarche mêlant « grands dessins » et « petits discours »<sup>1</sup>.

## 5.2 Dynamique de conception

En quelque sorte six types d'objets graphiques sont au cœur de la démarche de modélisation. Voyons de façon succincte comment l'appui qu'ils offrent aux acteurs structure le processus qui est là, sous notre loupe d'analyste de l'activité cognitive conjointe de conception d'un dispositif de classification de territoires<sup>2</sup>. Rappelons ici que la question qui est à l'origine de ce travail est celle de la mise en relation entre les

1. . . . pour parodier l'appel à communications.

2. Nous ne pourrions pas, dans le cadre de cette contribution, produire une analyse fine du processus interconitif. Notre seule ambition est de souligner l'importance de l'interaction mettant en scène les deux acteurs (agronome-expert et informaticien-modélisateur) et ces objets particuliers qui sont ici graphiques et qui sont qualifiés, dans le paradigme de la cognition située, d'intermédiaires.



modèles que l'agronome développe du territoire et des instances cartographiques que le modélisateur manipule. Il s'agit de réfléchir à l'équivalence, problématique, entre d'une part, les catégorisations du territoire réalisées par l'agronome et, d'autre part, les classifications élaborées par le modélisateur.

L'opération de catégorisation est une pratique concrète où le sujet, l'agronome, est en prise directe (visuelle et conceptuelle) avec le paysage. L'opération de classification, en revanche, est médiée par un dispositif artefactuel (photographie et machinerie informatique). Lors de la confrontation de ces deux pratiques, cette différence de statut, de nature des objets graphiques marque la dynamique de construction conceptuelle que les acteurs mettent en œuvre.

Au début du processus deux objets graphiques sont produits : le dessin [D1] de l'agronome et la carte-origine [C1]. À la fin, la modélisation aboutit à une carte classée. Cette carte classée [C3] doit faire apparaître des instances de finage qui soient compatibles avec les catégories concrètement créées par l'expert agronome sur un espace localisé dont il rend compte. Le but est évidemment de généraliser, de façon automatique, à d'autres territoires cette classification et ainsi la modélisation des fonctionnements des systèmes agricoles.

Entre ce début et cette fin, se joue une dynamique de conception très complexe qui s'articule autour d'actions langagières et gestuelles. C'est cette intrication processuelle des dire et des faire, qui s'ancre sur les objets graphiques, que nous allons évoquer maintenant.

### 5.3 Objets graphiques comme objets intermédiaires

L'interaction entre l'expert-agronome et le modélisateur constitue un moment-clé du travail qui conduit à la carte classée [C3]. Les deux acteurs se réunissent initialement autour de plusieurs objets qui sont, la carte-origine [C1], le dessin de l'agronome [D1] et des phrases-légendes écrites par ce dernier. Cette interaction est constituée de plusieurs moments conversationnels qui se sont échelonnés sur presque trois années. C'est lors de cette suite de dialogues finalisés que sont produits successivement les objets [D2], [D3] et [C2].

Cette histoire conversationnelle constitue un "moment" crucial pour une raison simple : c'est l'endroit où le modélisateur entre en contact, a accès à l'expertise. C'est lui qui, finalement, produira la carte classée. Ultérieurement, il poursuivra le travail en s'appuyant sur le résultat tangible de cet événement interactionnel qu'est le dialogue qu'il engage avec l'agronome. Ce résultat tangible est constitué de deux éléments : des énoncés formels et des cartes d'indices spatiaux [C2].

Il est clair que cette histoire conversationnelle est un lieu de construction de cognitions. Plus personne ne pense qu'il s'agit là d'extraire de la connaissance. Les derniers

travaux sur l'interlocution montrent avec force que ce type d'arène dialogique est lieu de construction de sens (voir [6], [4], par exemple). C'est dire que les deux individus en présence sont co-responsables de cognitions qui s'actualisent en ces formes linguistiques (les énoncés formels) et ces objets graphiques (dessins et cartes). C'est en ce sens que l'on parle de cognition distribuée . . . sur les deux entités cognitives en présence.

De plus il est tout à fait clair<sup>3</sup> que les acteurs se réfèrent de façon constante aux deux types d'objets graphiques présents :

- l'agronome a perçu le paysage et, via ses modèles conceptuels du fonctionnement des systèmes agricoles, en a inscrit sous une forme graphique sa lecture ; il a représenté (au sens de rendre présent et non pas re-présenter [10]) le paysage en un modèle graphique du finage.
- le modélisateur propose la carte-origine, carte d'occupation du sol, obtenue après traitement de données photographiques.

Ces deux objets initiaux forment le point de départ. Il s'agit de les confronter l'un et l'autre dans un objectif de créer une carte classée. Pour ce faire, de nombreux dessins et cartes sont engendrés au long des différents dialogues. Les discussions sont évidemment non seulement centrées sur ces objets mais sont le lieu de conception de leur devenir. Plus, elles ne peuvent se dérouler indépendamment de pointages, de références ou encore de désignations sur telle ou telle partie de ces objets. Ces opérations marquent l'ancrage de la discussion sur l'environnement physique immédiat qui constitue le cadre de l'échange discursif. C'est en ce sens que l'on parle de cognition située. La construction de sens ne peut faire l'économie du rapport direct à l'état du monde qui situe la discussion. Les objets mobilisés (les crayons et stylos, instruments d'inscription, ou les dessins et cartes, supports cognitifs) sont dits, dans cet ordre d'idées, intermédiaires [12].

Ces dessins, ces cartes, tous au bout du compte représentations graphiques d'état du monde (physique ou cognitifs) ont un triple rôle de médiation.

- Ils sont d'abord intermédiaires entre les acteurs ; ils sont présents comme tiers entre leurs productions conceptuelles, ils sont au centre des mécanismes langagiers de co-référentiation.
- Ils sont également intermédiaires entre les acteurs et le monde, comme liens d'ancrage entre les productions discursives et les productions écrites.

---

3. Même si nous ne sommes pas en mesure de proposer ici une analyse détaillée (cf. note précédente). Nous renvoyons pour ce type d'analyse conduite dans des cas similaires de mise en situation de conception collaborative (voir [5], [4] par exemple).

- Enfin, et ce n'est pas la moindre des marques de médiations, ils sont des étapes du processus de construction de la carte classée finale. Ils forment des traces matérielles du processus cognitif conjoint. Autrement dit, ils sont intermédiaires entre l'avant et l'après des micro-décisions qui scandent la dynamique générale de la modélisation.

Ces objets graphiques ont un statut d'objets intermédiaires qui structurent de façon cruciale la dynamique cognitive qui nous aura intéressés ici.

## 6 Conclusion

Au delà de la seule description de la construction d'un système informatique de classification de structures spatiales, nous avons voulu, dans cet article, réfléchir au rôle de la représentation graphique dans ce processus cognitif. Pour ce faire nous avons adopté à la fois une position descriptive de la démarche de modélisation et une posture « méta » dans le but de mettre en exergue des caractéristiques que nous tenons pour fondamentales concernant les processus cognitifs en général, leurs aspects situés et distribués.

Bien que nous n'ayons pas d'analyse fine d'un exemple à proposer, nous insistons sur l'intrication forte existant entre les dire et les faire des acteurs de la démarche. Nous voulons dire par là que les acteurs de la dynamique cognitive construisent conjointement le produit fini. Dans cette situation où il s'agit de « manipuler du spatial », la construction s'appuie sur l'usage de représentations graphiques. Cet usage est associé à une production discursive interactionnelle référée à des objets du monde.

En nous ralliant au paradigme de la cognition située et distribuée, nous préférons utiliser le terme d'objets graphiques (*versus* représentations graphiques) qui ont le statut d'objets intermédiaires.

## Références

- [1] Bachacou (J.). – Carte de l'occupation du sol en Lorraine d'après les images Landsat, pour l'année culturale 1989-90. – Document, janvier 1995. Lab. d'Intelligence Artificielle et de Biométrie, INRA-Nancy.
- [2] Bachacou (J.), Le Ber (F.) et Mangelinck (L.). – *Analyse des paysages agricoles : définition d'indicateurs pour la reconnaissance de structures spatiales sur images satellitaires.* – INRA, 1999. À paraître.

- [3] Benoît (M.). – La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. In : Deffontaines [8], pp. 15–17.
- [4] Brassac (C.). – Communiaction<sup>®</sup> et cognition. Objet et interpsychologie – Habilitation à diriger des recherches, Université Nancy 2, 1999. À paraître.
- [5] Brassac (C.), Grégori (N.) et Grosjean (S.). – Conception et processus de décision, la nécessaire coopération en conception distribuée. In : *Apprentissage par l'interaction*, éd. par Zreik (Kh.), pp. 271–306. – Paris, Europa, 1997.
- [6] Brassac (C.) et Stewart (J.). – Le sens dans les processus interlocutoires, un observé ou un co-construit ? In : *Cinquièmes Journées de Rochebrune, Du social au collectif*.
- [7] Brunet (R.). – La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde*, no4, 1986, pp. 3–6.
- [8] Deffontaines (J.-P.), éd. – Gestion de l'espace rural, des pratiques aux modèles. – *Mappemonde*, no4, 1990. Numéro spécial.
- [9] Deffontaines (J.-P.). – Organisation spatiale de l'activité agricole et développement d'une petite région lorraine. In : Deffontaines [8], pp. 12–14.
- [10] Havelange (V.), Lenay (C.) et Stewart (J.). – Les représentations : mémoire externe et objets techniques. *Intellectica*, vol. 26, 1999.
- [11] Hernández (D.). – *Qualitative Representation of Spatial Knowledge*. – Springer-Verlag, 1994. LNAI 804.
- [12] Jeantet (A.). – Les objets intermédiaires dans les processus de conception des produits. *Sociologie du travail*, vol. 3, 1998, pp. 291–316.
- [13] Le Ber (F.). – Modélisation des connaissances et raisonnements pour l'analyse des paysages agraires à partir de données satellitaires. – Thèse de doctorat, Université de Nancy I, décembre 1993.
- [14] Mangelinck (L.). – Représentation et classification de structures spatiales. Application à la reconnaissance de paysages agricoles. – Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, octobre 1998.
- [15] Mangelinck (L.), Le Ber (F.), Tabbone (S.) et Deffontaines (J.-P.). – Reconnaissance de paysages modèles sur images satellitaires. In : *Colloque Étude des phénomènes spatiaux en agriculture*, éd. par Christophe (C.), Lardon (S.) et Monestiez (P.), pp. 33–45. – INRA éditions. La Rochelle, France, décembre 1995.

# **Le changement d'échelle dans l'analyse logique**

Nadine LUCAS  
*CRI*  
*GREYC*  
*Université de Caen*

## **0. Préambule**

Nous nous intéressons ici à l'un des aspects évoqués dans la présentation du thème: un croquis est-il aussi informant une fois terminé que pendant son élaboration? Les représentations graphiques font partie de notre héritage, elles interviennent dans l'apprentissage des concepts d'une discipline. Ici sont illustrées quelques difficultés de pondération ou d'explicitation des conventions de représentation, qui nous semblent indiquer des écarts par rapport au modèle d'origine. Ce problème est abordé dans le domaine de la syntaxe et trouvera son analogue dans la présentation de Nathalie Cousin-Rittemard dans le domaine de la mécanique des fluides. Nous espérons ainsi esquisser une problématique à deux voix, comme préliminaire à une discussion plus générale sur les représentations schématiques.

## **1. Les schémas de syntaxe**

Les schémas n'ont pas bonne presse en linguistique, du moins dans la tradition européenne. Cependant, ils interviennent au cours de l'apprentissage, en appui informel dans l'acquisition du métalangage. On notera qu'ils sont beaucoup utilisés et de façon beaucoup plus formalisée par les écoles américaines, et spécifiquement l'école Chomskienne.

Nous nous proposons de revenir sur les schémas informels, spécialement ceux qui dénotent des relations, dans une description fonctionnelle, celle de la grammaire scolaire. Les indices graphiques (en particulier les flèches) sont donnés pour faciliter l'exercice de ce que l'on appelait

naguère l'analyse logique". A partir d'un schéma d'interprétation des relations établies dans une phrase, on peut garder des notions et occulter voire oublier les conditions d'application de la méthode. C'est pourtant bien de méthode qu'il s'agit, si l'on veut cerner des opérations linguistiques, autrement dit dépasser l'apprentissage du perroquet, qui consiste à apprendre par cœur des cas de figures et à les réciter sur présentation d'un stimulus.

### 1.1. Un schéma ordonné et hiérarchisé

Dans le schéma ci-dessous, l'exemple canonique recouvre plusieurs implicites, que nous avons tâché de mettre en valeur en donnant deux sortes de légende. L'exemple cité est une des constructions-types ou prédicat-noyau proposées par Martinet (Martinet, 1970), mais non illustrée graphiquement dans cet ouvrage. Le schéma triangulaire ici reproduit est fort banal, et on le retrouve dans des manuels scolaires, aussi bien que sur les tableaux noirs des salles de cours.

Exemple 1. Le chasseur tue le lion.

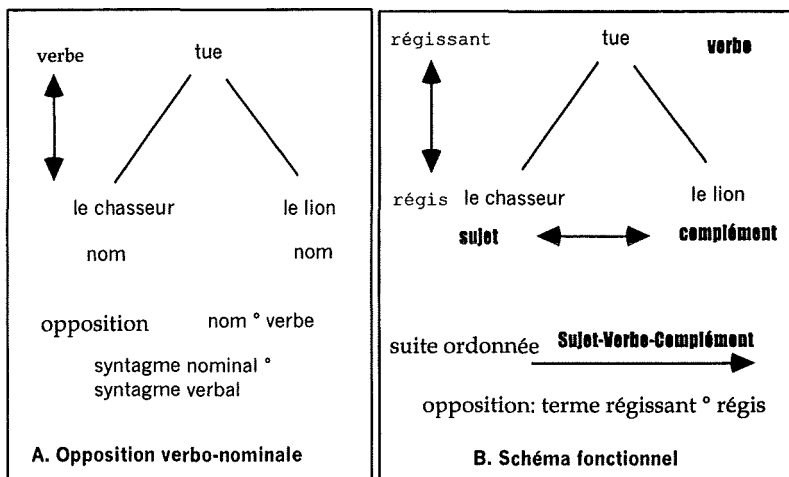


Figure 1. La proposition canonique en français

Le schéma est hiérarchisé, puisqu'un mot est placé au-dessus des autres (schéma A). l'opposition construite est que le verbe est différent des noms.

Il est également ordonné, il reflète l'ordre d'apparition des mots, et permet de donner un sens à une description métalinguistique, sujet, verbe, complément (schéma B). On peut ainsi voir que le même descripteur "verbe" est employé en tant que "catégorie" (morphologique) dans l'opposition verbo-nominale, et en tant que fonction, dans la description fonctionnelle, qui tient compte de la forme et de la position contextuelle<sup>1</sup>. On peut remarquer de plus que le terme de phrase employé précédemment est inadéquat, parce que le modèle décrit des phénomènes qui se justifient et s'expliquent dans le cadre de la proposition, entité "logique" inventée par la tradition linguistique.

Dans l'exemple cité, la ressemblance formelle entre le "groupe sujet" et le "groupe complément" est accentuée par le choix du singulier, du masculin et le choix de l'article défini pour chacun des groupes nominaux, couramment appelés syntagmes nominaux dans le jargon linguistique. On pourra, grâce à cet exemple, bien insister sur le fait qu'en français, le sujet et le complément ne sont pas marqués morphologiquement (contrairement au latin, au russe etc.), mais que ces fonctions sont uniquement définies par la position relative, et relative ici c'est "avant le verbe" pour le sujet et "après le verbe" pour le complément. L'exemple est choisi justement pour inciter à vérifier que la permutation des positions relatives donne une proposition parfaitement grammaticale, et en outre parfaitement interprétable, mais qui change tout du point de vue sémantique: "*Le lion tue le chasseur.*"

En outre, on remarquera que l'indice formel qui permet de typer le groupe nominal est la présence de l'article (c'est la forme qui varie en genre et en nombre et qui permet d'attribuer *in praesentia* un genre ou un nombre au syntagme nominal). On peut ainsi provisoirement définir le verbe "en creux", comme un élément qui n'est pas précédé d'un article. *A contrario*, on peut relever que le choix de cet exemple comme forme de référence rend inopérante la démonstration de l'accord sujet-verbe, qui est néanmoins une des caractéristiques remarquables de la syntaxe française (semblable en cela aux autres langues "latines").

## 1. 2. Un schéma symétrisé

---

<sup>1</sup> Il existe un terme métalinguistique, le "prédicat" mais sa définition varie. Nous simplifions provisoirement le problème en utilisant le terme le plus commun.

En tentant de construire un rapport de similitude entre la proposition et les structures de discours, on s'aperçoit que le schéma est encore plus riche ou "miné" qu'il n'y paraissait au premier abord. Deux évidences attireront ici notre attention. Le verbe est décrit comme le régissant de la proposition, un mot qui vient de *rex*, le roi en latin, et il est dessiné au-dessus des autres mots. La position centrale est-elle informative? Et qu'en est-il du caractère isolé de ce régissant?

En effet, on s'aperçoit facilement que la différence apparemment accidentelle ou anodine entre le nombre de mots dans les syntagmes fonctionnels (le groupe sujet, le groupe verbal) a une importance, au moins symboliquement : en effet, le régissant ou "roi" est aussi un "TERME", dans le sens ancien utilisé en rhétorique et en scholastique : un singleton, dirions-nous maintenant, car le régissant est un mot en même temps qu'un ensemble fonctionnel. On comprend que dans l'exemple scolaire, on choisisse de préférence des propositions dans lesquelles le "régissant" est associé facilement à "unique en son genre" comme un roi.

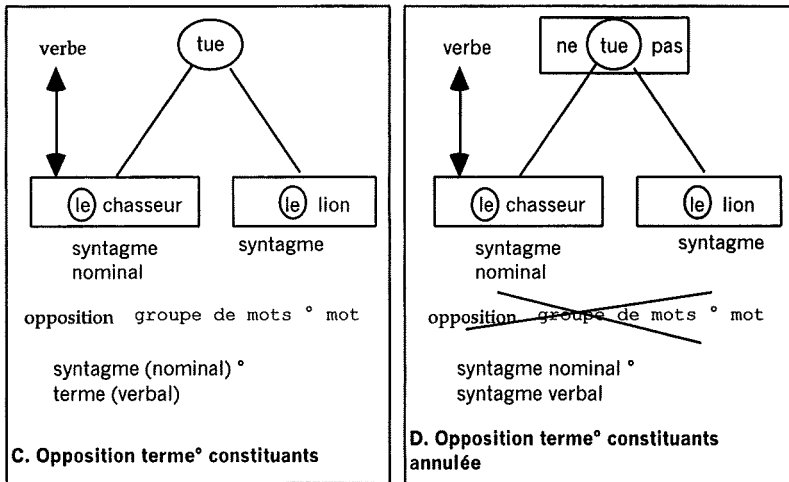


Figure 2. La forme canonique et le terme

Bien sûr, on peut arguer que le verbe n'est pas *nécessairement* un singleton et que l'on pourrait tout aussi bien avoir un exemple avec une forme négative (schéma D).



Exemple 2. Le chasseur ne tue pas le lion.

Certes, et pourquoi ne commence-t-on pas, justement, par des exemples dans lesquels le syntagme verbal est défini *in praesentia* par la négation qui l'entoure et le caractérise? C'est sans doute que le schéma perd alors de son efficacité, et ce n'est pas exactement un hasard, semble-t-il, si le modèle canonique en français se base sur des formes affirmatives, actives, et au présent.

D'autre part, pour en revenir à la centralité, si l'on prend un exemple avec un verbe intransitif, une explication reste valide, c'est celle de l'accord sujet-verbe. Mais, dans ce cas, le schéma est moins pertinent, puisque la position n'est pas prédominante.

Exemple 3. Le chat dort.

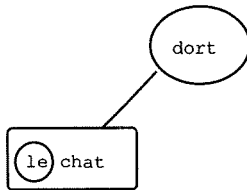


Figure 3. Une forme non-canonique

## 2. Le changement d'échelle des constructions canoniques

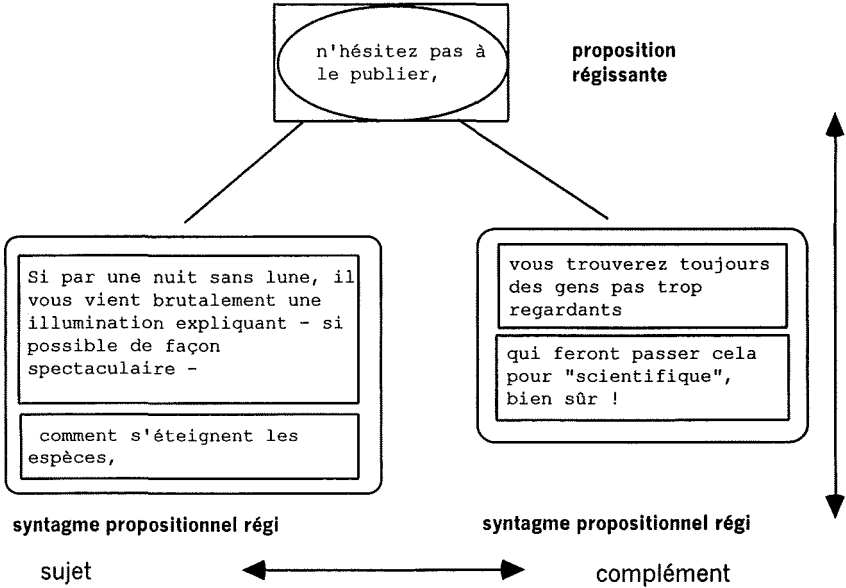
Les quelques exemples de formes variantes que nous venons de voir montrent combien il est facile de relativiser une forme canonique, voire de la décrier. La déclinaison des variantes ne nous intéressera pas ici, c'est au contraire la prototypicalité de la forme canonique et de sa représentation graphique qui nous intrigue. Qu'est-ce que le schéma apporte, dans sa simplicité?

C'est en exploitant un aspect oublié de la représentation graphique canonique (sa symétrie axiale) que je me suis intéressée à la notion de "TERME", pour gérer le changement d'échelle entre l'espace habituel de la phrase simple (contenant une proposition) et les espaces plus grands, allant jusqu'au discours entier.

En effet, si l'on garde l'idée que la structure de la proposition, résultant d'une "analyse logique" est une interprétation basée sur du matériel écrit, il faut bien à un moment relier la forme graphique à une unité logique. Nous avons ici cherché à représenter un rapport de proportion, en conservant les contraintes que nous venons d'illustrer, celle de la centralité et de la définition "en creux" du régissant de la proposition canonique. Nous généralisons donc le schéma en l'appliquant à des unités typographiquement délimitées, en faisant varier seulement la mesure typographique.

Dans la phrase complexe, le "régissant" du point de vue logique, la proposition dite "principale", n'est plus un TERME mot, entité graphique encadrée par des blancs, mais une proposition, encadrée par des virgules.

Exemple 4. Si par une nuit sans lune, il vous vient brutalement une illumination expliquant - si possible de façon spectaculaire - comment s'éteignent les espèces, n'hésitez pas à le publier, vous trouverez toujours des gens pas trop regardants qui feront passer cela pour "scientifique", bien sûr !



#### Figure 4. Construction avec terme-proposition

Nous envisageons ainsi un rapport de similitude entre des formes organisées suivant le même schéma à deux dimensions, avec un centre isolé qui se réduit d'une certaine façon à un point pour former le sommet du triangle dans la représentation spatiale, ou l'axe de symétrie des constructions de discours. Nous allons retrouver le TERME à différentes échelles, mettant en jeu différentes unités graphiques et perceptives, un mot, ou un groupe de mots entre virgules, une phrase, un paragraphe, un chapitre, selon la taille du discours dans lequel ces constructions sont interprétables.

Voici un paragraphe, qui forme le cadre d'interprétation d'une construction locale, dont la mesure est la phrase.

Exemple 5. En définitive, le succès technologique d'une espèce qui se dit intelligente et sa prolifération anarchique se traduit par un véritable éco-génocide, exacerbé en zone intertropicale. Et comme la survie, même précaire, de l'excédent annuel d'hommes implique *ipso facto* un accroissement des dégagements de gaz à effet de serre et des gaz «ozonocides», ces tendances lourdes vont contribuer inexorablement au réchauffement global et à l'augmentation du rayonnement UV. Pour le Professeur Klaus Wyrki de l'université de Hawaï<sup>(22)</sup>, l'un des fondateurs de l'océanographie tropicale, la montée de 30 à 80 centimètres du niveau océanique, prévisible pour le siècle à venir, ne sera qu'un facteur secondaire de destruction, par rapport à l'énorme vague humaine qui va déferler en zone intertropicale. Aurons-nous enfin la clairvoyance de briser le tabou des tabous (ce mot est d'origine polynésien) et de poser la question : combien d'hommes peut donc recevoir notre petit vaisseau planétaire, tout en maintenant sa diversité écologique? Puisse donc la spectaculaire «mort blanche» des coraux constituer un signal d'alarme et susciter une inquiétude salutaire, comme celle exprimée en juillet 1991 au Sénat par Daniel Millaud, sénateur de Polynésie française.

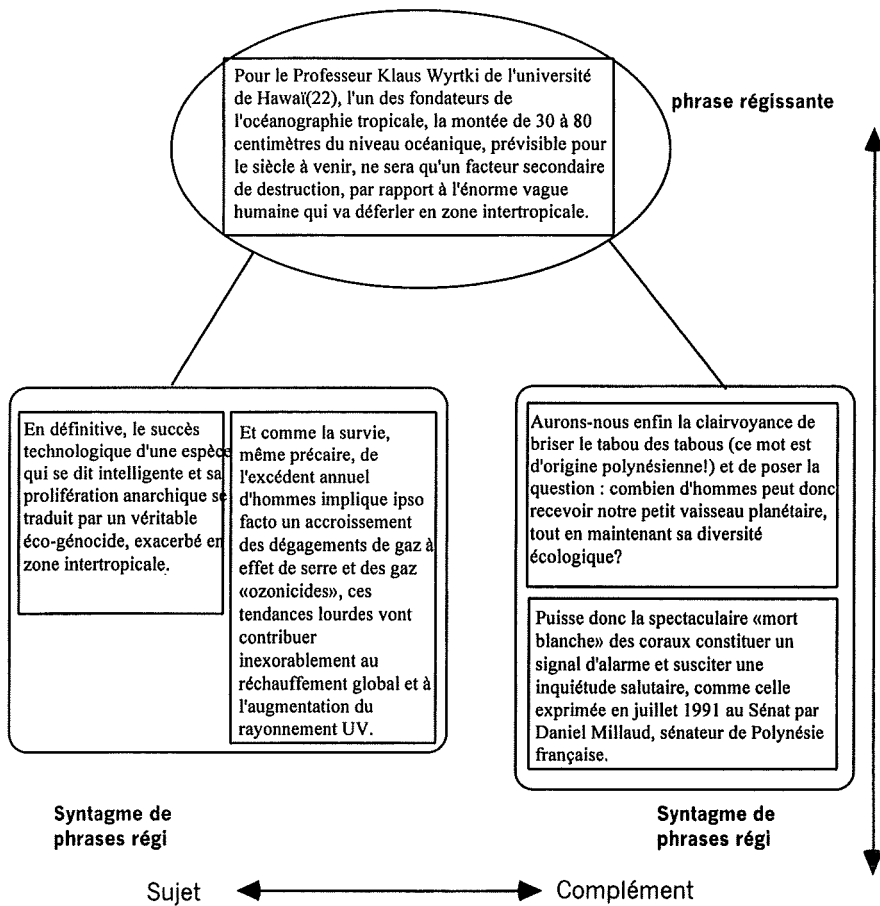


Figure 5. Une construction avec terme-phrase

Cette analyse a le mérite d'associer une forme matérielle à une description fonctionnelle, qui est par définition immatérielle. Le grain de l'analyse peut ainsi être défini par rapport à un jeu de relations, il apparaît dans les illustrations entouré par un cercle.

Jusqu'à maintenant, nous avons travaillé sur des formes en nous calant sur des constructions centrées, dans une fenêtre d'observation de plus en plus grande (successivement la phrase simple, la phrase complexe, le

paragraphe). Les exemples 4 et 5 sont des extraits de texte, ils ne constituent pas un discours à eux seuls. Nous allons enfin arriver à l'échelle du texte, plus exactement du corps d'article et observer une construction simple de discours.

#### Exemple 6.

Les arbres sont comme tout le monde, ils n'aiment pas tomber malade. Et encore moins qu'un parasite s'installe dans leurs entrailles pour les grignoter. Très friandes de bois, les larves de *Melanophila*, des petits coléoptères forestiers, en font les frais. À peine se sont-elles infiltrées entre deux nœuds que l'agressé piège les bestioles en sécrétant de la résine. Bloquées et incapables de percer le barrage gluant, les intruses meurent rapidement, asphyxiées.

Pour déjouer la défense du végétal, les *Melanophila* ont développé une astuce plutôt singulière... Ils attaquent des arbres fraîchement brûlés, qui n'ont plus la force de lutter contre un prédateur. Pas bête, mais encore faut-il repérer les incendies. Qu'à cela ne tienne: les rusés dépistent les feux de forêt... jusqu'à 50 km à la ronde!

Le secret de ce sixième sens? Trois chercheurs allemands de Bonn viennent de le découvrir: *Melanophila* détecte les rayons infra-rouges dégagés par les flammes. Nichée sous son thorax, une paire de petits organes captent ces invisibles rayonnements. De vraies têtes chercheuses: chaque appendice est tapissé de 50 à 100 petits bourgeons, des sensilles ultrasensibles qui absorbent les infra-rouges et transforment en quelques millisecondes leur énergie en chaleur.

L'élévation de température dilate les bourgeons, qui excitent alors des neurones spécialisés. "Il y a un brasier par-là", comprend en substance l'insecte, qui décolle aussitôt en écartant bien les pattes, histoire d'exposer complètement ses surprenants organes à l'air libre. Ainsi démasqués, les cylindres ballonnés détectent au mieux la direction de la source infrarouge et orientent avec promptitude le coléoptère vers l'incendie.

Pour assurer le couvert à ses futures larves, maman *Melanophila* n'a plus qu'à déposer délicatement ses œufs dans les fissures d'un tronc d'arbre consumé à point. Chaud devant!

On notera que dans ce corps d'article, dont le titre est "Détecteurs d'incendie" la constitution des "groupes de paragraphes" est facilitée par la présence de marques typographiques comme le point d'exclamation, qui signale la présence d'une phrase exclamative en fin de syntagme (= groupe de paragraphes), ainsi que par des débuts de paragraphe relié qui ont une forme spéciale, la proposition infinitive. Le paragraphe qui se retrouve isolé entre ces deux groupes est ici considéré comme le singleton régissant la structure, c'est le terme du discours. Dans cet exemple il est facile de remarquer que la phrase n'est pas un constituant qui aurait d'emblée un

statut "logique". La proposition et la phrase ne coïncident pas toujours, il y a nombre de phrases nominales, ou adjectivales, et au début du texte, une proposition couvrant deux phrases. De plus, l'ordre normal des constituants est très perturbé par des antépositions, qui ne concernent pas seulement les mots comme dans *encore faut-il*, les syntagmes (*Nichée sous son thorax, une paire de petits organes*) et les propositions (*Pour déjouer la défense du végétal, les Melanophila ont développé une astuce plutôt singulière...*), mais jusqu'aux phrases elles-mêmes, comme en témoigne une inversion (un procédé de cataphore) au début du paragraphe central. *Le secret de ce sixième sens? Trois chercheurs allemands de Bonn viennent de le découvrir:*

Les antépositions sont contrebalancées par de nombreuses postpositions, et le chaos observé au niveau de la phrase se résout très bien si l'on admet que, justement, ce n'est pas là qu'il faut chercher l'ordre, mais bien au niveau de chaque paragraphe pris comme unité constituante du discours, ou si l'on préfère, comme unité sémantique.

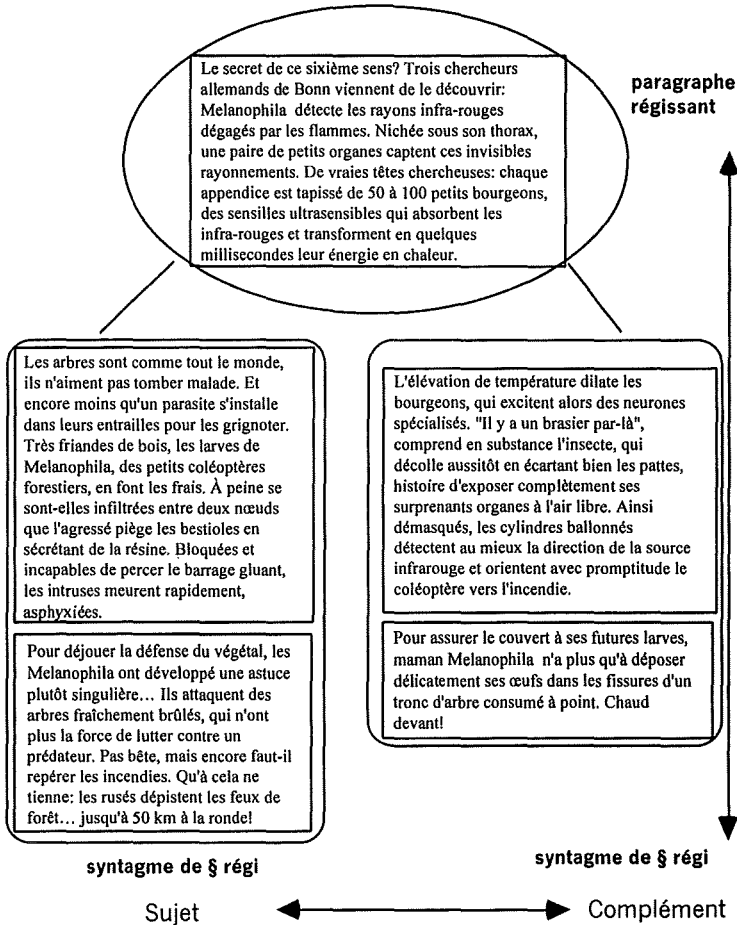


Figure 5. Une construction avec terme paragraphe

On notera que cette définition du terme en tant qu'élément central et en tant que singleton introduit une contrainte supplémentaire par rapport à l'ordre de succession des éléments typographiques, et que cette contrainte est paradoxale. En effet, si l'on construit une arborescence des constituants, on décrira une hiérarchie inclusive, dans laquelle le syntagme est constitué de mots, la proposition est constituée de syntagmes, la phrase est constituée de propositions, ... le texte est constitué de paragraphes etc.

Or, dans la représentation fonctionnelle, le terme qui est mis en position de régissant est une feuille, dans une représentation contrainte par la reconnaissance de deux paliers de constituants seulement. Ces deux paliers sont les constructions binaires de coordination ou de subordination, matérialisées dans les schémas par la position côte à côte (coordination) ou l'un sous l'autre (subordination) dans un rectangle à coins arrondis, et la construction ternaire symbolisée par les flèches reliant un centre à ses voisins. Ne pas respecter cette contrainte amène certains à confondre la représentation physique de l'espace de la phrase et son interprétation. On trouve ainsi, surtout chez les informaticiens-linguistes, des représentations arborescentes dans lesquelles la racine est Sentence, la phrase, qui se subdivise généralement en décomposition binaire jusqu'à arriver aux feuilles, qui sont les mots. On obtient ainsi une subdivision de la chaîne physique. Il s'ensuit des complications pour rendre compte de liens entre structures isolables mais qui ne sont pas forcément contigües, ni sagement enchâssées en poupée russe.

### 3. Forme non-canonique

Pour terminer, revenons un moment à l'idée de forme canonique. Jusqu'ici nous avons pré-supposé que toute construction canonique est une construction ternaire. Cela ne veut pas dire bien sûr que tout énoncé soit une forme canonique. Bien au contraire, la forme canonique n'est là que pour fixer un schéma simple. Sur le même modèle de relation centrée, il est possible de trouver des constructions saturées, qui comprennent des compléments antéposé et postposé, par exemple, ou des constructions "incomplètes" et autre variantes.

Tentons un exercice de variation. On a souligné l'idée que l'on travaille sur deux niveaux contigus, et qu'il y avait alternance entre un palier de construction binaire et un palier de construction ternaire ou du moins centrée. Le modèle donne des constructions binaires relativisées par rapport à la construction ternaire, comparons cette forme canonique à un dessin en noir sur blanc. Mais dans les énoncés, la construction englobante peut être la construction binaire, comme si l'on avait un dessin blanc sur noir. On trouve ainsi des constructions d'énoncé asymétriques. Dans l'exemple suivant, en gardant le terme paragraphe, on pourra voir un énoncé qui forme une construction comprenant deux "développements"



coordonnés mais très inégaux, car seul le premier terme est développé. Cette construction est l'équivalent d'une forme "il y a ceci où... et cela".

Le schéma devient assez difficile à organiser dans ce cas. Faute de pouvoir disposer spatialement la construction subordonnée incluse en triangle, comme nous l'avions plus ou moins adroitement simulé précédemment, nous avons opté pour une disposition alternativement horizontale et verticale des constituants.

#### Exemple 7.

##### Les sables mouvants

La mort jaune rôde. Moults explorateurs, soldats, scientifiques, touristes et autres aventuriers pourraient en témoigner. S'ils n'avaient été engloutis. Les sables mouvants existent. Où ça? Quasiment partout. La planète n'en est certes pas couverte comme la lune de cratères. Mais les sables avaleurs sont légions. De la France à la Chine, de la Finlande au Cameroun. Qu'importe le climat (tempéré, continental, polaire ou tropical) pourvu qu'on ait les ingrédients de base: du sable et de l'eau. Néanmoins, vous avez pu le constater sur les plages, tout sable humide ne se goinfre pas de baigneurs. Car pour faire un bon sable mouvant, il faut des conditions bien spéciales.

Dans les années cinquante, le professeur Ernest Rice Smith, un géologue américain, prit sa pelle et son seau et remplit ce dernier d'une bonne louche de sables mouvants. Ses conclusions: ni la forme des grains, ni la présence de vase ne sont responsables du phénomène, tout est question d'eau. Et l'important, ce n'est pas que le sable soit humide — on peut rouler avec un 32 tonnes sur la majorité des plages sans risquer l'engloutissement —, mais c'est la façon dont l'eau mouille les grains.

Le meilleur dispositif pour expliquer les sables mouvants sera conçu par l'un de ses collègues, le professeur Jorg Osteberg. Le dispositif comprenait un immense bac rempli de sable où arrivaient et repartaient des conduites d'eau. On pouvait faire circuler le liquide du bas vers le haut du bac, ou l'inverse. Bourrée de plomb afin que sa densité (rapport de son volume sur sa masse) soit proche de celui du corps humain, une poupée servait de cobaye, allongée ou debout sur le sable.

Miracle: quand l'eau part du fond du réservoir vers la surface, le pantin de chiffon et de plomb, coule à pic. Pourquoi sombre-t-il? En fait, l'eau, en remontant, écarte les grains les uns des autres. Chacun sur son coussin d'eau, les grains de sable n'ont plus aucune cohésion entre eux. Et plus les grains sont fins, moins le sable a besoin d'eau pour devenir mouvant! Dans la nature, le courant ascendant peut être l'eau d'une source.

En théorie, il est possible de flotter sur les sables mouvants: leur densité (autour de 1,8) est supérieure à celle du corps humain (proche de 1). Pourtant, on coule. La mode de circulation de l'eau et du sable expliquerait la chute fatale (*voir dessin, ci-dessus*).

Il existe d'autres sables mouvants — beaucoup plus rares et dans les déserts —, sans eau, mais avec de l'air. Là, les grains de sables ne sont pas en suspension. Ils se touchent, forment des voûtes et des trous. Des études récentes, menées par le physicien américain R. A. Bagnold, ont montré que des grains suffisamment fins (10 à 20 microns, autour de 1/100 à 1/150 de

mm de diamètre) pouvaient former, en se déposant au hasard, un véritable gruyère de sable. Un peu comme les briques du jeu sur ordinateur *Tétris* quand on les laisse s'empiler toutes seules. Pleines d'air, à la moindre pression du pied, cette véritable poudre s'effondre sur elle-même comme un château de cartes. La poudre se tasse sous les pieds du marcheur qui s'enfonce dans le désert.

La mort jaune rôde. Moults explorateurs, soldats, scientifiques, touristes et autres aventuriers pourraient en témoigner. S'ils n'avaient été engloutis. Les sables mouvants existent. Où ça? Quasiment partout. La planète n'en est certes pas couverte comme la lune de cratères. Mais les sables avaleurs sont légions. De la France à la Chine, de la Finlande au Cameroun. Qu'importe le climat (tempéré, continental, polaire ou tropical) pourvu qu'on ait les ingrédients de base: du sable et de l'eau. Néanmoins, vous avez pu le constater sur les plages, tout sable humide ne se goinfre pas de baigneurs. Car pour faire un bon sable mouvant, il faut des conditions bien spéciales.

Il existe d'autres sables mouvants — beaucoup plus rares et dans les déserts —, sans eau, mais avec de l'air. Là, les grains de sables ne sont pas en suspension. Ils se touchent, forment des voûtes et des trous. Des études récentes, menées par le physicien américain R. A. Bagnold, ont montré que des grains suffisamment fins (10 à 20 microns, autour de 1/100 à 1/150 de mm de diamètre) pouvaient former, en se déposant au hasard, un véritable gruyère de sable. Un peu comme les briques du jeu sur ordinateur Tétris quand on les laisse s'empiler toutes seules. Pleines d'air, à la moindre pression du pied, cette véritable poudre s'effondre sur elle-même comme un château de cartes. La poudre se tasse sous les pieds du marcheur qui s'enfoncé dans le désert.

Dans les années cinquante, le professeur Ernest Rice Smith, un géologue américain, prit sa pelle et son seau et remplit ce dernier d'une bonne louche de sables mouvants. Ses conclusions: ni la forme des grains, ni la présence de vase ne sont responsables du phénomène, tout est question d'eau. Et l'important, ce n'est pas que le sable soit humide — on peut rouler avec un 32 tonnes sur la majorité des plages sans risquer l'engloutissement —, mais c'est la façon dont l'eau mouille les grains.

Le meilleur dispositif pour expliquer les sables mouvants sera conçu par l'un de ses collègues, le professeur Jorg Osteberg. Le dispositif comprenait un immense bac rempli de sable où arrivaient et repartaient des conduites d'eau. On pouvait faire circuler le liquide du bas vers le haut du bac, ou l'inverse. Bourrée de plomb afin que sa densité (rapport de son volume sur sa masse) soit proche de celui du corps humain, une poupée servait de cobaye, allongée ou debout sur le sable.

Miracle: quand l'eau part du fond du réservoir vers la surface, le pantin de chiffon et de plomb, coule à pic. Pourquoi sombre-t-il? En fait, l'eau, en remontant, écarte les grains les uns des autres. Chacun sur son coussin d'eau, les grains de sable n'ont plus aucune cohésion entre eux. Et plus les grains sont fins, moins le sable a besoin d'eau pour devenir mouvant! Dans la nature, le courant ascendant peut être l'eau d'une source.

En théorie, il est possible de flotter sur les sables mouvants: leur densité (autour de 1,8) est supérieure à celle du corps humain (proche de 1). Pourtant, on coule. La mode de circulation de l'eau et du sable expliquerait la chute fatale (voir dessin, ci-dessus).

Figure 7. Construction binaire à terme paragraphe avec construction subordonnée incluse

## 4. Conclusion

En conclusion, partant d'une représentation graphique assez triviale, presque trop familière pour être imprimée dans les ouvrages de linguistique, nous avons remonté sans doute en sens inverse un chemin qui a mené à l'origine plutôt du discours vers la proposition que de la proposition vers le discours. Ne dit-on pas en effet "parties du discours" pour désigner les catégories syntaxiques? Et "analyse logique" pour parler de l'analyse fonctionnelle de la proposition? Plus d'un auteur indique que les mêmes phénomènes s'observent dans le discours et dans la phrase.

La variabilité de la longueur des discours est certes un bon incitatif pour chercher à gérer, de manière assez pragmatique, le changement d'échelle. Il est beaucoup plus commode de garder, comme le faisait remarquer Bloomfield, un très petit nombre de relations, pour permettre une appréhension immédiate du sens d'un énoncé. Greimas a reformulé joliment ce principe : "*il faut garder le jeu à l'échelle du joueur*", autrement dit, au lieu de multiplier les "étiquettes" métalinguistiques, associées à des unités de compte finalement arbitraires, il vaut mieux, dans le cas du texte en particulier, construire de plus grands ensembles, du moment qu'ils sont pertinents pour l'analyse. Cela, nous l'avons vu, peut se faire en déterminant un terme de discours par assimilation d'une unité marquée typographiquement et d'une unité interprétative.

La proposition en ce sens serait la plus petite structure envisageable. C'est en effet en transposant l'image du triangle, un schéma relationnel, que nous pouvons le plus facilement réfléchir à la notion de rapport de similitude et d'homotéthie de construction. Mais un petit dessin ne vaut-il pas mieux qu'un long discours?

## Références bibliographiques

Exemples extraits de:

**A. MARTINET**, Eléments de linguistique générale, 3ème ed. 1991 1ère ed. 70 Paris: Armand Colin.

**J. GIRARDON**, "La disparition des dinosaures", *Sciences et avenir*, 465, novembre 1985, pp. 28-35.

- F. ROUGERIE B. SALVAT & M. TATARATA-COURTAUD** "La "mort blanche" des coraux", *La Recherche*, 23, 245, pp. 827-834, 1992.
- S. DYCKMANS**, "DéTECTEURS d'incendie", *Science et vie junior*, 96, septembre, p. 28, 1997.
- D. POUILLOUX**, "Les sables mouvants", *Science et vie junior*, 96, septembre, pp. 68-69, 1997.

## Références

- BLOOMFIELD, L. *Language*, 1st ed. 1933. London: George Allen & Unwin, 1958. 566p.
- BURKE HUBBARD, Barbara. *Ondes et ondelettes: la saga d'un outil mathématique*. Paris: Pour la Science, diffusion Belin, 1995. 235 p.
- CHALMERS, Alan F. *Qu'est-ce que la science? Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend*. Trad. Biezunski M. ed. originale 1976 ed. fr. La Découverte 1987. Paris: Le livre de poche, 1987.
- CHATELET, François. *Une histoire de la raison: entretiens avec Emile Noël*. Paris: Seuil, 1992. 229 p.
- CRITON, Michel. *Les jeux mathématiques*. Que Sais-je? 1 ed. Paris: Presses universitaires de France, 1997. 126 p.
- GREIMAS, A. J. *Sémantique structurale: recherche de méthode*, Langue et langage. Paris: Larousse, 1966.
- LUCAS, N. COUSIN-RITTEMARD, N. "Acting with Diagrams: how to Plan Strategies, in Two Case Studies", University of Wales, Thinking with diagrams 98: Is there a Science of Diagrams?, Aberystwyth, 145-150, 1998 .
- NELSEN, Roger B. *Proofs without words: exercices in visual thinking*. Washington: The Mathematical Association of America, 1993. 152 p.
- SERRES, Michel. *Les origines de la géométrie*. Champs. Paris: Flammarion, 1993. 337.
- SERRES, Michel (sous la dir. de). *Eléments d'histoire des sciences*. 1ère ed 1989. Paris: Larousse-Bordas, 1997. 890 p.
- STEVENS, Peter S. *Les formes dans la nature*. Paris: Seuil, 1978. 232 p.



# Le diagramme : à la périphérie ou au cœur de la cognition ?

Bernard MORAND

GREYC UPRESA CNRS 6072, Université (IUT) et ISMRA de Caen

## Résumé

En tant que support d'une représentation, le diagramme est un outil d'usage général dans des disciplines très diverses qui vont des sciences de l'éducation aux mathématiques en passant par les sciences expérimentales ou les sciences de l'ingénierie. Le caractère commun généralement reconnu à tous ces usages est le fait qu'une représentation par diagrammes possède des vertus particulières : visualisation, immédiateté, spatialité, créativité, conformité à l'intuition. Ces caractères qui conduisent à centrer les phénomènes cognitifs sur la perception ont fait l'objet de deux controverses majeures, l'une en psychologie cognitive ("imagery debate"), l'autre en sémiolinguistique (querelle de l'iconisme). Nous mettons en évidence les points communs à ces deux controverses, en particulier l'opposition entre cognition visuelle et cognition logique d'origine langagière. Nous montrons comment la sémiotique peircéenne permet de dépasser cette opposition sur deux plans : du fait de la nature iconique du signe et du fait de la nature diagrammatique des raisonnements. Cet aspect synthétique est plus particulièrement développé pour le cas du raisonnement abductif.

## 1. Introduction

"A diagram is (sometimes) worth ten thousand words" [8]. Cette assertion en forme d'idée reçue est en fait l'énoncé d'un problème comme l'indique l'ajout de la parenthèse ("*sometimes*") par les auteurs. Le diagramme dont l'usage est général, particulièrement dans les sciences de l'ingénieur, s'y présente sous divers aspects : modèle, croquis, image, plan, esquisse, maquette, étude, topo, patron, canevas, figure, prototype, schéma, graphique, etc. Cependant, les ingénieurs ne sont pas seuls propriétaires du diagramme. Déjà Porphyre suivi par Aristote se proposait d'exprimer des catégories philosophiques dans la figure d'un arbre. Plus tard, Venn s'est par exemple rendu célèbre par ses diagrammes de visualisation des opérateurs ensemblistes en mathématiques. Dans un travail précédent nous mettions en évidence trois traits sémantiques du terme "modèle" [11]. Le

premier est celui d'objet idéal, éventuellement non perceptible comme dans l'expression "enfant modèle". Le second est celui d'objet d'imitation comme dans le cas du moule de fonderie ou le modèle d'écriture mis par l'instituteur au tableau. Le troisième est celui d'une forme logico-mathématique pure comme dans le cas du modèle ensembliste ou du modèle au sens de Tarski. Si le diagramme peut être caractérisé comme une espèce du genre modèle, il semblerait donc appartenir à la seconde catégorie des objets d'imitation. Nous montrerons que ces trois traits sémantiques entretiennent cependant des rapports qu'il est possible de préciser.

Nous consacrons la section 2 à la description d'un état des lieux dans lesquels le diagramme se présente comme un support de représentation muni de propriétés particulières, en opposition au texte écrit ou verbal. Ces propriétés seraient liées à sa nature visuelle et le rendraient particulièrement apte à la représentation analogique des objets ainsi qu'au raisonnement spatial ou temporel. Nous examinons en section 3 deux controverses majeures sur lesquelles débouche cet état des lieux. La première connue sous le nom de "*imagery debate*" a principalement concerné la psychologie cognitive. Il s'agissait de savoir si les images mentales existent et si elles jouent un rôle fonctionnel dans le processus de pensée ou si, à l'inverse, la pensée ne s'exprime exactement que dans la verbalisation de propositions. La seconde controverse, approximativement contemporaine de la précédente (années 70-80) est connue sous le nom de "querelle de l'iconisme" en sémiolinguistique. Elle oppose les iconistes qui considèrent une relation authentique de ressemblance entre l'objet de la perception et le percept, aux iconoclastes qui considèrent cette relation comme un simple effet d'une opération intellectuelle délibérée à caractère essentiellement linguistique. Ces deux controverses sont à la source de théories divergentes de la connaissance et nous semblent avoir poursuivi leur chemin sous des formes variées en sciences cognitives. En restreignant le champ d'investigation à la question des inférences par diagramme, nous nous proposons en section 4 de montrer comment la sémiotique peircéenne peut éclairer ces controverses.

## **2. Propriétés cognitives spécifiques du diagramme**

La diversité des cas d'emploi et des domaines d'application dans lesquelles interviennent des diagrammes rend difficile d'en proposer une caractérisation générale. Nous nous appuyons dans cette section sur une étude empirique et donc sujette à caution d'une soixantaine de "*position*



*papers*" présentés en préparation du Workshop Thinking With Diagrams [17] qui s'est tenu en 1998. On peut observer que les principaux secteurs d'application concernés pour cette occasion relèvent a) de l'imagerie, de la perception et de la visualisation (25 cas), b) de la communication au sens large (9 cas), c) de l'apprentissage (13 cas) et d) du raisonnement (15 cas). Les champs disciplinaires couvrent un très large spectre : linguistique, informatique, intelligence artificielle, sciences de l'éducation, psychologie, sciences de l'ingénieur, architecture, arts, logique et mathématique. On pourrait certainement argumenter que les sciences cognitives pourraient faire acte de candidature à l'unification d'une telle diversité.

Cependant, un consensus se dégage entre les auteurs sur la reconnaissance du fait qu'un diagramme est un support (sinon un langage) de représentation muni de propriétés spéciales. Nous proposons de classer celles-ci sous trois rubriques principales : son caractère intrinsèquement visuel, sa conformité à l'objet qu'il représente, sa conformité à certaines modalités de raisonnement.

Sous la rubrique des propriétés visuelles on peut observer dans l'exemple ci contre que le diagramme fonctionne comme une sorte d'interface entre l'environnement et le sujet connaissant : pour dire (sujet) ce que sont un bouton d'or et une primevère (environnement), il suffit de les dessiner (interface).

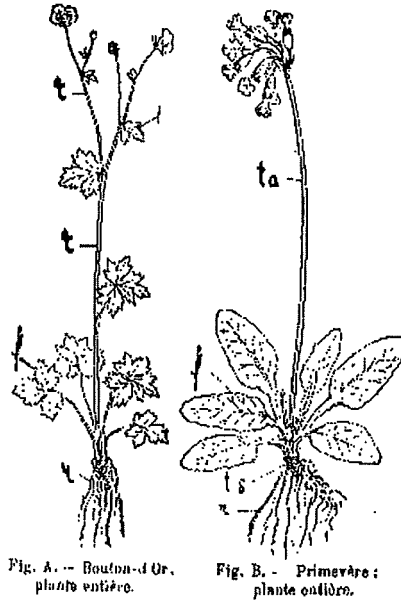


Fig. A. - Bouton-d'Or :  
plante entière.

Fig. B. - Primevère :  
plante entière.

**Figure 1 : Les diverses parties de la plante** (Extrait de *Nouvelle Flore du Nord de la France*, Bonnier et De Layens, L.G.E. Paris, 1972)

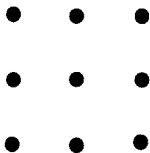
Les propriétés de visualisation s'accordent donc bien à la question de l'identification des objets extérieurs et aussi à leur comparaison. On observe que dans ce cas, bouton d'or et primevère possèdent une racine, une tige et des feuilles, ce qui est mentionné par des lettres de l'alphabet qui seront reprises dans le texte explicatif d'accompagnement. Les propriétés de visualisation d'objets du monde par diagramme pourront être exploitées dans des domaines aussi différents que l'analyse de scènes, la reconnaissance de formes ou encore l'explication (ce dernier cas est celui de la Fig. 1). L'objet montré peut également être un objet abstrait comme par exemple le déroulement d'un programme informatique en programmation visuelle, le contenu d'une base de données en communication personne-machine ou encore une figure géométrique en mathématiques.

Du caractère visuel du diagramme découle une autre propriété, sa conformité à l'objet représenté. Celle-ci tient au rapport analogique entre formes, ce que montre bien la Fig.1 : le lecteur du diagramme y "voit" de manière littérale un bouton d'or et une primevère (constater cependant que

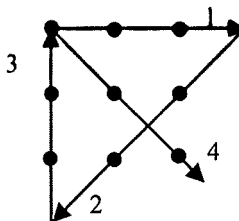
cette perception semble devoir être confirmée par les deux légendes). La propriété d'analogie, similitude ou ressemblance sera par exemple utilisée dans les cartes de géographie dans lesquelles la disposition des éléments de la carte est "à l'image" de la topologie du territoire. Il en va de même pour l'esquisse de l'architecte ou le dessin 3D d'une pièce de fabrication. Cette propriété de conformité à l'objet rend compte d'une propriété d'usage des diagrammes : leur immédiateté. C'est précisément cette immédiateté qui est visée par la formule "*un bon dessin vaut mieux qu'un long discours*" dans laquelle le qualificatif "long" est opposé à "bon" : aucune inférence particulière n'est nécessaire pour passer de la représentation à son objet. Ainsi en va-t-il des diagrammes de Venn qui donnent de manière immédiate les concepts d'inclusion et d'intersection d'ensembles. En psychologie cognitive, cette immédiateté est réputée réduire la charge cognitive du sujet connaissant. Le diagramme devient ainsi un "*snapshot*" de la pensée (en laissant pour l'instant de côté la question de la nature du référent du diagramme : objet du monde extérieur ou image mentale, nous allons y revenir). De la propriété d'immédiateté en découle une nouvelle, celle de la facilité de l'apprentissage. Celle-ci est également attestée dans le cas de la Fig. 1 : il est facile d'y apprendre le concept de "tige", par simple visualisation. Dans un autre domaine, elle est à la base des travaux du programme *Hyperproof* pour l'apprentissage du raisonnement logique [1]. Il semble que le diagramme soit ainsi fortement relié aux notions cognitives d'intuition et d'évidence. Enfin, l'isomorphie entre un objet et son diagramme font de ce dernier un instrument facilitateur de la communication : l'information, véhiculée par le diagramme entre son auteur et son lecteur est constituée par l'identité de formes (*con-formité*) que le diagramme entretient avec son objet.

La troisième rubrique au titre de laquelle le diagramme apparaît comme un instrument cognitif très particulier est celui du raisonnement. Sans entrer dans le détail de ses propriétés inférentielles, nous mentionnons deux points habituellement cités. Le premier concerne le fait que la disposition spatiale des éléments d'un diagramme permet de concrétiser, en les réalisant physiquement sur le support, des contraintes abstraites qui doivent être maintenues à chaque pas de l'inférence. Les figures de géométrie exploitent cette propriété de manière systématique : on peut conserver la contrainte abstraite de parallélisme entre deux segments de droite dont on déplace les points terminaux dans la matérialité de leur tracé. A l'inverse, une contrainte non explicitée peut être découverte dans l'observation du dessin (lors de la reconnaissance d'une symétrie par exemple). Dans la mesure où le diagramme se déploie sur un

support qui lui est étranger (la feuille de papier), ce support peut figurer un espace de recherche dans la résolution de problèmes. C'est le cas dans le problème suivant : étant donné une figure définie par neuf points disposés en carré (Fig. 2, à gauche), proposer un tracé qui permette de joindre les neuf points en quatre segments contigus (cité d'après [9] qui en propose une analyse plus systématique).



Un problème



...sa solution diagrammatique

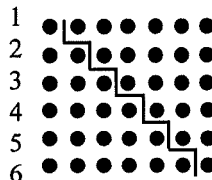
**Figure 2 : Résolution de problème par diagramme**

L'autre propriété inférentielle habituellement reconnue au diagramme est la possibilité de le manipuler, d'en opérer des transformations. Ces transformations permettent de juger de l'exactitude (ou de l'erreur) du raisonnement entre deux pas d'inférence. La succession des états du diagramme concrétise le caractère temporel d'un raisonnement ainsi que la nature des transformations opérées entre chaque pas [2]. Le diagramme est donc un instrument particulièrement adapté pour le raisonnement de nature qualitative, causale ou temporelle et ce, indépendamment du domaine d'application. Nous reviendrons sur cet aspect qui est également à l'origine de la thèse de Peirce selon laquelle tout mode de raisonnement est essentiellement de nature diagrammatique. Les caractéristiques de spatialité et de temporalité peuvent à elles deux expliquer que le diagramme puisse être un instrument de preuve. Nous nous limitons à un exemple classique (Fig. 3 ) dans laquelle une propriété spatiale (superficie d'une aire dans un espace à deux dimensions) est utilisée pour montrer qu'il ne peut en être autrement de la somme des  $n$  premiers entiers.

*La partie gauche du rectangle contient autant de points que la somme des 6 premiers nombres entiers ( $1+2+\dots+6$ ) :*

*Son aire est égale à la moitié de celle du rectangle, soit 6 unités x 7 unités / 2.*

*On vérifie que le résultat pour  $n=6$  se généralise pour  $n$  quelconque par extension de l'espace de référence.*



**Figure 3 : Preuve graphique que la somme des  $n$  premiers entiers est égale à  $n(n+1)/2$ .**

Au terme de ce rapide état des lieux on peut, nous semble-t-il, poser la question suivante : les propriétés remarquées pour le diagramme lui sont-elles particulières, ce qui expliquerait son intérêt pour certains types déterminés d'opérations cognitives (en particulier celles qui sont liées à la perception en situation), ou bien s'agit-il de la trace d'une opération essentiellement impliquée dans tout type général de cognition ?

## **2. Iconicité de la perception ou logique de la langue ?**

Les réponses possibles à la question qui vient d'être posée ont fait l'objet de deux controverses majeures au sein de deux champs disciplinaires distincts dans les années 70-80. Il s'agit de l'*imagery debate* en psychologie cognitive d'une part et de la querelle de l'iconisme en sémiolinguistique d'autre part. Faute de vainqueur décisif, ces discussions sont encore d'actualité. Malgré le risque inhérent à toute tentative visant à rendre compte de manière unique de questions spécifiques à des disciplines particulières, nous tenterons d'en montrer ici les consonances<sup>1</sup>.

### *3.1. Illustrations ou descriptions*

En psychologie cognitive, le débat oppose les partisans de la Théorie des Descriptions [14, 15] et les partisans de la *Picture Theory* [6, 7]. La thèse des premiers consiste à nier toute réalité mentale ou psychologique aux images mentales au profit d'un mécanisme général de représentation fondé sur un principe linguistique. C'est pourquoi cette thèse est indifféremment nommée *sentential representation* ou encore *propositional theory*. La métaphore du langage comme moyen de représentation interne par le sujet cognitif va jusqu'à considérer qu'une telle représentation n'est autre qu'une "écriture de la pensée dans l'esprit", un mécanisme qui

---

<sup>1</sup> Nous ignorons si les protagonistes du débat étaient eux-mêmes avertis des rapports entre les deux controverses. Une étude plus approfondie des sources bibliographiques serait nécessaire ici. A titre d'exemple, on peut noter que les travaux du psychologue Gibson sur les systèmes de perception sont cités dans les deux champs.

consiste à encoder des structures sous forme de phrases propositionnelles dans un "langage interne de l'esprit" [5]. Par définition, la très grande généralité et l'autosuffisance de ce mécanisme font qu'il est réputé s'appliquer à toutes les formes de processus cognitifs authentiques, opérations de perception comprises. Les tenants de la *Picture Theory* considèrent au contraire que les représentations internes de nos perceptions consistent en images, ressemblantes ou fonctionnellement équivalentes, des objets perçus. Dans les travaux de Kosslyn, la métaphore explicitement utilisée est celle de l'écran de l'ordinateur : on y suppose le cerveau muni d'un buffer visuel (lieu neuronal déterminé), connecté aux organes de la vision et chargé de reconstruire une image au moyen de primitives graphiques de description. Le buffer constitue une représentation de surface, spatiale, et les primitives sont contenues dans une mémoire à long terme (représentation profonde). L'explicitation à la conscience de la signification de l'image de surface est ensuite réalisée par une fonction d'interprétation (*mind's eye function*). Contrairement à la Théorie des Descriptions, la théorie de l'illustration est donc fondée sur une spécificité des mécanismes cognitifs propres à la perception.

Selon Nigel Thomas [16] auquel nous empruntons largement dans ce qui suit, ces deux approches doivent être considérées comme deux programmes de recherche alternatifs plutôt que deux théories ayant d'ores et déjà été validées ou réfutées :

*"The fact is that the method of experimental psychology have not, as yet, been sufficient to bring out a resolution of the imagery debate, and some authors have gone so far as to suggest that they cannot be".*

Du côté de la *Picture Theory* trois séries de faits expérimentaux, notamment, posent problème. Le premier est celui des images réversibles comme le cube de Necker ou encore le célèbre lapin-canard qui montrent que le phénomène perceptif ne semble pas limité à une copie passive dans un buffer visuel mais bien un acte de déplacement actif de l'attention visuelle du sujet. Le second fait tient à des expériences pratiquées avec des aveugles de naissance qui montrent que ceux-ci sont capables de former des constructions mentales du même type que celles qui sont utilisées pour accrédi-ter la théorie de l'illustration. Ceci ouvre la question de savoir si l'accent mis sur la vision est pertinent : qu'en est-il des autres sens comme le toucher, l'ouïe ou l'odorat ? Enfin, la *Picture Theory* ne permet pas de rendre compte de ce que nous appellerons des perceptions "imaginaires", en l'absence d'objet réel, sinon à supposer une zone particulière du buffer visuel exclusivement dédiée à une sorte de perception "interne". Du côté

de la Théorie des Descriptions, son caractère très général ne permet pas la prise en compte des faits expérimentaux mis en évidence par ses adversaires, sinon au prix d'une réécriture conceptuelle de ceux-ci en langage interne et, pour la même raison, elle n'a rien à dire sur les perceptions imaginaires. Deux faits expérimentaux viendraient même mettre en doute sa solidité. Le premier est celui des illusions visuelles qui semblent perdurer, alors même que le sujet est pleinement conscient de cette illusion : il se passerait bien quelque chose en deçà des descriptions. Surtout, les travaux des neuropsychologues montrent aujourd'hui que l'activité visuelle se développe bien dans certaines parties localisables du cerveau : au plan organique, au moins, il y aurait une spécificité de la perception.

Comme dans la plupart des cas où deux théories fortes se disputent les faits, des tentatives de dépassement ont été proposées. La première est un essai d'hybridation, connu sous le nom de *Dual Coding* [12]. L'hypothèse y est faite que la cognition humaine se développerait selon deux systèmes indépendants, spécialisés mais interconnectés : l'un pour l'information de nature linguistique (le système verbal, représenté dans des unités appelées logogènes), l'autre pour le non verbal représenté par des unités nommées imagènes. La connexion résulte de l'association entre un logogène et son imagène correspondant. D'une certaine façon, ceci revient à supposer résolu le problème que l'on essaie de poser en ne tranchant rien, nous semble t il, sur la nature du rapport verbal / non verbal, sinon de faire le constat de leur différence. Une autre façon de dépasser les deux termes de la controverse, par le haut cette fois, consiste à observer que l'ensemble de ces théories ont en commun un postulat fondamental, bien que souvent implicite, celui de la métaphore cerveau-ordinateur. En effet, le paradigme général du traitement de l'information se traduit dans tous les cas par le fait que les contenus mentaux (linguistiques ou images) sont des structures informationnelles encodées et manipulées par des opérateurs de traitement. Le débat ne porte donc que a) sur les formats de l'encodage (formules logiques ou pixels) et b) sur le mode d'acquisition des inputs (phénomène linguistique ou appareillage sensori-moteur). Une façon de dépasser la querelle consiste alors à ne pas utiliser de manière littérale la métaphore cerveau-ordinateur dans une description d'architecture mais à déplacer la question sur les propriétés fonctionnelles de l'activité de computation. Les plus conséquents dans cette voie sont certainement Larkin et Simon dans leur article de 1987, précisément écrit à propos du cas des diagrammes [8]. Au lieu de focaliser sur une architecture interne de représentation, les auteurs adoptent délibérément un point de vue externe. Ils observent ainsi

que dans le cas de la *sentential representation*, les expressions du langage formel forment une séquence en relation de un pour un avec les expressions correspondantes de la langue naturelle qui expriment le problème. Dans le cas de la *diagrammatic representation*, une même relation de un pour un est établie, mais cette fois entre les composants du diagramme qui décrivent le problème. La différence essentielle est que le diagramme préserve une information sur des relations topologiques entre composantes alors que la représentation propositionnelle préserve une information sur des relations de séquence temporelle ou logique. Larkin et Simon montrent au moyen de plusieurs exemples que la représentation diagrammatique, en associant dans un même lieu des informations qui seront accédées simultanément au cours du traitement, dispose de la meilleure efficacité computationnelle. Cet avantage est particulièrement net pour le processus de reconnaissance :

*"We believe the right assumption is that diagrams and the human visual system provide, at essentially zero cost, all of the inferences we have called perceptual".*

Le regroupement spatial de l'information en certains lieux évite de recourir à une étiquette symbolique<sup>2</sup> pour désigner ces regroupements et enfin les diagrammes sont des supports commodes pour les inférences et la communication entre humains. Les bénéfices sont donc ceux qu'on peut analyser dans une représentation en forme de mémoire externe, mais les auteurs sont d'une prudence extrême quant à la transposition de ces résultats au plan de la psychologie, tout en pensant que cette hypothèse mérite d'être testée.

Les résultats empiriques dont nous avons fait état et relatifs à la *Picture Theory* ont précisément conduit N. Thomas à proposer [16] une voie de recherche en psychologie qui nous semble correspondre dans son esprit au souhait de Larkin et Simon. Au lieu de considérer la perception dans son résultat ou sa structure (un mode de stockage de l'information), l'accent est mis sur un processus continu de mise à jour et de redéfinition de procédures qui spécifient comment l'attention se trouve plus efficacement dirigée dans des situations particulières de perception. Thomas nomme cette approche *Perceptual Activity Theory* :

*"On this view, no end-product of perception, no inner picture or description is ever created. No thing in the brain is the percept or image. Rather perceptual experience consists in the on going*

---

<sup>2</sup> Nous ne pouvons résister à faire ici un nouveau rapprochement avec cette autre discussion qui a porté sur les mérites respectifs de la représentation de connaissances sous forme de réseaux sémantiques versus représentation en logique des propositions.



*activity of schema-guided perceptual exploration of the environment*".

La métaphore de référence est ici celle de la vision active dans le domaine de la robotique dans un projet plus large de prise en compte des modalités diverses de la perception, notamment celle du toucher. Le programme de l'Activité Perceptuelle semble donc moins celui du dépassement de la controverse que celui d'une extension de la *Picture Theory*. Le buffer visuel y est remplacé (généralisé) par des "instruments perceptuels" qui interagissent avec l'environnement. Le mécanisme de contrôle du processus est assuré par des "procédures stockées" auxquelles des instruments envoient des résultats de tests et qui prennent des décisions sur le choix de l'instrument à activer à l'étape suivante. Ces procédures rendent donc compte du caractère intentionnellement dirigé de la perception. Un problème important pour cette théorie demeure celui des environnements imaginaires ("*seeing as*"), lesquels ne sont pas susceptibles de tests. N. Thomas propose de le résoudre en considérant que dans ces situations, soit les tests ne sont pas effectués, soit leurs résultats sont ignorés par le système de contrôle. Il nous semble qu'on aboutit ainsi à une conclusion qui mérite questionnement : l'activité de perception en environnement imaginaire n'est-elle pas précisément celle qui, de toutes, est la plus contrôlée ?

### 3.2. *Iconistes ou iconoclastes*

Nous reprenons tout d'abord la définition de l'icône dans le système sémiotique de Peirce [13] dont la trilogie icône, indice, symbole est bien connue. Cette trilogie ne concerne en fait que l'un des aspects du signe, le type de **rapport** qu'il entretient avec son objet (respectivement une relation de ressemblance pour l'icône, de causalité pour l'indice, une relation naturellement ou socialement réglementée pour le symbole). Un autre aspect est celui du signe **en tant que tel** qui peut être défini soit comme qualisigne (un possible), comme signe singulier (un existant actuel) ou comme légisigne (un type général). De ce dernier point de vue, une icône possède par ressemblance certaines qualités de son objet<sup>3</sup>. On pourrait dire

---

<sup>3</sup> "A Qualisign [e.g., a feeling of "red"] is any quality in so far as it is a sign. Since a quality is whatever it is positively in itself, a quality can only denote an object by virtue of some common ingredient or similarity; so that a Qualisign is necessarily an Icon. Further, since a quality is a mere logical possibility, it can only be interpreted as a sign of essence, that is, as a Rheme" (CP 2.254)

que le qualisigne est un signe qui n'est rien d'autre qu'iconique. Mais, par ailleurs et dans le contexte du premier aspect, un signe singulier ou encore un légisigne peuvent entretenir un **rapport iconique à leur objet**. Un légisigne, peut lui aussi décréter une relation de ressemblance à l'objet<sup>4</sup> : la lettre O contraint par convention et ressemblance au symbole chimique à être mise pour l'oxygène (ce qui, comme l'indiquent les citations n'offre aucune espèce de certitude à l'interprétant : la lettre O peut tout aussi bien renvoyer aux coordonnées du centre d'un cercle). Un signe singulier également peut manifester, parmi d'autres attributs, un rapport de ressemblance à son objet<sup>5</sup> : cette lettre O vue sur l'étiquette accolée sur la bouteille en acier qui se trouve dans le garage, ressemble à la formule chimique de l'oxygène. Il s'agit en fait d'une réplique du légisigne iconique précédent. La question se complique ensuite parce que les divisions qui viennent d'être exposées concernent un caractère iconique (en soi ou dans le rapport à l'objet) directement impliqué par le signe. Mais même des signes qui n'impliquent pas directement ce caractère de ressemblance peuvent néanmoins le faire de manière indirecte. Par exemple, un signe singulier qui est indice de son objet (rapport direct de causalité et non de ressemblance) peut, et même doit, en second lieu posséder la propriété de ressemblance. L'exemple d'école est celui de l'empreinte du pied de Vendredi sur le sable de la plage : en tant que tel, c'est un indice (le pied de Vendredi est la cause de la trace) mais il ne fonctionne que parce qu'il y a relation de ressemblance entre les contours de la trace et les doigts de pied d'un homme. Cette complexité apparente de l'iconicité ne résulte pourtant selon Peirce que d'une structure logique simple, la relation triadique propre au signe en général et que nous ne pouvons développer ici (voir [10]). Nous en retiendrons la conclusion : tout signe quel qu'il soit contient nécessairement de manière directe ou indirecte un élément iconique (plus ou moins développé) dans son rapport à son objet. Par contre, il n'est pas vrai que tout signe comporte nécessairement un élément indexical ni a fortiori un élément symbolique. Cette observation a conduit Peirce à

---

<sup>4</sup> "An Iconic Legisign [e.g., a diagram, apart from its factual individuality] is any general law or type, in so far as it requires each instance of it to embody a definite quality which renders it fit to call up in the mind the idea of a like object. Being an Icon, it must be a Rheme. Being a Legisign, its mode of being is that of governing single Replicas, each of which will be an Iconic Sinsign of a peculiar kind" (CP 2.258).

<sup>5</sup> "An Iconic Sinsign [e.g., an individual diagram] is any object of experience in so far as some quality of it makes it determine the idea of an object. Being an Icon, and thus a sign by likeness purely, of whatever it may be like, it can only be interpreted as a sign of essence, or Rheme. It will embody a Qualisign" (CP 2.255)

désigner la propriété générale d'iconicité sous le nom d'hypoicône. L'hypoicône est à son tour divisible en **image** s'il s'agit d'une propriété simple, en **diagramme** si la propriété est doublement composée et enfin **métaphore** dans le cas de composition ternaire<sup>6</sup>. On trouve donc la définition précise du diagramme chez Peirce comme celle de l'un des trois cas d'hypoicônes dans lequel la ressemblance concerne des relations entre éléments du signe et des relations au sein de son objet. .

La discussion en sémiolinguistique sur le problème de l'iconicité va précisément porter sur la relation de ressemblance, sa nature et ses implications. Les termes de la querelle sont rappelés par Umberto Eco dans un ouvrage récent [4]. Il consacre un chapitre complet à ce débat dont il fut protagoniste tout en corrigeant quelques unes de ses positions de l'époque. Ce qui suit lui est redevable.

*"En relisant la discussion de 1974-75, il apparaît clairement que trois problèmes venaient s'y mêler : (i) la nature iconique de la perception, (ii) la nature fondamentalement iconique de la connaissance en général, et (iii) la nature des signes dits iconiques, c'est-à-dire (...) des hypoicônes".*

La parenté entre ce diagnostic et l'interrogation concluant la section 2 relativement à la nature cognitive des diagrammes est remarquable. Nous venons de traiter de la question (iii) et, effectivement d'un point de vue peircéen elle doit être séparée des questions (i) et (ii). Peirce concevait en effet la sémiotique comme une science des lois générales du signe, soit une logique. Elle couvre trois branches distinctes : la grammaire spéculative qui s'occupe des caractères constitutifs du signe et de ses différentes variétés, la logique critique qui est concernée par une théorie de la vérité et de la force du rapport du signe à son objet (en clair les raisonnements) et la rhétorique spéculative qui établit les lois qui régissent la manière dont son interprétant est déterminé par le signe. Ces branches sont hiérarchisées de telle sorte que la logique critique s'appuie sur la grammaire et que la rhétorique s'appuie sur la logique. La discussion (iii) de la nature des hypoicônes ainsi que les caractérisations du signe iconique relèvent clairement de la **grammaire du signe** et n'ont donc rien à dire quant aux points (i) et (ii) sinon qu'elle leur est nécessaire. En interrogeant la nature

---

<sup>6</sup> "Hypoicons may be roughly divided according to the mode of Firstness of which they partake. Those which partake of simple qualities, or First Firstnesses, are images; those which represent the relations, mainly dyadic, or so regarded, of the parts of one thing by analogous relations in their own parts, are diagrams; those which represent the representative character of a representamen by representing a parallelism in something else, are metaphors" (CP 2.277).

fondamentalement iconique de la connaissance, la question (ii) relève aussi en partie d'une grammaire dans la mesure où il s'agit de voir comment l'interprétant peut acquérir une connaissance supplémentaire au moyen du signe (dans sa composante iconique). Mais elle relève aussi de la **logique critique** en ce qu'elle suppose une détermination de la nature des raisonnements et de leurs conclusions. Parmi ceux-ci le raisonnement abductif rend compte de la composante iconique de la connaissance (cf. section 4). Enfin la question (i) relative à la nature iconique de la perception est concernée par la **rhétorique** si l'on admet que le percept est le sujet d'une activité d'interprétation et, accessoirement, par la logique critique si l'on fait droit à la notion de raisonnement d'observation.

Eco fait remonter le point de départ de la querelle de l'iconisme à un essai de Roland Barthes de 1964 [3], dans lequel celui-ci posait un "langage visuel" comme un langage qui n'aurait pas de code. Si nous interprétons correctement, il y aurait là une définition raccourcie qui impliquerait que :

- 1) il y a une spécificité de certains objets sémiotiques qui renvoie à leur caractéristique proprement visuelle. Nous avons vu que la *Picture Theory* des psychologues rencontre exactement la même difficulté et qu'elle s'est dirigée vers une notion plus générale indépendante des modalités de la perception (cf. les résultats expérimentaux concernant les aveugles de naissance). Nous avons également vu sur ce point que la définition peircéenne de l'icône est indépendante des modalités de la perception.
- 2) En tant qu'il serait "non codé", le langage visuel semble exclure toute activité inférentielle du sujet cognitif et il relèverait d'une activité instinctive (ou intuitive). Nous avons vu l'expression du même principe dans la *Picture Theory* par la métaphore de l'écran de l'ordinateur et le concept de buffer visuel. On peut lui opposer l'activité délibérée d'attention comme le propose la théorie de l'Activité Perceptive. La sémiotique peircéenne joue sur les deux tableaux en reconnaissant a) que le percept en lui-même résulte d'une activité non contrôlée par le raisonnement et b) que les percepts fournissent leur moyen à des jugements (donc raisonnés). Nous revenons sur cette question difficile, particulièrement pour le point a) en section 4. Mais dans tous les cas, elle nous semble devoir être distinguée de la question de l'iconicité (distinction rhétorique / grammaire).
- 3) En tant qu'il serait non codé, la notion de langage visuel ouvre la possibilité de découpler deux modes de signification, l'un de nature non linguistique et l'autre linguistique. Selon Eco, c'était bien le projet de la sémiologie des années 60 en voie de constitution, et qui devait se faire

une place face aux sciences du langage déjà installées. Ce découplage est aussi à la base de la théorie hybride du *Dual Coding* des psychologues. Par une sorte d'effet en retour il autorise à utiliser les résultats de la linguistique pour parler des objets sémiotiques. Eco fait ainsi référence à un certain nombre de travaux de la période 60-70, dont les siens et qu'il renie aujourd'hui, visant à identifier dans les objets cinématographiques des entités linguistiques analysables. N'est-ce pas précisément le programme de la Théorie des Descriptions (qui y ajoute certes une réécriture en logique des phrases de la langue) ? Pour ce qui concerne la sémiotique peircéenne, nous avons indiqué que la catégorie générale du signe permet de dresser une nomenclature unique, certes complexe, au sein de laquelle une séparation du signe linguistique et du signe non linguistique n'est pas pertinente. Ceci voudrait dire en particulier qu'il y a bien des aspects iconiques dans la langue (tout signe possède des éléments iconiques), contrairement à la coupure opérée par la théorie du *Dual Coding* entre verbal et non verbal.

Ceci ne règle pas la question du caractère flou de la relation de ressemblance ou *likeness* peircéenne : comme le signale Eco si tout ce qui est ressemblant est iconique, et tout ce qui est iconique est ressemblant, on tombe dans un raisonnement circulaire. Il propose de distinguer deux notions, celle de ressemblance et celle de similarité. La première est une relation dont on ne peut rien prédiquer, un iconisme primaire du percept et on peut citer ici à l'appui un passage remarquable de Wittgenstein dans ses *Investigations Philosophiques* [18]. Il est des choses dont on ne peut dire (prédiquer) qu'elles ont une longueur d'un mètre ou non : c'est le cas du mètre-étalon à Paris. De telles choses, pour reprendre la terminologie de Wittgenstein, sont des instruments qui entrent dans un jeu du langage dont ils sont le moyen. De la même manière, la relation de ressemblance serait un instrument de la représentation dont on ne peut rien prédiquer en elle-même. La relation de similarité, par contre, nécessite une médiation (comparaison) pour établir que deux choses sont semblables, comme par exemple le fait d'avoir -ou non- même longueur. Elle se trouve alors dans le jeu du langage, la représentation, et pour ce qui concerne Peirce dans le jugement de perception.

En marge de la discussion sur la nature et la fonction de l'iconicité et dans un but de compréhension des diagrammes, il semble utile de présenter rapidement la notion de "stimuli de substitution" ou stimuli "programmés" chez U. Eco [4]. De tels stimuli sont employés dans des images créées artificiellement dans l'intention délibérée d'utiliser les mécanismes fondamentaux de la perception. Eco prend l'exemple d'une annonce publicitaire mon-

trant un verre de bière "recouvert de buée froide". Le but est de provoquer le sentiment de fraîcheur de la bière. Le moyen est dans les contrastes chromatiques de la buée-image qui provoquent le même effet que celui qui serait perçu sur un "vrai" verre de bière. Eco souligne deux propriétés du phénomène : certains mécanismes perceptifs fonctionnent de la même manière qu'il s'agisse d'objets réels ou imaginaires et, en même temps, le moyen de la transposition de l'objet réel en image est donné. En effet, l'observateur de la buée-image sait pertinemment que celle-ci n'est pas "vraiment" froide car il accepte qu'un "déjà vu" par un autre soit contenu dans la perception actuelle. Que cette distinction soit effective dans les cas habituels est attesté par le cas d'exception que constituent les images en trompe-l'œil. Il nous semble qu'il y a là un point de départ pour poser l'hypothèse que les perceptions d'objets imaginaires se font essentiellement de la même manière que les perceptions d'objets réels. Mais contrairement à la conclusion à laquelle aboutit N. Thomas dans la théorie de l'Activité Perceptive, le mécanisme semble extrêmement contrôlé en permettant notamment de rendre compte des distances entre le percept, son objet imaginaire et son objet réel. Si nous reprenons le diagramme de la Fig.1, la relation de ressemblance de la vue (percept) proposée par le dessin (objet imaginaire) avec une primevère (objet réel) provoque la conclusion (effet) que les primevères sont munies de tiges, de racines et de feuilles. Le mécanisme de contrôle employé est une notation par des lettres de l'alphabet, un mécanisme "léger" qui se contente ici d'**évoquer** les concepts de tige, etc. C'est pourquoi cette sorte de diagramme devra être accompagnée d'un texte explicatif en langue naturelle. Dans le cas des Fig. 2 et 3, les objets "réels" sont d'emblée des objets mathématiques (eux-mêmes imaginaires : des points et des segments) pour lesquels le dessin comporte des stimuli de substitution dont le moyen est **exactement** contrôlé.

### 3.3. *Conclusions provisoires*

Psychologues et sémiolinguistes paraissent bien s'être trouvés confrontés à la même question : dans chacun des champs des types de réponses divergentes ont été apportées mais dans les deux champs les mêmes types se reproduisent. La question commune, qui nous semble être aussi celle des diagrammes, concerne le statut de l'iconicité dans la Représentation. Nous proposons les conclusions provisoires suivantes : 1) toute représentation comporte une composante iconique (langues naturelles comprises), 2) cette composante iconique doit être distinguée des

particularités modales de la perception, en particulier visuelle, parce qu'elle concerne aussi bien des objets réels qu'imaginaires, 3) les propriétés de l'iconicité doivent être spécifiées indépendamment des hypothèses que l'on peut faire sur l'architecture d'un système cognitif particulier (organique ou artificiel), 4) le rôle de l'iconicité dans les phénomènes cognitifs demande une explication de ses effets et des moyens de vérification qui lui sont associés. Nous abordons ce dernier point dans la section suivante.

#### 4. Raisonnements par diagramme et abduction.

Tout signe comporte un élément d'iconicité et toute pensée se développe par signes. Cette double affirmation détermine la grammaire du signe peircéen et se poursuit dans sa logique (degré de vérité et force de l'assertion sur son objet par le signe). Tout mode de raisonnement logique, y compris mathématique, est considéré comme procédant par diagramme, que celui-ci soit explicité sur un support matériel ou qu'il soit en l'état de simple abstraction.<sup>7</sup> Une conséquence en est que les raisonnements prennent toujours comme point de départ une observation et que leur point d'arrivée est aussi quelque chose d'observable<sup>8</sup>. Ainsi, parmi les trois modes de raisonnement reconnus par Peirce, abduction, déduction, induction, l'abduction constitue l'exemple emblématique du raisonnement diagrammatique.

##### 4.1. L'abduction

Le diagramme permet non seulement de suivre la trace de chaque pas de l'inférence mais il représente encore la méthode générale de l'inférence. Cette méthode est présentée dans la formulation suivante du raisonnement abductif (CP 5.189) :

- (1) *The surprising fact, C, is observed;*
- (1.1) *But if A were true, C would be a matter of course,*

---

<sup>7</sup> "By diagrammatic reasoning, I mean reasoning which constructs a diagram according to a precept expressed in general terms, performs experiments upon this diagram, notes their results, assures itself that similar experiments performed upon any diagram constructed according to the same precept would have same results, and expresses this in general terms. This was a discovery of no little importance, showing, as it does, that all knowledge without exception comes from observation" (Manuscript L75, 1902)

<sup>8</sup> "The elements of every concept enter into logical thought at the gate of perception and make their exit at the gate of purposive action; and whatever cannot show its passports at both those two gates is to be arrested as unauthorized by reason" (CP 5.212).

(1.2) *Hence, there is reason to suspect that A is true.*

Ce diagramme est posé en forme de syllogisme structuré dans lequel la prémisse est constituée d'un fait d'observation, le moyen terme d'une hypothèse et la conclusion d'une explication **possible de la prémisse**.

Le point de départ (1) présente un jugement de perception, la reconnaissance qu'un fait C surprend, c'est-à-dire a) qu'il exerce une action et b) que cette action est "perçue". Le premier élément (a) est hors du domaine de la logique, mais la psychologie pourrait probablement en rendre compte. Par contre (b), la reconnaissance de la surprise entre de plein droit dans la logique : l'action de C s'exerce contre ce qui était jusqu'à présent "tenu pour acquis". Selon Peirce, est tenu pour vrai ce qui n'a jamais été pris en défaut jusqu'à présent et d'autre part, cette "vérité" est réputée continuer à obéir aux mêmes propriétés dans le futur. En termes plus modernes, on peut voir ceci comme la définition d'une "croyance". Peirce s'oppose ici au précepte du doute cartésien parce qu'il suppose que l'esprit est prédisposé à la croyance et non au doute. Le doute résulte quant à lui d'un acte raisonné initié par des faits perçus. La croyance, ce qui est "tenu pour acquis" est caractérisée comme une disposition naturelle et générale qui règle une conduite, une habitude d'action. La survenance de C, un choc en lui-même incontrôlable mais qui s'inscrit contre l'habitude, est susceptible d'une observation critique de ses effets.

Le moyen terme (1.1) contient deux éléments, l'un (la vérité supposée de A) d'origine extérieure à la logique générale de l'argument abductif, l'autre la conséquence nécessaire du précédent : c'est la forme caractéristique de la déduction dans laquelle la vérité (hypothétique) de la prémisse entraîne nécessairement la conclusion. "*If A were true*" pose la question de savoir comment cette hypothèse est sélectionnée par le sujet parmi un ensemble infini non dénombrable d'hypothèses possibles. Cette question a donné lieu à nombre de conjectures. Peirce considère que la réponse ne relève pas de la logique en tant que telle puisque la pertinence de l'hypothèse sélectionnée au détriment des autres ne pourra être évaluée que dans la suite du raisonnement (le degré de force de la suspicion établie en 1.2). On ne peut en donner que des qualités pour une bonne méthode. Ces qualités sont de trois ordres, préconditions, efficacité et économie. En premier lieu, l'hypothèse doit être susceptible d'expliquer le fait surprenant : elle est immédiatement causée par (1), ce qu'indique la présentation par indentation du diagramme ainsi que l'entrée dans (1.1) par "*But*". Ceci élimine toutes les hypothèses qui ne sont pas en relation avec C. Notons au passage que (1.1) ne peut exister sans (1), ce qui revient à dire que l'observation est première (cf. note 8). L'hypothèse doit encore être



susceptible de vérification expérimentale ultérieure, ce qui veut dire qu'elle doit permettre le passage à (1.2) et éviter l'arrêt prématuré de l'inférence. En second lieu, interviennent des critères d'efficacité comme la circonspection (ne pas risquer plusieurs hypothèses simultanément), l'étendue (explication simultanée d'autres faits connus) et la simplicité (commencer par l'hypothèse la plus simple). En troisième lieu, interviennent des critères d'économie de la recherche : coût prévisionnel du test de l'hypothèse et valeur de l'éventuelle découverte en relation avec d'autres projets.

Le troisième terme et conclusion de l'abduction (1.2) est celui de l'inférence probable ou raisonnement inductif. Le fait d'observation C, moyennant l'hypothèse, fournirait une explication possible de cette hypothèse. Il y a des chances que cette hypothèse puisse être vraie et elle vaut donc la peine d'être testée. Ces tests expérimentaux fourniront par vérification des conséquences de l'hypothèse sous certaines conditions une mesure du degré de confiance qu'il est possible de lui accorder, soit une probabilité.

Contrairement à l'opinion courante, l'abduction n'est donc pas, chez Peirce, une forme indépendante de la déduction ou de l'induction. Elle est la forme générale du raisonnement au sein de laquelle les autres s'inscrivent. L'abduction fournit à la déduction son hypothèse ou prémisse dont la déduction se charge de tirer les conséquences nécessaires et certaines. Elle fournit aussi sa matière à l'induction en lui proposant la vérité possible d'une règle qui reste à expérimenter.

#### 4.2. *Iconicité, abduction et raisonnement diagrammatique*

L'hypothèse "*if A were true*" constitue une suggestion originale et le seul moyen par lequel nous pouvons ajouter, potentiellement et sous condition, quelque chose à nos connaissances. C'est donc un acte créatif dont les deux autres modes de raisonnement ne peuvent rendre compte. En effet la déduction ne dit rien de la vérité de sa prémisse bien qu'elle en dérive des conclusions certaines et l'induction ne peut que fixer la valeur d'une quantité (un degré de confiance dans l'hypothèse). Par ailleurs la conclusion de l'abduction, la "vraisemblance" de A précisément, est en relation iconique avec sa prémisse, le fait surprenant. C'est ainsi que fonctionne l'exemple souvent cité de la découverte par Kepler du mouvement elliptique de Mars. Alors qu'il cherche à rendre compte d'un mouvement circulaire, il observe que tout se passe comme si (ressemblance) Mars se déplaçait selon une ellipse. Il n'en conclut pas pour

autant qu'il en est bien ainsi mais se trouve conduit à le suspecter et à entreprendre la vérification de ce qui n'est encore qu'une hypothèse. Les faits d'observation fonctionnent dans ce cas comme icône de la possibilité d'une orbite elliptique de Mars.

Le diagramme n'est autre que la figure du raisonnement abductif. En admettant une relation entre ses parties qui soit similaire à celle de son objet (voir les figures de la section 2), il permet d'interroger cette relation et de formuler une ou des hypothèses qui, tout en n'étant pas contenues dans cette relation, pourraient permettre de l'expliquer. Le test de ces hypothèses consiste à opérer des transformations du diagramme pour en observer les résultats aux fins de vérification. La validité du raisonnement diagrammatique, à l'issue des transformations réside dans la confiance que l'on accorde au fait qu'aucune autre transformation, à partir du diagramme de départ, ne viendra modifier le résultat actuellement établi. C'est donc ici aussi une probabilité. A titre d'exemple la Fig. 3 est le cas d'une conclusion dont la probabilité apparente est égale à 1. Nous n'avons pourtant pas la certitude définitive qu'une certaine transformation de ce diagramme ne remettra pas en cause la preuve qui est donnée. Bien qu'une représentation diagrammatique facilite l'observation par son caractère généralement visuel, ses propriétés cognitives en sont néanmoins indépendantes. Peirce est ainsi conduit à équivaloir une figure de géométrie et une démonstration algébrique, en particulier à reconnaître le caractère iconique des formules de l'algèbre<sup>9</sup>. La seule différence avec la figure de géométrie réside dans le mode d'expression des règles de transformation permises. On pourrait donc considérer Peirce comme un défenseur de la thèse du *Dual Coding*, mais, et c'est toute la différence, il ne fait pas du moyen de l'expression un critère pertinent. Au contraire, il met en première place le fonctionnement du processus cognitif soit des observations, des hypothèses nouvelles et (éventuellement) des permissions de transformations.

On peut considérer que la caractérisation de l'abduction constitue la pièce maîtresse du système peircéen puisqu'il en fait le principe général de l'ensemble de sa philosophie exprimé dans la maxime "pragmaticiste" :

*"Considérer quels sont les effets pratiques que nous pensons pouvoir être produits par l'objet de notre conception. La conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet".*

---

<sup>9</sup> "It may seem at first glance that it is an arbitrary classification to call an algebraic expression an icon; that it might as well, or better, be regarded as a compound conventional sign. But it is not so. For a great distinguishing property of the icon is that by the direct observation of it other truths concerning its object can be discovered than those which suffice to determine its construction" (CP 2.279)

L'objet de notre conception y est le fait initial surprenant, les effets pratiques sont les conclusions probables auxquelles nous pouvons parvenir et ce que nous pensons pouvoir être produit sont les hypothèses. Du point de vue d'une théorie de la cognition, deux conséquences importantes méritent d'être soulignées. La première est que nous ne pouvons jamais atteindre une vérité définitive, nous pouvons seulement l'approcher par approximations (induction) et elle est en permanence susceptible de falsification (principe revendiqué du "faillibilisme"). La seconde est davantage en relation avec le sujet qui nous occupe. Si, partant de la perception et de l'observation qui viennent mettre en cause ce qui était présumé acquis, nous pouvons par le raisonnement aboutir à des conclusions générales (des théories), la seule explication possible est qu'il y a nécessairement un élément de généralité dans nos perceptions (et donc dans l'iconicité). Nous interprétons cette caractéristique essentielle du système peircéen, non comme un préalable en forme de postulat, mais comme ce qui reste (un résidu) lorsque l'on a examiné toutes les conséquences du système.

## 5. Conclusion

Au terme de ce parcours, il est indéniable que les propriétés visuelles peuvent être dans certains cas des facilitateurs des opérations cognitives en rendant manifestes les ressemblances entre objets représentés. Cependant, le rapport de formes qu'elles illustrent peut se développer par d'autres moyens que ceux de la vision. Nous avons proposé de rendre compte de ces phénomènes par la notion plus générale d'iconicité qui pose à son tour le problème de son rapport aux raisonnements et à la connaissance en général. Selon Peirce, les deux caractères essentiels de l'iconicité sont d'une part sa capacité à initier une activité inférentielle par discontinuité avec des croyances enracinées dans le "déjà connu", d'autre part le fait qu'elle suggère l'ajout d'hypothèses originales qui sont potentiellement porteuses d'une augmentation des connaissances sous réserve d'une vérification expérimentale ultérieure.

Le diagramme se trouve ainsi élevé au rang de figure générale du raisonnement, non du fait de ses propriétés visuelles mais bien de ses capacités inférentielles. Dans son aspect iconique, il présente des relations entre ses composants qui sont à l'image de celles de ses objets. L'observation de ces relations fait apparaître des hypothèses nouvelles non comprises dans sa construction initiale et peut conduire à des réarrangements des relations elles-mêmes, un réarrangement source de

nouvelles connaissances à vérifier. Dans une telle approche, le diagramme se trouve donc au cœur du processus cognitif et non pas à la périphérie. En particulier, il nous semble que le dilemme classique entre connaissance visuelle et connaissance langagière se révèle alors comme étant un problème mal posé.

Beaucoup de prolongements de cette approche restent à étudier tant au plan de la psychologie, du langage ou de la cognition. Nous mentionnons plus particulièrement trois points qui sont importants pour notre projet de conception d'objets informationnels. En premier lieu, il serait intéressant de caractériser de manière précise les différentes sous-classes du diagramme ainsi que leurs particularités inférentielles respectives. Le choix des exemples de la section 2 ne fait qu'indiquer ce problème. En second lieu, il est nécessaire de préciser les modes de contrôle de l'imaginaire, pour les cas dans lesquels le diagramme concerne des objets eux-mêmes imaginaires (comme c'est le cas pour des "informations" mais pas seulement), et aussi parce que l'activité de représentation est elle-même imaginaire. Les icônes d'icônes en appellent en effet aux méta-représentations et à la réflexivité. En troisième lieu, nous n'avons pas traité des fonctionnalités de communication du diagramme, les moyens et les règles par lesquelles il détermine ses interprétants. Cet aspect renvoie à la troisième branche de la sémiotique peircéenne, celle de la rhétorique spéculative qu'il a à peine ébauchée.

## Références bibliographiques

- <sup>1</sup>Allweincud, G., & Barwise, J. (1996) *Logical Reasoning with Diagrams*, Oxford University Press.
- <sup>2</sup>Anderson, M., & McCartney, R. (1995) Inter-diagrammatic Reasoning, *Proceedings 14<sup>th</sup> IJCAI, Montréal*.
- <sup>3</sup>Barthes R., Rhétorique de l'image (1964), *Communications*, Vol. 4, 40-51.
- <sup>4</sup>Eco, U., (1997) *Kant et l'ornithorynque*, Grasset.
- <sup>5</sup>Fodor, J. A. (1975) *The Language of Thought*, Cromwell, New-York.
- <sup>6</sup>Kosslyn, S. M. (1980) *Image and Mind.*, Harvard University Press, Cambridge MA.
- <sup>7</sup>Kosslyn, S. M. (1994) *Image and brain: The resolution of the imagery debate*, MIT Press, Cambridge MA.
- <sup>8</sup>Larkin, J.H., & Simon, H.A. (1987) Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words, *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- <sup>9</sup>Le Moigne, J.-L. (1984) *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, PUF.

- <sup>10</sup>Morand, B. (1997) Les sens de la signification. Pour une théorie a priori du signe, *Intellectica*, **25**, 2, 229-279.
- <sup>11</sup>Morand, B. (1998) Le diagramme, le modèle et le signe, *Actes des Journées de Rochebrune*, 77-93.
- <sup>12</sup>Paivio, A. (1991) Dual Coding Theory: Retrospect and current status, *Canadian Journal of Psychology*, **45**, 255-287.
- <sup>13</sup>Peirce, C.S. *Collected Papers, Vols. I-VI*, Charles Hartshorne and Paul Weiss, eds. (1931-1935), *Vols. VII-VIII*, Arthur W. Burks, eds. (1958), Harvard University Press, Cambridge, MA.
- <sup>14</sup>Pylyshyn, Z. W. (1973) What the mind's eye tells the mind's brain : A critique of mental imagery, *Psychological Bulletin*, **80**, 1-25.
- <sup>15</sup>Pylyshyn, Z. W. (1978) Imagery and artificial intelligence. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, **9**, 19-55.
- <sup>16</sup>Thomas, N.J.T. (1999) Are Thories of Imagery Theories of Imagination? An active Perception Approach to Conscious Mental Content, *Cognitive Science*, **23**, 207-245.
- <sup>17</sup>Thinking With Diagrams Workshop (1998) [http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk /projects/position-statements](http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/projects/position-statements).
- <sup>18</sup>Wittgenstein, L. (1961) *Investigations philosophiques*, Gallimard.



# Un Modèle de Représentation Spatio-Temporelle Distribué pour la Situation dans les Textes Narratifs.

J.-P. SANSONNET, S. GÉRARD

LIMSI - UPR 3251  
Bt 508, Université Paris-Sud  
91403 ORSAY cedex

<http://www.limsi.fr/Individu/jps/interviews.htm>

**Résumé :** Dans le cadre de la problématique générale de la compréhension et du raisonnement sur les textes, l'approche à base de modèles de situation se distingue par le rôle essentiel que joue la construction par le sujet de la partie narrative du texte. La modélisation informatique de cette approche débouche donc sur la construction par le système d'une représentation computationnelle de la situation. Cette représentation sert ensuite de support à la compréhension, permettant de lever une partie de l'implicite contenu dans le texte. L'originalité de notre démarche réside dans le modèle que nous avons choisi pour représenter la situation : il s'agit d'un modèle qui utilise des représentations analogiques, distribuées et dynamiques pour représenter l'information spatio-temporelle contenue dans un texte. En ayant effectivement appliqué ce modèle à un texte narratif issu d'un corpus de dépêches AFP, nous pensons avoir montré l'intérêt d'utiliser une approche distribuée de la représentation des connaissances qui permet de séparer la définition des divers éléments du modèle (objets, actions, attributs).

**Mots-clés :** Situation, Analogie, Représentations Distribuées, Information Spatio-Temporelle, Compréhension de Texte

## 1 Introduction

Le projet MoHA (Modèle Hybride d'Apprentissage) [Françoise Forest et Brigitte Grau 92 ; F. Bordeaux, F. Forest & B. Grau 93], actuellement en cours de développement dans le groupe Langage et Cognition du LIMSI a pour but d'élaborer un modèle qui soit capable de comprendre le langage et d'accroître ses connaissances par la confrontation permanente avec l'expérience. Il doit pour cela être capable

d'acquérir des connaissances à partir de l'expérience concrète, et réciproquement d'utiliser ces connaissances pour comprendre de nouvelles expériences. Le modèle proposé par MoHA décompose l'ensemble des connaissances en quatre niveaux dont un, le niveau épisodique [Ferret et Grau 96, 97a, 97b], représente les expériences « vécues » par le système. En fait, ces expériences peuvent être issues soit de perceptions traduites en mots, soit de textes narratifs. Dans ce modèle, ces expériences sont stockées sous la forme de graphes conceptuels, regroupés en unités thématiques, pour former des épisodes.

Notre thèse est que puisque cette couche représente d'une certaine manière une interface avec le monde réel, elle doit conserver dans sa structure profonde une certaine continuité avec celui-ci. Ceci est déjà réalisé en partie grâce aux valeurs numériques ajoutées aux éléments de nature symbolique, représentative de leur importance dans le « vécu » du système. Il nous semble que ceci n'est pas suffisant, et que cette continuité doit aussi exister au niveau de la représentation elle-même. Il ne s'agit pas ici de remettre en cause l'approche choisie dans ce projet, mais de mettre en évidence la complémentarité des deux, en montrant ce que peut apporter l'utilisation d'un modèle distribué de situation pour la compréhension automatique du langage.

## 2 Les modèles de situation

Nous donnons ci-dessous quelques idées sur la conjoncture actuelle en psychologie et en intelligence artificielle à propos de la notion même de *situation*, et sur son utilisation dans les modèles de compréhension automatique du langage.

### 2.1 La notion de situation en psychologie

Les travaux réalisés ces dix dernières années concernant la compréhension en général et la compréhension de textes en particulier, ont largement confirmé le modèle proposé par [Bransford et Franks, 72] en matière de compréhension et de mémorisation de phrases. Loin d'être uniquement une activité interprétative (application stricte des règles d'une grammaire), la compréhension est le produit de trois processus en interaction [Bransford 79] : un processus d'intégration (les sujets construisent une représentation sémantique cohérente à partir d'informations ayant un lien sémantique entre elles mais qui ne sont pas forcément présentes de façon concomitante) ; un processus de construction (la représentation sémantique est enrichie du contenu issu des inférences faites par le sujet, qu'elles soient déductives ou inductives) ; un processus



d'élaboration (les connaissances que possède le sujet viennent compléter la représentation sémantique construite).

Développé dans le cadre des études des mécanismes de la lecture, le modèle de Kintsch [Kintsch 88] actualise ces différents processus au niveau du texte. La compréhension y est envisagée non seulement comme un processus local, mais aussi comme un processus holistique. Processus local car à partir des données textuelles le sujet construit la représentation du texte (appelée « Base de texte ») constituée d'un niveau linguistique : structure de surface (mots, phrases) et d'un niveau textuel (structure textuelle) : microstructure textuelle, macrostructure textuelle, superstructure. Processus holistique car il y a intégration des représentations cognitives du sujet à la représentation du texte construite. En effet, si la construction de la représentation du texte est une étape nécessaire à la compréhension, elle n'est pas suffisante pour rendre compte de la situation représentée dans le texte [Moravesik et Kintsch 93].

Par conséquent, l'activité de compréhension consiste plus à construire une « représentation de ce qui est dit **par** le texte » (sa signification psychologique) qu'une « représentation de ce qui est dit **dans** le texte » (son sens) [Brouillet 93]. Pour le dire autrement, quand on lit un texte on ne se contente pas de découvrir sa structure et les informations qu'il contient, on essaye, par l'intermédiaire de nos cognitions, de se représenter la situation évoquée par le texte [Van Dijk et Kintsch 83 ; Kintsch 94]. C'est par l'intermédiaire de ce modèle de situation que le texte trouve sa signification et sa cohérence.

Pour rendre compte de ce modèle de situation, il est nécessaire de considérer les connaissances que le sujet possède sur les contenus du texte [Kintsch et Franzke 95], mais aussi les représentations qu'il a sur ces contenus [Brouillet 86,94,96 ; Syssau et Brouillet 96 ; Brouillet, Syssau et De La Haye 98]. Un texte n'est pas compris à partir de ce qu'il est et de ce qu'il contient, mais par rapport à la représentation (subjective) de ce qu'est un texte et de ce qu'évoque pour le sujet son contenu. Si le modèle de situation intègre à la fois les connaissances activées par le texte et les cognitions qui y correspondent, il intègre aussi les informations qui caractérisent la situation de traitement, c'est-à-dire l'état du système (buts, intentions, processus). En définitive, le modèle de situation correspond à la contrepartie cognitive du monde auquel le texte réfère, il peut donc être considéré comme le référent cognitif [Brouillet 94].

## 2.2 *Le modèle « Construction-Intégration » : un modèle opératoire de la lecture ?*

Dans un article paru en 1988 dans *Psychological Review* [Kintsch 88], Kintsch présente un modèle de la compréhension de texte qu'il nomme modèle de « construction-intégration ». Il ne s'agit pas à proprement parler d'un modèle computationnel complet, permettant une implémentation directe pour tous les types de problèmes rencontrés en traitement automatique des langues, mais plutôt d'un cadre théorique que Kintsch a appliqué dans certains cas particuliers (notamment dans la compréhension de textes de problèmes d'arithmétique simples), suffisamment souple pour pouvoir être utilisé dans des situations variées, et dont les fondements sont cohérents avec les connaissances actuelles aussi bien en psychologie cognitive qu'en neurobiologie. Mais tout en restant générique, ce modèle permet bien une compréhension automatique : il fournit une représentation opératoire du sens d'un texte. Cette compréhension d'un texte est construite par une succession de cycles de « construction-intégration » de la représentation appliqués à des fragments successifs du texte.

La phase de construction est découpée en plusieurs étapes. Dans une première étape, on construit à partir de l'analyse linguistique une « base de texte », c'est-à-dire une liste des concepts/propositions directement présents dans celui-ci ainsi que des propositions directement associées ou inférées. Puis, chaque élément de cette liste sert de « point de départ » à une exploration limitée du réseau sémantique global - représentant les connaissances à priori du système -, chaque nœud « visité » étant ajouté à la « base de texte ». Cette exploration est de nature probabiliste, chaque couple de nœud du réseau global étant pondéré par une valeur représentant la « force de connexion », qui peut être interprétée comme représentant le degré avec lequel l'activation d'une des propositions doit entraîner l'activation de l'autre. Cette opération est répétée plusieurs fois pour chaque nœud. La troisième étape de la phase de construction consiste alors à inférer les macropropositions du texte, ainsi que les propositions nécessaires pour assurer la consistance du texte. Enfin, la quatrième étape consiste à relier les différents éléments de cette « base de texte » augmentée entre eux au moyen d'arcs pondérés. Ces poids représentent la proximité dans le texte des éléments si les deux y apparaissent directement, sinon une mesure de leur distance dans la base de connaissances.

La phase d'intégration permet alors d'assurer la consistance et la cohérence de la représentation. Partant d'un vecteur de pondération initial des propositions représentant leur présence réelle dans le texte, on multiplie celui-ci par la matrice correspondant aux poids du réseau obtenu

en phase de construction. Dans le vecteur résultant, les valeurs négatives sont ensuite annulées, et l'ensemble du vecteur est normalisé. On réitère cette opération un nombre de fois suffisant pour que ce vecteur d'activation soit stable par cette opération. Le résultat est alors la représentation finale du contenu du texte – sa macrostructure – où les valeurs d'activation de certaines propositions sont élevées, alors que celles de la plupart sont faibles ou nulles.

Kintsch a utilisé ce modèle pour simuler la compréhension de problèmes simples d'arithmétiques – sujet largement étudié dans la littérature – et semble trouver de bons résultats. Il s'agit certainement du modèle de compréhension le plus abouti jusqu'à présent. Son cadre général a été repris et expérimenté de nombreuses fois et on a pu ainsi vérifier la justesse de ses prédictions.

Néanmoins, la troisième étape de la phase de construction où le système est supposé réaliser certaines inférences nécessaires à la compréhension est sans doute plus difficile à mettre en œuvre dans des cas plus généraux.

### *2.3 Vers un modèle distribué de situation pour la compréhension de textes narratifs.*

Nous pensons que le mode de représentation de l'information proposé par Kintsch, essentiellement logique, n'est pas adapté dans le cas de la compréhension de textes narratifs. Des travaux [De Vega et Rodrigo 97] ont étudié les modèles mentaux spatiaux que les individus construisent pendant le traitement de textes descriptifs. Ils ont notamment mis en évidence de manière expérimentale la façon dont ces modèles permettent aux lecteurs **d'effectuer des inférences sur des relations spatiales non explicitées** dans le cas particulier de descriptions des déplacements d'un personnage dans son environnement. Ils ont aussi mesuré que les modèles mentaux préservent la perspective spatiale des personnages, avec pour conséquence que les éléments d'information qui sont en rapport avec cette perspective se trouvent plus accessibles en mémoire de travail. Il ne s'agit à notre avis pas seulement d'une limite de la cognition humaine, mais une justification de l'utilisation d'une représentation analogique pour développer la compréhension de la langue naturelle, au moins en ce qui concerne les textes narratifs.

Cavazza et Zweigenbaum [Cavazza et Zweigenbaum 92] utilisent une notion importante à notre avis pour parvenir à ce but. Leurs travaux visent à construire un prototype d'analyseur du langage naturel fonctionnant dans un domaine restreint (des comptes rendus médicaux dans le domaine du traitement du cancer de la thyroïde) et de nature descriptive. Après une

analyse syntaxique des phrases, leur système **construit un modèle physique de la situation** qui constitue la représentation sémantique du texte. Cette utilisation de modèle comme représentation a trois caractéristiques essentielles :

- Les modèles sont des représentations *extensionnelles* c'est-à-dire basées sur une description des objets du monde auxquels la proposition fait référence, et non sur des concepts abstraits. Ce sont des représentations homomorphes au monde.
- Les modèles sont des représentations *dynamiques*, puisque leur contenu évolue de la même façon que la situation qu'ils représentent.
- Les modèles sont des représentations *constructives*, car ils sont produits par l'intégration de différents objets et de connaissances générales sur le monde. En particulier, un modèle ne correspond pas à une instanciation d'un schéma a priori comme dans la théorie des scripts [Schank 77].

La compréhension qu'apporte cette représentation provient de ce qu'elle sert de base à des inférences résultant de connaissances compilées de l'environnement et qui agissent sur le modèle lui-même (ex. : « Si X contient Y et Y est enlevé alors Y est enlevé » (sens commun) ; « Si A est constitué de cellules thyroïdiennes alors A capte l'iode » (domaine)). De cette façon on peut engendrer un grand nombre d'inférences à partir de l'interaction de sources de connaissances indépendantes, sans avoir à préciser toutes les inférences possibles a priori, ce qui permet au système de lever une part importante de l'implicite contenu dans tout texte, même descriptif.

Ces travaux ont donné de bons résultats tant qualitatifs que quantitatifs, mais dans un domaine restreint. La difficulté pour appliquer cette méthode à des descriptions plus générales vient selon nous du fait qu'il s'agit encore d'une représentation de nature symbolique. Il est en effet nécessaire de déterminer quelles sont les caractéristiques des objets que l'on veut représenter, sans connaissance a priori de ce qui va être utile pour la compréhension. Les connaissances du domaine deviennent évidemment impossibles à implémenter, mais même celles faisant parti du sens commun posent problème. Pour répondre de manière optimale au besoin d'une représentation analogique de l'information spatio-temporelle dans un contexte plus général, nous proposons l'utilisation d'un modèle *distribué* dans le temps et dans l'espace. La représentation des objets n'est certes pas aussi précise que dans le modèle de Cavazza et Zweigenbaum,

mais nous pensons que c'est le prix à payer pour une plus grande universalité.

### 3 Définition du modèle de Représentation Spatio-Temporelle Distribué

Nous allons maintenant présenter le modèle de Représentation Spatio-Temporelle Distribué que nous avons développé, en abrégé modèle RSTD. Notre modèle peut être défini par quatre caractéristiques essentielles : il est *distribué*, *topologique*, *procédural* et *prototypique*.

#### 3.1 Un modèle distribué

L'approche distribuée que nous préconisons permet-elle de réaliser des systèmes dont les connaissances sont suffisamment vastes pour traiter des problèmes généraux? L'intérêt de cette approche n'est pas sa puissance, mais son expressivité : la cohérence des informations contenues dans le système est assurée par le modèle lui-même. Pour mieux mettre ceci en évidence, prenons un exemple simple : une personne est dans une pièce comportant une porte fermée. Est-ce que la personne peut sortir ?

Dans un système symbolique, on utiliserait une conjonction de faits (*Il y a une pièce, il y a une porte dans la pièce, il y a une personne dans la pièce, la porte est fermée...*) et une liste de règles (*Si la porte est ouverte alors on peut sortir de la pièce ; si la porte est fermée alors on ne peut pas sortir de la pièce*). Il faut fournir explicitement au système un règle qui stipule Le système « sait » donc que la personne est dans la pièce et que la pièce est fermée. En utilisant les règles *Si...Alors...* il déduit du fait que la personne est dans la pièce et que la porte est fermée qu'elle ne peut pas sortir.

Dans un modèle distribué, le système n'a pas d'autre connaissance que ce modèle lui-même : il ne sait pas qu'il y a une personne dans la pièce, mais il y a réellement une « personne » (sa représentation) dans la « pièce » (dans la représentation de la pièce). Il ne sait pas que la porte est fermée, mais elle est vraiment « fermée », et si **dans la simulation** du fonctionnement du système la personne essaye de sortir de la pièce elle ne le pourra pas (Cf. *figure 1*). L'avantage d'après nous d'une telle représentation est que de la même manière une personne extérieure ne pourra pas non plus « entrer » dans la pièce sans qu'il soit nécessaire d'ajouter quoi que ce soit au système, alors que dans un système à base de règles il faudrait ajouter « à la main » une règle pour prendre en compte le nouveau cas de figure. Ce cas est nouveau pour le système symbolique mais il est traité **génériquement** par le système à représentation distribuée.

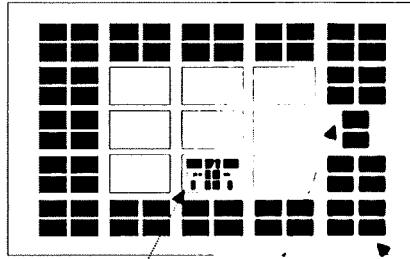


Figure 1 : L'humain est enfermé dans la pièce (Cf. §4 : dans l'implémentation que nous avons développé, ceci se traduit par la présence de la représentation d'une porte fermée dans la liste des interdits de l'objet humain).

### 3.2 Un modèle topologique holophrastique

Partant du principe énoncé plus haut que nous voulons préserver une continuité, une analogie entre l'objet et sa représentation, nous avons alors dû décider de la manière dont celle-ci allait se traduire explicitement. Nous avons adopté dans notre modèle une représentation holophrastique de l'espace et du temps : nous ne supposons pas d'échelle absolue pour tous les objets représentés ; nous nous attachons principalement à « découper » les objets en fonction de leur structure, et ce n'est qu'à un niveau donné que le système possède une spatialité homogène. Ainsi, selon la précision souhaitée<sup>1</sup>, on peut détailler la représentation. Pour illustrer ceci, on peut définir deux niveaux possibles pour la représentation d'un être humain : un niveau faible (on représente un humain comme décomposé en : une tête, un torse, un bassin, deux membres inférieurs et deux membres supérieurs) et un niveau élevé, où l'on détaille certaines parties (Cf. figure 2). De ce choix d'une représentation holophrastique découle directement le choix de *discrétiser* l'espace : en effet il aurait été possible de conserver un espace *continu* même avec ce type de structure, mais il n'aurait pas été possible de garder l'homogénéité de la représentation comme nous le verrons dans la formalisation du modèle.

Nous avons choisi de ne représenter l'espace que par deux dimensions. Ceci n'est pas une restriction fondamentale et n'influe que très peu sur les autres éléments du modèle, mais simplement une hypothèse de travail. Elle permet d'une part de créer les prototypes (Cf. §3.4) de manière

<sup>1</sup> Ce n'est donc pas dans la représentation elle-même, mais dans la définition des prototypes des objets, que nous abordons le problème de la granularité de la représentation [Melis et Veloso.98].

plus simple, et d'autre part d'obtenir des sorties graphiques permettant de « voir » l'ensemble de la représentation.

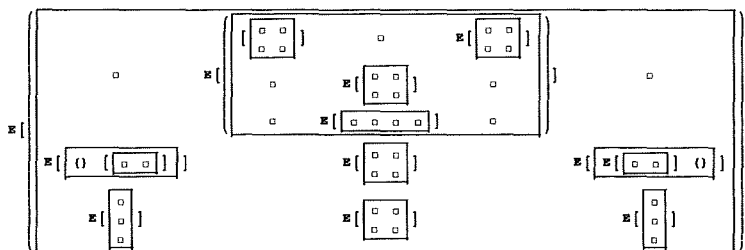


Figure 2 : Représentation Topologique Holophrastique à base de matrices 2D pour un humain (vue de face). Un humain est constitué d'une tête, d'un tronc, d'un bassin, d'une jambe droite et d'une jambe gauche, d'un bras droit et d'un bras gauche ; une tête est constituée d'une bouche, d'un nez, d'un œil droit et d'un œil gauche ; un bras (droit ou gauche) est constitué d'une main (de type {}) ce qui permet de placer des objets dedans) et d'un membre.

### 3.3 Un modèle procédural

Une part importante de l'information contenue dans un texte descriptif concerne les actions des personnages ou les déplacements des objets. Dans le modèle RSTD, les inférences sont obtenues en simulant l'évolution de la situation représentée, ce qui suppose de pouvoir définir le comportement des objets représentés. La source de cette évolution de la situation peut être le texte lui-même : par « l'apparition » de nouveaux éléments dans une scène et par la description de nouvelles scènes. Mais l'intérêt d'un modèle comme choix de représentation permet aussi d'une certaine manière de supprimer l'implicite contenu dans le texte. Nous prétendons que le meilleur moyen pour un système informatique de rendre ceci explicite est de simuler l'action telle qu'elle a lieu, et non de simplement représenter le résultat de celle-ci. Ainsi dans notre modèle, à chaque objet est attaché un processus déterminant son comportement (par exemple son mouvement). Comme nous avons choisi un espace discret, il est plus commode que le temps soit lui aussi discret. La trajectoire d'un objet est alors obtenue en appliquant la procédure de déplacement de l'objet à chaque instant élémentaire simulé.

Néanmoins il ne s'agit pas d'une procédure « aveugle » : dans le cas général, elle a accès à l'ensemble du modèle pour déterminer la position de l'objet à l'instant suivant. La traduction d'une action rencontrée dans un texte consiste alors à remplacer la procédure courante de l'objet par celle qui correspond à l'action traduite.

Comme nous l'avons dit précédemment, l'ambition du modèle RSTD est bien d'être véritablement une « physique » reproduisant de manière suffisamment précise le monde réel. Ceci suppose donc que des lois physiques puissent être intégrées à celui-ci, par exemple la gravité. Plutôt que de définir des lois globales, nous avons choisi d'associer à chaque objet un processus représentant sa « physique » propre, c'est-à-dire une autre loi de déplacement qu'il impose aux objets qu'il contient.

### 3.4 Un modèle prototypique

Le dernier point que nous devons aborder pour définir notre modèle, sous-jacent dans les parties précédentes, est qu'il s'agit d'un modèle à base de *prototypes*. Pour chaque type d'objet représenté, le système possède un prototype qui sera instancié dans le modèle lorsque le texte traduit rend cela nécessaire. Un objet est défini par 1) son extension spatio-temporelle, 2) un processus de mouvement et 3) une loi (Cf. §3.5 pour la définition formelle). Le prototype comprend lui aussi ces trois éléments. Ainsi, si le texte parle d'un humain, l'objet représenté dans le modèle ne sera pas un humain immobile, mais bien un humain se déplaçant (par exemple en ligne droite<sup>2</sup>). Si par la suite dans le texte on apprend que cet humain est grand, il sera « grandit » par le système. De même si par la suite dans le texte on apprend qu'il va dans un hôpital, son processus de déplacement sera remplacé par un processus qui le fera effectivement se rendre dans l'hôpital.

Cette manière de faire nous semble justifiée par le fait que dans un texte descriptif, ou même dans la langue parlée, le discours est principalement construit sur le même modèle. On ne précise en général les traits d'un objet, d'un personnage, d'une action que si ceux-ci se différencient d'un prototype.

### 3.5 Formalisation du modèle RSTD

Dans le modèle RSTD, il n'y a qu'un seul type d'objet : un *objet* est une liste de trois éléments, dans l'ordre : son *extension* spatio-temporelle, son *mouvement* et la *loi* qu'il impose aux objets qu'il contient. Une *extension* spatio-temporelle possède un type (*Espace* ou *Temps*) et une matrice. S'il s'agit d'espace, la matrice possède deux dimensions, s'il s'agit de temps elle en possède une. Un élément d'une matrice d'espace ou de temps est soit une *unité* d'espace ou de temps ( $\square$ ), soit un *emplacement* pouvant contenir d'autres objets en nombre libre ( $\{ \}$ ), soit elle-même une

---

<sup>2</sup> Où de manière aléatoire si l'on se réfère à l'algorithme du marin ivre utilisé en routage de circuits. Plus sérieusement, ceci ouvre le problème de la *typicalité* [Rosch 76, 78].



*extension*. Nous ne définirons pas formellement les mouvements ni les lois, mais il s'agit de transformations de l'espace des objets dans l'espace des objets, appliquées à l'*arène expérimentale* (le seul objet particulier dans ce modèle est l'*arène expérimentale*, lieu de construction des situations ; elle correspond à l'objet élémentaire {} pouvant contenir d'autres objets, vide initialement mais où seront situées les scènes construites lors de la traduction). Pour un *mouvement*, la condition est de laisser invariant tous les objets autres que celui qu'elle caractérise (les objets contenus dans cet objet sont donc eux aussi affectés, ils restent invariants dans l'objet qui les contient mais ils se « déplacent » avec lui). Pour une *loi*, la condition est de laisser invariant tous les objets autres que ceux contenus dans l'objet qu'elle caractérise. Nous pensons qu'une définition plus restrictive des mouvements et des lois est suffisante pour ce travail : un mouvement comme une loi sont définis à leur tour par une liste de trois éléments : son *déplacement*, ses *interdits* et ses *obligés*. Nous avons ainsi comme définition d'un objet :

*objet* ::= { *extension*, *mouvement*, *loi* } ;  
*extension* ::= Espace [ (  $M_{i,j}$  ) ] | Temps [ (  $M_i$  ) ] ;  
 $\forall i,j \quad M_{i,j}, M_i ::= \square | \{ \text{objet...} \} | \text{extension}$  ;  
*mouvement*, *loi* ::= { *déplacement*, *interdits*, *obligés* }

où *déplacement* est un processus qui détermine à chaque instant une liste ordonnée de déplacements relatifs à la position courante de l'objet ; *interdits* et *obligés* sont deux listes d'extensions d'objets. Le moteur du simulateur examine alors un à un les déplacements proposés par *déplacement* selon l'algorithme suivant :

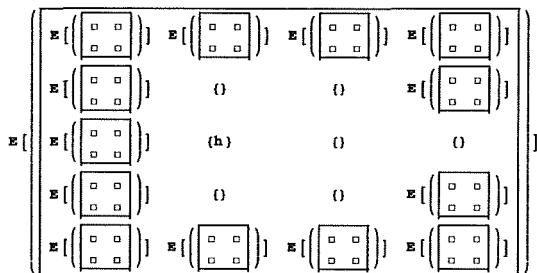
1. Le processus **déplacement** génère la liste ordonnée des déplacements relatifs envisagés.
2. On extrait le premier déplacement de la liste si celle-ci est non vide, sinon on continue en 3.
  - 2.1. Si la « case » proposée n'est pas du type {}, le déplacement est rejeté et on retourne en 2.
  - 2.2. Si la « case » proposée contient un objet de la liste **interdits**, le déplacement est rejeté et on retourne en 2.
  - 2.3. Si la liste **obligés** est non vide et que la case proposée ne contient aucun des objets de la liste, le déplacement est rejeté et on retourne en 2.
  - 2.4. Le déplacement est effectué.

3. On applique à l'objet la loi éventuelle de l'objet qui le contient : on recommence les étapes 1 et 2 avec les **déplacements**, **obligés** et **interdits** définis pour la **loi**.
4. Fin de l'algorithme.

### 3.6 Expressivité du modèle RSTD

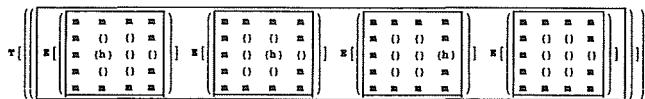
Nous allons montrer grâce à quelques exemples comment il est possible de représenter avec ce formalisme des objets variés du monde réel. Nous ne représentons ici que l'extension des objets en omettant leur mouvement et leur loi. (Pour la mise en page, nous avons remplacé les types Espace et Temps par E et T). Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait qu'entre 2 niveaux de granularité différents nous ne respectons pas de perspective, et que l'on peut donc observer simultanément des parties vues de faces et d'autres vues de dessus.

- Un humain dans une pièce :



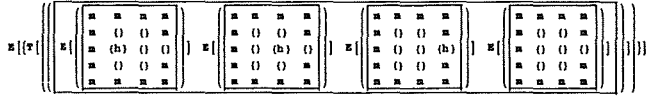
Nous avons remplacé l'humain défini précédemment (Cf. figure 2) par le symbole h, mais dans le modèle il s'agit bien de l'objet humain tel qu'il a été défini.

- Un humain qui sort d'une pièce :

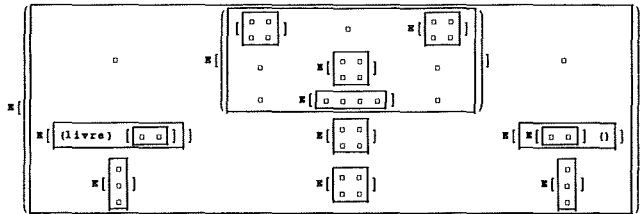


Nous avons remplacé les murs de la pièce par le symbole m, mais dans le modèle il s'agit bien des mêmes murs que précédemment. La dynamique est ici représentée par une séquence de scènes situées dans un objet Temps.

- Un livre qui parle d'un humain qui sort d'une pièce : c'est l'ensemble de la scène précédente qui est placée dans un livre, défini ici comme un objet ne comprenant qu'une seule case *emplacement* qui contient une représentation de la situation décrite par le texte du livre.



- Et bien entendu un humain qui tient dans la main droite un livre qui parle d'un humain qui sort d'une pièce...



Ainsi, en dépit d'un formalisme simple, voire simpliste, nous pensons qu'il est possible de représenter avec le modèle RSTD la plupart des situations décrites par des textes narratifs, et d'utiliser cette représentation pour améliorer la compréhension. Néanmoins, la seule manière de vérifier cela a été d'implémenter effectivement ce modèle, et de l'utiliser pour représenter un texte réel.

## 4 Implémentation du modèle RSTD

### 4.1 Architecture

Le système que nous avons développé avec *Mathematica* de Wolfram Research n'est pas un système de traitement automatique des langues à proprement parler : il nécessite la traduction « à la main » des textes vers le langage pivot utilisé pour construire la représentation des situations. Cette technique a déjà été utilisée précédemment dans MoHA et validée par [Olivier Ferret et Brigitte Grau 97c]. Il s'agit en fait d'une maquette permettant la définition des prototypes nécessaires à la représentation d'un texte, la construction de la situation décrite et sa visualisation.

### 4.1.1 Définition des prototypes

Les prototypes définissent de manière **arbitraire** la spatialité des objets ou des parties des objets qui seront utilisés. Par exemple (Cf. *figure 3*), un humain se décomposera en deux jambes, un bassin, un tronc, un bras droit, un bras gauche et une tête ; un bras se décompose en une main et un membre ; une tête se décomposera en deux yeux, un nez et une bouche. A chaque niveau de la représentation holophrastique est associé un fragment du prototype, que l'on stocke dans l'ontologie du domaine, et c'est au moment de l'instanciation du prototype dans l'arène expérimentale que celui-ci est reconstitué. Ceci facilite la construction de l'ontologie, et permet d'utiliser certains fragments pour plusieurs prototypes. Nous utilisons pour cela **AjouterPrototype** (ajoute un fragment de prototype dans l'ontologie), **SupprimerPrototype** (supprime un fragment de prototype de l'ontologie), **DevelopperPrototype** (reconstruit la représentation complète d'un prototype) et **PrototypeQ** (teste si un symbole est un prototype de l'ontologie).

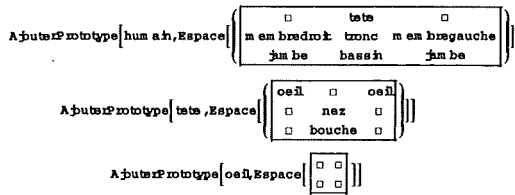


Figure 3 : 3 fragments (humain, tête, bouche) utilisés pour la définition du prototype d'un humain.

Nous utilisons aussi des *qualifieurs*, qui sont des opérateurs agissant 1) soit sur un objet pour le transformer en un autre objet, 2) soit sur un qualifieur pour le transformer en un autre qualifieur (*métaqualifieur*). Ainsi **grand** et **petit** sont des qualifieurs, **très** un métaqualifieur. **AjouterQualifieur**, **SupprimerQualifieur** et **QualifieurQ** fonctionnent de la même manière que pour les prototypes ; **TesterQualifieur** et **VerifierQualifieur** vérifient que leur définition est valide.

Les macrodéfinitions permettent de définir des objets de l'ontologie à partir des prototypes, qualifieurs et métaqualifieurs à l'aide de **AjouterMacro**, **SupprimerMacro** et **MacroQ**.

Enfin, nous utilisons un petit « Constructeur de représentation » dont le but n'est pas de construire des phrases entières, mais des propositions comme par exemple « un très grand homme et trois petits chiens » par exemple. C'est à ce niveau que les macrodéfinitions sont converties (par

exemple « foule » peut être définie comme « quelques centaines de personnes »).

#### 4.1.2 Construction de la situation

Pour construire la représentation d'une scène, nous avons défini un certain nombre d'opérations pour situer les objets dans l'arène expérimentale.

- **EffacerARENE** qui initialise l'arène RSTD, c'est-à-dire la vide de son contenu.
- **Placer**[*quoi, où*] qui place un objet (*quoi*) à un endroit précis de l'arène (*où*), soit au moyen d'un position, soit par la spécification d'un autre objet.
- **TrouverDans**[*où, quoi*] qui va chercher la position dans un type d'objet (*où*) de toutes les occurrences d'un autre type d'objet (*quoi*).
- **PlacerDans**[*quoi, dans\_quoi, où*] qui place un ensemble donné d'objets (*quoi*) dans un type d'objet donné (*dans\_quoi*) en précisant éventuellement une position (*où*).
- **RepartirDans**[*quoi, dans\_quoi, case*] qui permet de répartir de manière aléatoire un ensemble d'objets (*quoi*) dans un type d'objet (*dans\_quoi*) en spécifiant éventuellement un filtre sur l'emplacement (*case*).

Il aurait été possible – et, dans un soucis d'efficacité, souhaitable – de conserver une trace de la nature des objets une fois ceux-ci placés dans l'arène RSTD. Néanmoins le but de cette maquette est de montrer qu'une représentation entièrement distribuée est possible, et nous avons délibérément écarté cette solution. Ainsi, toutes les instructions précédentes n'utilisent d'autres informations que les représentations réelles des objets et celle de la situation ; *où, quoi, dans\_quoi, case* ne sont pas les noms des objets, mais bien leur représentation dans le modèle RSTD.

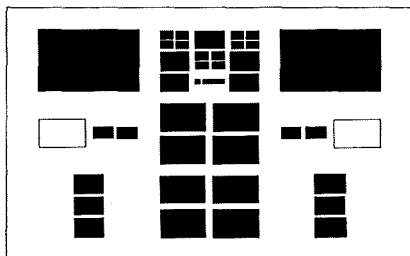


Figure 4 : la fonction de visualisation appliquée à la représentation d'un humain.

Nous avons aussi défini une fonction de visualisation (Cf. *figure 4*) qui appliquée aux représentations construites leur « rend » leur spatialité telle qu'elle a été définie §3.1 (deux objets sur un même niveau ont la même taille). La convention choisie (pour des raisons purement esthétiques) pour ces visualisations est de représenter les unités d'espace ou de temps par un rectangle plein, les emplacements pouvant contenir des objets étant eux représentés par un rectangle vide (qui contient la visualisation des objets qu'il contient).

#### 4.2 Application à un texte narratif

Pour montrer que l'approche que nous préconisons permet effectivement de représenter de manière suffisamment expressive un texte narratif, nous l'avons appliquée [S. Gérard 1998] à un texte issu d'une dépêche AFP d'une dizaine de phrase décrivant une tentative d'assassinat sur Martin Luther-King, qui est extrait du corpus utilisé dans la cadre du projet MoHA. Nous donnons ici le résultat de la traduction de la première phrase de ce texte : « Il y a quelques années, je me trouvais dans un grand magasin de Harlem, entouré de quelques centaines de personnes. »

L'expression en langage pivot correspondant à la représentation spatio-temporelle de cette phrase est dans le modèle RSTD :

- **EffacerARENE[]** : On vide l'arène spatio-temporelle.
- **Placer**[(quelques, annee),ARENE] : On place dans l'arène un repère temporel comportant « quelques » années.
- **Placer**[[1, ville], {1, 1}] : où *ville* réfère une ville prototypale composée typiquement de maisons, de magasins, de voitures et de gens (Cf. *figure 5*). On la place dans le temps : {1,1} représente l'origine du repère temporel « quelques années ».

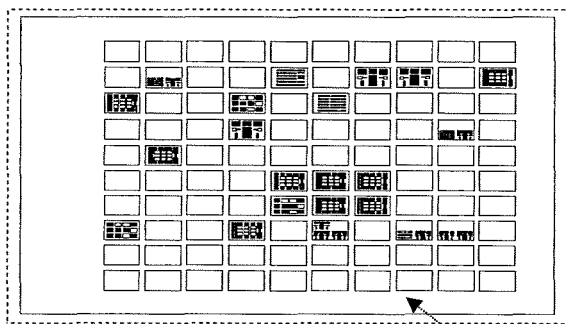
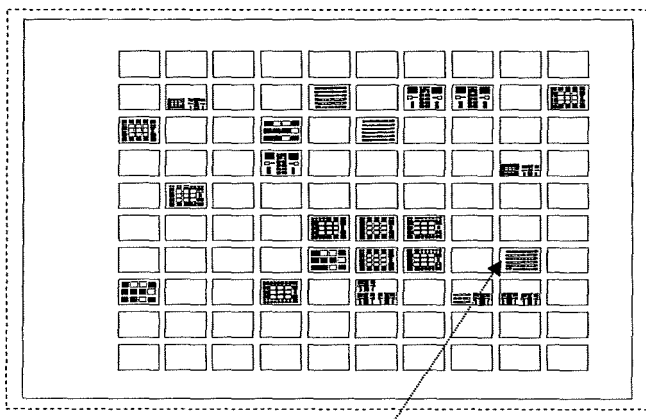


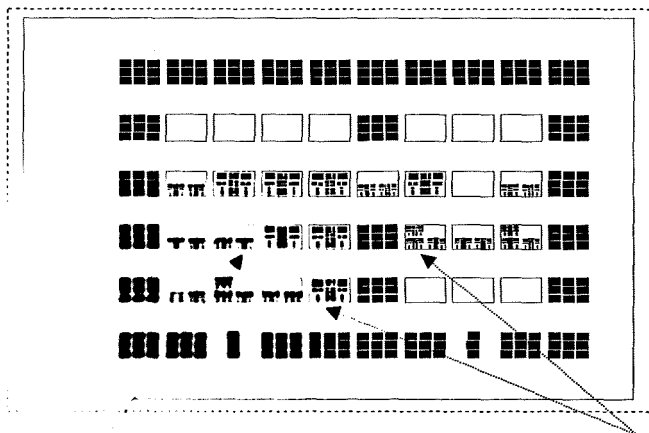
Figure 5 : Harlem sera vue comme une ville prototypale

- **PlacerDans**[seb, {ville}, {1, grand, magasin}]: Le programme va placer dans la ville un « grand magasin » (c'est-à-dire le résultat de l'application de l'opérateur **grand** sur le prototype **magasin**), dans une case vide (Cf. *figure 6*).



*Figure 6 : Il y a maintenant un grand magasin dans Harlem.*

- **RépartirDans**[[grand, magasin], {1, narrateur, et, quelque, 10, humain}]: le programme va répartir (placer aléatoirement) dans les cases pouvant contenir des objets un narrateur (défini comme un *humain*) et quelques (*un nombre aléatoire entre 3 et 5*) dizaines d'humains, qui sont moins détaillés.



*Figure 7 : Martin Luther-King. Il est entouré par quelques dizaines de personnes.*

La figure 7 est un zoom<sup>3</sup> de la case de la figure 6 contenant le grand magasin qui constitue la scène initiale telle qu'elle est posée par la phrase 1 du texte de la dépêche. La suite du texte décrit la tentative d'assassinat proprement dite : « *J'étais en train de dédicacer des exemplaires de mon livre « Stride toward Freedom », qui relate le boycottage des autobus de Montgomery en 1955-56. Soudain, tandis que j'apposais ma signature sur une page, je sentis quelque chose de pointu s'enfoncer brutalement dans ma poitrine. Je venais d'être poignardé à l'aide d'un coupe papier, par une femme qui devait être reconnue folle par la suite. On me transporta d'urgence à l'hôpital de Harlem où je restais de longues heures sur un lit tandis qu'on faisait mille préparatifs pour extraire l'arme de mon corps.* ». La dernière phrase traite essentiellement du mouvement et de l'action, et nous permet de montrer comment fonctionne la dynamique de notre modèle. Dans celui-ci, tous les objets agissent de manière automatique, même si cela n'est pas explicité dans le texte. Par exemple figure 8, pendant qu'un des humains présents dans le grand magasin emmène Martin Luther-King dehors (ceci n'est pas explicité dans le texte mais nous permet d'illustrer notre propos), les autres continuent de se déplacer (ici, une procédure aléatoire).

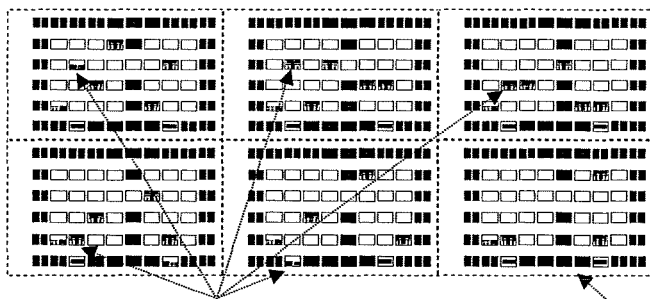


Figure 8: *Martin Luther-King est emmené à l'extérieur du magasin. Il s'agit d'un diaporama de la scène, à lire de gauche à droite, de bas en haut.*

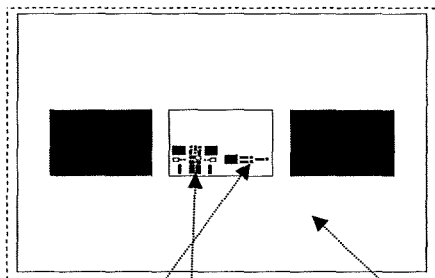
Enfin, la fin de la dépêche<sup>4</sup> permet d'illustrer l'apport d'un modèle de situation pour la compréhension de texte : la figure 9 représente Martin Luther-King sur le bloc opératoire avec à côté *l'instrument* extrait par le chirurgien. Grâce à sa représentation, le système « sait » que cet instrument

<sup>3</sup> Ce zoom s'obtient grâce à la fonction de visualisation, mais la représentation de la scène dans le système n'est pas modifiée et contient toujours la ville de Harlem.

<sup>4</sup> « Beaucoup plus tard, quand je fus en état de m'entretenir avec le Dr. Aubrey Maynard, le chirurgien en chef qui exécuta cette délicate et dangereuse intervention, j'apprit les raisons de cette longue attente avant l'opération. La lame de l'instrument avait touché l'aorte et, pour l'extraire, il fallait ouvrir toute la cage thoracique. »



est un coupe-papier, et donc que ce passage du texte réfère bien à l'objet utilisé pour blesser Martin Luther-King.



*Figure 9 : Martin/Luther-King sur un bloc opératoire, avec à côté l'instrument extrait de sa cage thoracique.*

Contrairement aux modèles logiques classiques, nous n'avons pas besoin pour cela de préciser de règles du type « Si X est déplacé et qu'il contient Y, Y est déplacé » ou « Si X est enlevé d'Y, Y ne contient plus X » : ceci est implicite avec la représentation que nous avons adoptée. C'est pour nous un résultat encourageant quand à l'intérêt des modèles distribués et analogiques en traitement automatique des langues dès que l'on veut aborder une grande variété de situations.

Pour la traduction intégrale de ce texte ainsi que l'ontologie utilisée le lecteur se reportera à [S. Gérard 98].

## **5 Discussion et Perspectives**

Nous avons défini un modèle formel pour la représentation de l'information spatio-temporelle contenue dans des textes narratifs. Celui-ci reprend certains points déjà développés dans d'autres modèles de compréhension automatique du langage, mais nous pensons avoir démontré l'intérêt d'utiliser pour cela une approche distribuée de la représentation des connaissances en ce qu'elle permet une certaine « tolérance aux défauts » nécessaire à notre avis pour prétendre appréhender la compréhension des aspects spatio-temporels sans présupposer de domaine spécifique.

Nous avons implémenté en grande partie ce modèle, et nous avons pu vérifier qu'il permettait bien de rendre compte de textes narratifs réels en l'essayant sur un texte, une tentative d'assassinat sur Martin Luther-King. Nous pensons avoir montré ici la pertinence du formalisme retenu qui associe les notions de situation, d'analogie et de processus. Il s'agit

certes d'un corpus trop restreint, et nous avons construit l'ontologie utilisée en vue de la traduction de ce texte ; mais la séparation entre l'ontologie et la représentation/simulation nous semble un atout important pour la mise au point de systèmes plus vastes. Nous pensons avoir démontré que malgré la simplicité et l'homogénéité de cette représentation, elle conserve une grande expressivité. Comme nous l'avons dit lors de l'introduction, l'ambition n'est pas de se substituer à un système de représentation symbolique, nécessairement plus riche, mais de lui ajouter un point de vue d'une autre nature.

Malgré ces éléments encourageants, il y a de nombreux points qu'il faudrait améliorer dans le modèle RSTD. L'ontologie que nous avons créé n'est pas toujours réaliste, par exemple du point de vue des axes spatiaux (Cf. §3.6), alors qu'un des principes de ce travail est la volonté de conserver une ressemblance entre l'objet représenté et sa représentation. La dynamique n'a été implémentée que dans des cas simples d'actions : des déplacements. Les routines de manipulation des objets dans l'arène expérimentale sont insuffisantes pour envisager la représentation de scènes plus complexes. Il est nécessaire d'améliorer ce langage de construction de situation. Enfin, pour prétendre apporter un angle de vue différent et complémentaire à la compréhension, il faudrait disposer effectivement d'outils de raisonnement portant sur la représentation construite. Nous avons souhaité montrer que notre approche était possible, il nous reste à montrer qu'elle peut être efficace. Ces améliorations sont nécessaires avant d'utiliser un corpus beaucoup plus important pour vérifier qu'il est possible d'utiliser une ontologie, au sens ou nous l'avons définie, qui soit suffisamment robuste pour représenter des textes traitant de sujets différents.

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier chaleureusement G. Sabah, B. Grau et G. de Chalendar du groupe Langage et Cognition du LIMSI-CNRS pour leur aide à propos du projet MoHA, ainsi que J.-P. Rossi du groupe Cognition Humaine du LIMSI-CNRS et D. Brouillet du Laboratoire de Psychologie Cognitive et Expérimentale de l'Université Montpellier III pour leur soutien.

## Références

- Bordeaux, F., Forest, F., & Grau B. (1993). *MoHA, un modèle hybride d'apprentissage*. Notes et documents LIMSI n. 93-10, Orsay.
- Bransford, J.D. (1979). *Human Cognition : Learning, Understanding and Remembering*. Belmont, Wadsworth Publishing Company.
- Bransford, J.D. et Franks, J.J. (1972). The abstraction of linguistic ideas : A review. *Cognition*, **1**, 211-249.
- Brouillet, D. (1986). *Souvenir et représentation*. Mardaga, Bruxelles.
- Brouillet, D. (1993). *Représentation et mémoire : du traitement de l'information à l'élaboration de la signification*. Thèse pour le Doctorat d'Etat es Lettres et Sciences Humaines. Université Paul-Valéry, Montpellier III.
- Brouillet, D. - Mémoire humaine et signification : activité interprétative ou émergente ? In, *Les mémoires*, Actes des Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives. Orsay, 1994.
- Brouillet, D. (1996), Modèle de situation et pertinence du contenu dans la mémorisation de textes. *Bulletin de Psychologie*, **XLIX**, **426**, 616-621.
- Brouillet, D., Syssau, A. & De La Haye, F. (1998), Comprehension and memory of textes : the interpretation of the title effect. *International Journal of Psycholinguistics (sous presse)*.
- Cavazza, M. et Zweigenbaum, P. (1992). Compréhension automatique du langage naturel par construction de modèles, *TSI*, **11**, 4.
- De Vega, M. et Rodrigo, M.J. - Les représentations topologiques dans le traitement des descriptions spatiales. In M. Denis (Ed.), *Langage et cognition spatiale*, Masson, Paris, pp. 51-68, 1997.
- Ferret, O. et Grau, B. (1996). *Construire une mémoire épisodique à partir de textes : pourquoi et comment ?*. Actes RF-IA, Rennes.
- Ferret, O. et Grau, B. (1997a) - An episodic memory for understanding and learning. In Ruslan Mitkov et Nicolas Nicolov (Ed.), *Recent Advances in Natural Languages Processing : Selected Papers from RANLP'95*, John Benjamins, Amsterdam/Philadelphia, pp. 173-184.
- Ferret, O. et Grau, B. (1997b). *Une analyse thématique s'appuyant sur une mémoire épisodique*. Actes 1<sup>ères</sup> Journées Scientifiques et Techniques FRANCIL, Avignon, volume **1/1**, pp. 161-168.

- Ferret, O. et Grau, B. (1997c). *An Aggregation Procedure for Building Episodic Memory*. Actes 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Nagoya, Japan, pp. 280-285
- Forest, F. et Grau, B. (1992). *MoHA, un modèle hybride d'apprentissage qui s'appuie sur la perception de l'environnement par un individu*. Actes Journées "Apprentissage, évolution, adaptation", Rochebrune.
- Gérard, S. (1998). Étude d'un modèle de représentation distribuée de textes narratifs. Mémoire de D.E.A. de Sciences Cognitives, Notes et documents LIMSI n. 99-17, Orsay.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension : A construction-integration model. *Psychological review*, **95**, 163-182.
- Kintsch, W. (1994), Text Comprehension, Memory, and Learning. *American Psychologist*, **49**, 4, 294-303.
- Kintsch, W. et Franzke, M. (1995) - The role of Background Knowledge in the Recall of a New Story. In, R.F., Lorch & E.J., O'Brien (Ed.). *Source of coherence in reading*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey.
- Melis, E. et Veloso, M. - Analogy in problem solving. In L.Farinas del Cerro, D. Gabbay, and H.J. Ohlbach (Ed.), *Handbook of Practical Reasoning Computational and Theoretical Aspects*, Oxford University Press, 1998, in press.
- Rosch, E. (1976). Classification d'objets du monde réel : origine des représentations dans la cognition. In Ehrlich, S. and Tulving, E. (Ed.), *La mémoire sémantique*, *Bulletin de Psychologie*, Academic Press, pp. 242-250.
- Rosch, E. - Human categorisation. In Warren, N. (Ed.), *Advances in Cross-cultural Psychology*, Academic Press, (1978).
- Schank, R. (1977). *SAM A story understander*, Yale University Press.
- Syssau, A. et Brouillet, D. (1996). Rôle de la valeur affective et de la nature du texte dans la récupération du souvenir chez les personnes âgées. *L'Année Psychologique*, **96**, 85-112.
- Van Dijk, T.A. et Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*, New-York, Academic Press.

**LE PARADOXE DE LA VALEUR  
ET DU DESORDRE EN ENTREPRISE :  
VERS LE DEVELOPPEMENT D'UNE RECHERCHE  
INGENIERIQUE BASEE SUR LE VISUEL**

**Christophe SCHMITT**

*Laboratoire de Recherche en Génie des Systèmes Industriels  
8, rue Bastien LEPAGE, BP 647  
54000 Nancy Cedex  
Tél. : 03 83 19 32 23  
Fax : 03 83 19 32 00  
Mél : [Christophe.Schmitt@ensgsi.inpl-nancy.fr](mailto:Christophe.Schmitt@ensgsi.inpl-nancy.fr)*

## Introduction

Absence de personnel, variation de la demande sans périodicité, passage aux trente cinq heures, rotation du personnel, pannes répétées, fabrication d'un nouveau produit, mise en place d'une équipe de nuit, informatisation d'un service, ..., tous ces événements correspondent au quotidien des P.M.E. et ont en commun d'avoir un impact perturbant sur l'organisation des systèmes concernés<sup>1</sup> et sur le processus de création de valeur de l'entreprise. Elle ne doit plus être considérée comme un système réversible et linéaire. Ainsi, ces événements, tant internes qu'externes, ont pour conséquence de complexifier l'environnement dans lequel évoluent les P.M.E. On parlera donc de situation de désordre dans la mesure où l'état actuel des situations rencontrées par les acteurs ne les satisfaisait pas et qu'ils cherchent à modifier ces situations. La situation de désordre nécessite l'intervention sur les représentations des acteurs pour la modifier. Ces situations sont donc par nature complexe.

A partir de notre objectif de recherche "Comment créer de la valeur à partir du désordre en entreprise ?", nous présenterons ici les principaux apports théoriques et pratiques de notre recherche. Du point de vue théorique, nous mettrons en évidence le paradoxe de la valeur et du désordre point de départ de notre recherche. Nous présenterons les différents cadres épistémologiques mobilisés qui nous ont permis dans un premier temps de comprendre le paradoxe de la valeur et du désordre et dans un deuxième temps de lever ce paradoxe. Notre contribution se veut aussi pratique. Nous proposons un regard différent sur les outils à utiliser lors d'une intervention en entreprise et notamment en P.M.E. Ces outils servent à recadrer les pratiques professionnelles des responsables d'entreprise. On parlera alors d'outils d'aide à la représentation. Notre recherche nous a amenés à utiliser des supports jusqu'alors peu usités en Sciences de Gestion : le visuel et plus précisément les représentations graphiques. Mais, l'utilisation du visuel implique de repenser le rôle de l'intervenant. Nous présenterons, autour d'une expérimentation, les apports de ce type d'outils et montrerons en quoi ils s'inscrivent dans une démarche constructiviste. Ces apports théorique et pratique s'inscrivent dans une recherche ingénierique. Le sens de cette démarche est donné par l'écart entre la légitimation théorique et la réalité questionnée. De plus, ce type de recherche caractérise une manière particulière d'interpréter, c'est-à-dire d'analyser, de modéliser les pratiques sociales, afin de les transformer. Le cadre paradigmatique de la recherche ingénierique implique une approche

---

<sup>1</sup> Schmitt C., *La dynamique de la valeur : contribution à la création de valeur en P.M.E. par la notion de désordre*, Thèse de Doctorat, Nancy, 1999.

transdisciplinaire du problème. En effet, pour mener à bien cette recherche, nos questionnements ont trouvé des réponses dans des domaines aussi variés que sont les Sciences pour l'Ingénieur et les Sciences de Gestion. Cette nécessaire transdisciplinarité se retrouve dans le vocable d'ingénierie organisationnelle que nous avons développé. Cette notion sous-entend une approche intégrée, globale des problèmes complexes, comme ceux que rencontrent les P.M.E. de notre recherche.

Pour présenter nos travaux, nous avons articulé cet article en deux parties. La première présente le cadre de référence de la recherche. Elle expose autour des différentes approches conceptuelles retenues le paradoxe de la valeur et du désordre. Elle introduit la notion de désordre au travers de différentes approches paradigmatiques. La deuxième partie présente le cadre de notre intervention à partir d'une démarche d'Ingénierie Organisationnelle basée sur l'utilisation du visuel. Après avoir défini dans cette partie ce que nous entendons par Ingénierie Organisationnelle et les concepts qui lui sont associés, nous présenterons un cas d'application en P.M.E.

## **1. Présentation du paradoxe de la valeur et du désordre**

Un premier travail de recherche à partir d'une enquête d'observation portant sur 71 P.M.E. lorraines<sup>2</sup> nous a permis de mettre en évidence le paradoxe de la valeur et du désordre. Ce concept de situations paradoxales a pour fonction, non seulement d'aider à percevoir, à organiser et à guider notre recherche, mais aussi de permettre des constats et de proposer un cadre épistémologique et méthodologique d'application adéquate. Sans revenir sur les éléments de notre approche quantitative, nous ne présenterons ici que les éléments concernant notre réflexion conceptuelle.

### *1.1. Emergence du paradoxe de la valeur et du désordre en entreprise*

Bien souvent, les solutions retenues en entreprise face au désordre sont inappropriées. Ces solutions relèvent de ce qu'il est convenu d'appeler "*le modèle de la poubelle*"<sup>3</sup>. Les solutions apportées à un problème ne découlent pas toujours de décisions mûrement réfléchies, voire rationnelles. Elles peuvent survenir de manière fortuite. Ainsi, comme le souligne N.

---

<sup>2</sup> Pour une présentation de l'enquête et de ces résultats voir Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Contribution à une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E. par le management de la valeur : apports conceptuels et méthodologiques", *International Journal of Design and Innovation Research*, Vol 1, n°3/4, à paraître.

<sup>3</sup> Cohen M.D., March J.-G. et Olsen J.-P., *Decisions and organization*, traduction française, *Décisions et organisations*, Les Editions d'Organisation, 1991.

Alter<sup>4</sup>, "*l'indépendance des questions par rapport aux réponses devient invisible*", donnant un poids considérable à la notion de représentation du désordre par les acteurs.

Concrètement, ces solutions correspondent souvent au recrutement d'intérimaires, à l'utilisation de stagiaires, à une réorganisation momentanée de la production, ... Elles engendrent régulièrement des conséquences sur les objectifs de l'entreprise. En d'autres termes, l'ordre et le désordre sont abordés de façon séparée, on parlera d'approche disjonctive de l'ordre et du désordre. Cette approche a un impact sur le processus de création de valeur de l'entreprise, réfutant ainsi les métaphores de l'équilibre newtonien<sup>5</sup>. De ce constat émerge un paradoxe : la recherche de valeur crée du désordre. En effet, les efforts consentis par les entreprises, non seulement ne sont pas efficaces par rapport aux situations de désordre, mais en plus, ils engendrent de nouvelles situations de désordre, comme une qualité moindre des produits et des services, un allongement des délais de fabrication, une augmentation des coûts de production.

Cette façon disjonctive d'aborder l'ordre et le désordre est convenable pour des problèmes considérés comme compliqués ou simples. Le paradoxe de la valeur et du désordre ne peut être résolu à l'aide de solutions qui apparaissent à la lumière des problèmes posés. Bien au contraire, la répétition de solutions ne modifie pas le système et ne fait que renforcer ce paradoxe. Ainsi, comme l'ont montré P. Watzlawick et al.<sup>6</sup> "*la solution devient le problème*". Face à ces difficultés répétées, le désordre apparaît comme une fatalité. Il ne s'agit donc pas ici de lever un paradoxe logique mais un paradoxe existentiel<sup>7</sup>. La présence de ce type de paradoxe, comme le souligne A. Lavallée<sup>8</sup>, est l'une des conditions de la complexité. Comme tout paradoxe, pour être levé, il est nécessaire de sortir du cadre de référence fixé.

---

<sup>4</sup> Alter N., "Organisation et innovation, une rencontre conflictuelle", *Sciences Humaines*, H.-S., n° 20, mars-avril, 1998, p. 56-59.

<sup>5</sup> Cette hypothèse renvoie au fait que "*la construction de la réalité probablement la plus universellement acceptée repose sur la supposition que le monde ne peut pas être chaotique – non pas que nous ayons les moindres preuves pour cela, mais l'idée d'un monde chaotique nous serait tout simplement insupportable*". Watzlawick P., "Effet ou cause ?" dans Watzlawick P. (coordination), *L'invention de la réalité, contribution au constructivisme*, Seuil, Paris, 1988, p. 73-78.

<sup>6</sup> Watzlawick, P., Weakland, J. et Fisch, R., *Changements, paradoxes et psychothérapie*, Editions du Seuil, Paris, 1975.

<sup>7</sup> Barel Y., *Le paradoxe et le système*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, 1979.

<sup>8</sup> Lavallée A., "Stratégie de gestion et complexité : une approche épistémologique et cognitive", *Revue Internationale de Systémique*, Vol. 10, n°1-2, 1996, p. 57-77.



## 1.2. Vers une nouvelle hypothèse de l'ordre et du désordre

### 1.2.1. Les fondements d'une nouvelle hypothèse de l'ordre et du désordre

L'hypothèse de séparation entre l'ordre et le désordre relève des théories évolutionnistes qui postulent le désordre comme contingent<sup>9</sup>, ce qui revient à penser que le désordre est exogène. Mais ceci n'est que "*pur sophisme car l'exogène d'un système étroit est forcément l'endogène d'un système plus large*"<sup>10</sup>. A partir du moment où l'hypothèse ne répond plus aux constructions des acteurs, il est nécessaire d'introduire une nouvelle hypothèse où l'ordre n'est plus une réalité de plein droit<sup>11</sup>, "*il s'agit avant tout d'hypothèse qui a une valeur heuristique. Elle sert à définir un modèle nominal à partir duquel la réalité peut être analysée*"<sup>12</sup>.

L'affranchissement de l'opposition manichéenne de l'ordre et du désordre trouve ses racines dans les développements de la thermodynamique. En effet, le désordre n'est plus l'élément à supprimer au profit de l'ordre, mais l'élément de base de l'évolution des systèmes, dans la mesure où tout système tend vers ce qu'il est convenu d'appeler l'entropie, c'est-à-dire le désordre maximum. Ainsi l'évidence ontologique de l'ordre et du désordre se trouve renversée. Ce renversement a pour conséquence directe de faire évoluer la problématique de l'ordre et du désordre qui n'est plus "*pourquoi y a-t-il du désordre dans l'univers bien qu'il y règne l'ordre naturel ? mais devient, pourquoi y a-t-il de l'ordre et de l'organisation dans l'univers ?*"<sup>13</sup>. Dans les approches traditionnelles de l'ordre, le désordre était un intrus ; maintenant, il est déterminant.

Ces recherches, à notre sens, n'ont pas spécifiquement pour vocation d'être directement applicables, mais bien de proposer des métaphores heuristiques qui permettront d'avoir un regard différent sur les pratiques des individus et leur mode de gestion dans l'entreprise. En ce sens, on parlera de changement de paradigme.

### 1.2.2. Vers la gestion des situations de désordre en entreprise

Cet espace de compromis correspond aux situations complexes auxquelles les entreprises doivent faire face, c'est-à-dire "*l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve*"<sup>14</sup>. Le désordre n'a de

<sup>9</sup> Lawrence P., Lorsch J., *Adapter les structures de l'entreprise*, Editions d'Organisations, Paris, 1985.

<sup>10</sup> Forsé M., op. cit.

<sup>11</sup> Prigogine I., Stengers I., *La nouvelle alliance : métamorphose des sciences*, Gallimard, Paris, 1987.

<sup>12</sup> Forsé M., *L'ordre improbable, entropie et processus sociaux*, P.U.F., Paris, 1989.

<sup>13</sup> Morin E., *Introduction à la pensée complexe*, E.S.F., Paris, 1990.

<sup>14</sup> Schlanger J., *La situation cognitive*, Méridiens, Paris, 1990.

sens que par rapport à une situation donnée. Ainsi, le désordre, et réciproquement l'ordre, se définissent différemment pour chaque personne. Une personne peut percevoir du désordre là où une autre y verra un ordre acceptable. Etant donné que la situation est en constante évolution, le désordre apparaît comme un construit et non comme la caractéristique d'un événement ou d'un phénomène. Autant la perception du désordre dans une approche mécaniste fait de celui-ci une menace, une perturbation au sein de l'organisation, autant la perception de la complexité du désordre fait que ce dernier peut être perçu positivement ou négativement.

Ce changement de perspective fait que l'entreprise se trouve avec des possibilités de choix et de comportements plus nombreuses par rapport à une approche disjonctive de l'ordre et du désordre. On ne parlera plus d'adaptation, mais de construction où *"l'idée de construction est à opposer à celle d'adaptation. Elle suggère que les situations ne sont pas données et que les comportements, quoique contraints, ne sont pas déterminés"*<sup>15</sup>.

## **2. Proposition d'une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E.**

Reconnaître la présence de situations paradoxales en P.M.E. dans le processus de création de valeur nécessite de mettre en place des concepts méthodologiques appropriés. Dans ce contexte, nous avons développé une approche originale basée sur le concept d'Ingénierie Organisationnelle et recourant à des outils favorisant l'intelligibilité de la complexité des situations de désordre. Ces outils ont pour caractéristique commune de recourir, non plus à des raisonnements algorithmiques, mais heuristiques à partir de supports visuels.

### *2.1. Les bases d'une Ingénierie Organisationnelle*

Comme nous l'avons montré dans notre approche quantitative<sup>16</sup>, globalement, les P.M.E. qui se positionnent dans une approche disjonctive de l'ordre et du désordre limitent considérablement leurs possibilités d'apprentissage. Certes quelques P.M.E. ont eu ou peuvent avoir des actions se situant dans une approche non séparée de l'ordre et du désordre, mais cela demeure des démarches éphémères et non conceptualisées. L'objectif de toute intervention n'est pas d'apporter une solution issue de la recherche, mais bien de permettre un changement de regard par rapport à une situation qui pose problème afin de modifier les pratiques managériales

---

<sup>15</sup> Koenig G., *Management stratégique, paradoxes, interactions, et apprentissages*, NathanParis, 1996.

<sup>16</sup> Schmitt C., Grandhaye J.-P., Contribution à une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E. par le management de la valeur : apports conceptuels et méthodologiques, *International Journal of Design and Innovation Research*, Vol 1, n°3/4, à paraître.

des acteurs de l'entreprise. Ainsi, "*si les représentations sont à la source de l'action stratégique, il est tentant de vouloir agir sur elles en priorité*"<sup>17</sup>. Bien que ce ne soit pas une tâche facile, elle est dévolue à des démarches ingénieriques, c'est-à-dire à des démarches d'application scientifique et d'étude globale d'un problème organisationnel et stratégique sous tous ces aspects (humain, socio-économique, organisationnel et technique). Il apparaît clairement que l'enjeu principal est moins l'accumulation d'une base de connaissances, mais plus dans "*sa capacité à faire évoluer le système de représentations des acteurs, libérant ainsi les ressources d'innovation et d'évolution stratégiques*"<sup>18</sup>. On peut ainsi définir l'Ingénierie Organisationnelle comme une démarche d'applications scientifiques et d'étude globale d'un problème organisationnel et stratégique sous tous ses différents aspects (humain, socio-économique, organisationnel et technique).

### 2.1.2. Les concepts d'une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E.

Dans ces conditions, l'objectif de création de la valeur par l'intermédiaire d'une Ingénierie Organisationnelle nécessite des itérations entre la théorie et la pratique. Ces différents aller-retour doivent permettre :

- la co-construction du problème avec les acteurs de l'organisation et l'intervenant ;
- de faire émerger de nouvelles connaissances scientifiques ;
- de mettre en place des outils permettant la représentation des problèmes complexes et de faciliter l'appropriation de ces outils et des connaissances qui en découlent.
- d'élaborer de nouvelles procédurales, qui viennent se confronter avec les connaissances théoriques existantes et les enrichir.

L'Ingénierie Organisationnelle contribue autant aux savoirs fondamentaux qu'aux savoirs appliqués. Elle a pour objectif de mobiliser "*le processus cognitif par lequel l'esprit construit une représentation de la dissonance qu'il perçoit entre ses comportements et ses projets, et de chercher à inventer quelques réponses ou plans d'action susceptibles de restaurer une connaissance souhaitée (ce que l'on appelle couramment "résolution de problème" au sens large)*"<sup>19</sup>. Le développement de démarches de résolution de problèmes complexes en entreprise nous a

---

<sup>17</sup> Teulier-Bourgine R. "Les représentations : médiations de l'action stratégique", dans Avenier M.-J. (coordination), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, Paris, 1997, p. 95-135.

<sup>18</sup> Nicot A.-M., "L'intervention de conseil", dans M.-J. Avenier (coordination), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, Paris, 1997, p. 219-238.

<sup>19</sup> Le Moigne, J.-L., *Les épistémologies constructivistes*, P.U.F, Paris, 1995.

amené à dégager deux pôles qui correspondent aux concepts d'une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E. : la conception de modèles de représentation et le pilotage de ces modèles (Tableau 1). A ces deux pôles, il est nécessaire d'ajouter un troisième, l'impulsion, permettant de dépasser l'aspect perturbant du désordre et de se dégager des situations paradoxales. Il convient donc de parler de processus de changement.

<b>Ingénierie Organisationnelle</b>	<b>Critères de construction</b>	<b>Objectifs</b>
<b>Impulsion</b>	Capacité à développer un chemin au regard des intentions énoncées	Améliorer les procédures et les processus de gestion
<b>Conception</b>	Capacité à délimiter des chemins en cohérence avec le système de représentations ou cible partagée	Capacité à produire des outils, des démarches et à développer des stratégies
<b>Pilotage</b>	Capacité à mettre en place des indicateurs en fonction d'un contexte donné	Améliorer la capacité à créer de la valeur en P.M.E.

Tableau 1.- Présentation synthétique des différents concepts d'une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E.

Il est important de préciser que ces trois concepts ne doivent être envisagés de façon dichotomique, mais au contraire comme étant les trois éléments insécables d'une seule et même proposition.

## 2.2. Les questionnements méthodologiques

### 2.2.1. Délimitation d'un nouveau cadre d'intervention

Le redéploiement des épistémologies constructivistes a permis de redéfinir la notion d'intervenant. En effet, comme nous l'avons précisé précédemment, l'Ingénierie Organisationnelle se base sur un recadrage de la situation par rapport à la dissonance cognitive. Les personnes jouant un rôle central dans cette démarche sont les acteurs de la P.M.E. Ils sont acteurs de leur propre changement. Ainsi, la modélisation, outil permettant de changer leur niveau de regard sur la situation de désordre, doit être réalisée par les acteurs de l'entreprise. L'intervenant n'est plus présent en tant qu'expert par rapport à un problème rencontré, ni comme modélisateur d'une situation. L'intervenant intervient pour faciliter l'expression des problèmes et la modélisation des situations complexes par les acteurs.

Ainsi, son rôle peut se délimiter par la notion d'instrumentation. En effet, en permettant la construction d'artefacts, l'intervenant rend intelligible des situations considérées comme complexes. Dans ce cas, au lieu de parler d'expert on parlera de "facilitateur"<sup>20</sup>. Celui-ci a pour mission, non plus d'apporter des solutions, mais de faciliter la construction et la représentation par les acteurs des problèmes. Son apport est autant dans la conception d'outils d'aide à la représentation utiles à l'action que dans la connaissance théorique des situations complexes "*visant à fournir un guide pour construire des problèmes complexes et piloter des processus*"<sup>21</sup>.

De façon plus synthétique, la différenciation du rôle de l'intervenant peut se résumer par la métaphore des planètes Alpha et Bêta de P. Caillé<sup>22</sup> :

- sur Alpha, chaque organisation est dotée d'un "engin" qui fournit automatiquement les réponses adéquates à tous les problèmes qui peuvent surgir (raisonnement algorithmique). Lorsque cet engin est en panne, l'organisation fait appel à un "réparateur" qui assurera les réglages nécessaires et remplacera les éléments défectueux.

- sur Bêta, chaque organisation construit ses outils avec les moyens dont elle dispose (raisonnement heuristique). Ces organisations peuvent, en cas de difficulté, faire appel à un "facilitateur". "Le facilitateur " ne vient pas apporter la solution, il se sert avant tout de sa position pour aider le système à se donner une représentation réflexive de lui-même, à ne pas s'enfermer dans son point de vue, à percevoir ce qui est peut être autrement, à redevenir acteur et créateur de son devenir.

De manière métaphorique, la planète Alpha considère l'intervention comme une expertise de la situation alors que la planète Bêta la perçoit comme une construction de sens.

### 2.2.2. Le développement d'outils d'aide à la représentation par le visuel

Les situations à gérer sont caractérisées par leur complexité, c'est-à-dire que les responsables de P.M.E. ont des difficultés à exprimer spontanément les problèmes qui se posent et *a fortiori* à définir les outils de gestion dont ils auraient besoin. Dans ces conditions, "*des méthodes classiques de collecte de données par questionnaire s'avèrent par conséquent peu adaptées, dans la mesure où les acteurs ne savent pas dire*

---

<sup>20</sup> Ce néologisme traduit bien l'action de rendre accessible et intelligible la complexité des situations. Cette notion a été développée dans Ribau N., Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Apport de l'expertise à la résolution de problèmes en entreprise", *6<sup>ème</sup> Séminaire inter-établissement, Colloque Confère*, ISTIA - Angers, 7 - 8 juillet 1999, p. 342-346.

<sup>21</sup> Chanal V., Lesca H., Martinet A.-C., op. cit.

<sup>22</sup> Caillé P., *Un et un font trois*, Paris, ESF, 1991.

"ce qui ne va pas"<sup>m23</sup>. Il est nécessaire que le chercheur-intervenant propose des outils qui permettent d'appréhender la complexité des situations à laquelle les responsables de P.M.E. doivent régulièrement faire face. Dans cette perspective, les outils que nous utilisons ont pour caractéristique commune de faire appel au visuel.

L'activité de résolution de problèmes complexes joue un rôle important dans la problématique de création de valeur face aux situations de désordre rencontrées par les P.M.E. Dans ce contexte, un des objectifs de l'Ingénierie Organisationnelle est de proposer l'utilisation d'outils permettant de rendre intelligibles les situations paradoxales. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'outils utilisant un langage approprié. L'intelligibilité du compliqué nécessite la simplification, alors que l'intelligibilité du complexe se fait par modélisation, car les raisonnements s'élaborent par des modèles. La modélisation se définit alors comme "*une action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles*"<sup>m24</sup>. Ce qui revient à dire que la manière de poser le problème conditionne le cheminement de la solution. La modélisation a pour objectif non seulement de comprendre la situation, mais aussi de faciliter la communication et le pilotage du processus de changement. Le modèle construit doit être physiquement cohérent, intellectuellement accessible et socialement acceptable. Dans ces conditions, la question centrale est comment modéliser la complexité des situations de désordre afin de créer de la valeur en P.M.E. ?

Nous voudrions faire ici la proposition et la démonstration que le visuel est un support méthodologique tout à fait approprié à la complexité des situations et qu'il permet de développer en ce sens des "*modalités constructivistes d'imagerie*"<sup>m25</sup>. Nous entendons par visuel toute forme de représentation relative à la vue.

En ce qui nous concerne, nous nous restreignons à l'image, cela correspond principalement à des éléments aussi variés que des photos, des

---

<sup>23</sup> Chanal V., Lesca H., Martinet A.-C., op. cit.

<sup>24</sup> Le Moigne J.-L., *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris, 1990.

<sup>25</sup> Il faut entendre par modalité constructiviste d'imagerie, "*un traitement de l'information qui utilise une méthode constructiviste et des informations contextualisées*". Lavallée A., "Stratégie de gestion et complexité : une approche épistémologique et cognitive", *Revue Internationale de Systémique*, vol. 10, n°1-2, 1996, p. 57-77.

graphes, des dessins ou encore des tableaux. En voulant intégrer théorie et pratique, K. Lewin, soulignait l'intérêt du visuel dans certains types d'approches. "Au lieu de s'évertuer à élaborer des généralisations du type  $y = f(x)$ , les chercheurs qui adoptent une approche globalisante devraient faire un plus grand usage des métaphores et des représentations graphiques"<sup>26</sup>. Les images utilisées pour modéliser les situations complexes ne sont pas seulement descriptives, elles visent à mieux se représenter et à simuler ce qui peut se passer dans l'avenir<sup>27</sup>. Il s'agit alors de construits intentionnels servant à appréhender la situation qu'ils servent à représenter. Ces images ont donc une portée largement stratégique. Ainsi, il est important d'élargir la problématique du visuel au sens large et de l'image en particulier, en examinant leur rôle dans la résolution de problèmes complexes, c'est-à-dire dans le cadre d'un passage d'une représentation de la situation comme perturbante à la construction de nouvelles représentations de la situation.

De notre connaissance, la problématique de l'image est encore peu développée ou peu prise en considération dans les problématiques des Sciences de Gestion. Parallèlement, de par la volonté de rendre actionnables les connaissances scientifiques, les Sciences pour l'Ingénieur ont développé nombre de méthodologies qui ont recours au visuel, comme par exemple les diagrammes causes-effets, les AMDEC, le diagramme de Pareto, ou encore l'Analyse Fonctionnelle. Souvent ces outils proviennent de démarches qualité. L'objectif de notre recherche est de proposer un transfert méthodologique, permettant d'utiliser des outils développés au sein des Sciences pour l'Ingénieur vers les Sciences de Gestion. Ce transfert méthodologique doit amener les acteurs de l'entreprise à modifier leurs représentations face au désordre. Dans ces conditions, la méthodologie que nous avons retenue est une des 134 technologies-clés retenues par le Ministère de l'Industrie, il s'agit de la Analyse de la Valeur<sup>28</sup>.

---

<sup>26</sup> Lewin K., cité par Argyris C., *Knowledge for action. A guide to overcoming barriers to organizational change*, traduction française, *Savoir pour agir, surmonter les obstacles à l'apprentissage organisationnel*, InterEditions, Paris, 1995.

<sup>27</sup> Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Ordre et désordre en P.M.E. : contribution du visuel au développement organisationnel", *Direction et Gestion*, à paraître.

<sup>28</sup> A partir de constats issus de différentes interventions dans des secteurs d'application variés, nous avons engagé des recherches dans ce sens. Ainsi, une première recherche sur l'utilisation du visuel a commencé en 1997 sous la forme d'un DEA qui avait pour terrain d'expérimentation une société de bourse parisienne. Delahaye S., *De la gestion prévisionnelle des perturbations à l'évolution des comportements*, DEA GSI, Nancy, 25 septembre 1998.

### 2.3. L'intervention : présentation des résultats

#### 2.3.1. L'impulsion : la construction d'une cible partagée pour le développement d'une stratégie créatrice de valeur

Il s'agissait ici de trouver un sens à partir des intentionnalités de départ exprimées par le responsable de l'entreprise Outils Wolf lors de la demande d'intervention. L'objectif était de dégager la finalité du système étudié et d'impulser le changement. Cette finalité était déjà partiellement exprimée par l'entreprise au moment de notre rencontre, il était donc important de la délimiter plus précisément. Le redéploiement de la stratégie a permis de positionner les actions de l'entreprise non plus uniquement à court terme, mais aussi à moyen et à long terme. Pour cela, les membres du groupe de projet ont construit leur réflexion autour des questions suivantes :

- Quels sont les acteurs de l'entreprise concernés par cette cible ?
- Sur quoi agit la cible ?
- Dans quel but cette cible existe ?

Notre rôle d'intervenant consistait dans cette première phase à orienter les membres du groupe de projet vers les différentes questions, à réaliser la synthèse des différents débats et à proposer le cas échéant des voies inexplorées permettant d'enrichir la réflexion. Il est nécessaire de rappeler ici que l'initialisation du sens donné au résultat par la cible ne doit pas être envisagée de façon figée mais comme mouvante et pouvant donc évoluer au cours du projet. Sa construction peut être affinée lors des différentes phases. Les phases qui suivent (ré)interrogent aussi cette finalité. Ainsi, par un processus d'itérations successives, la cible peut évoluer, s'affiner "en marchant"<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> En paraphrasant les célèbres vers d'Antonio Machado "marcheur, le chemin se construit en marchant".



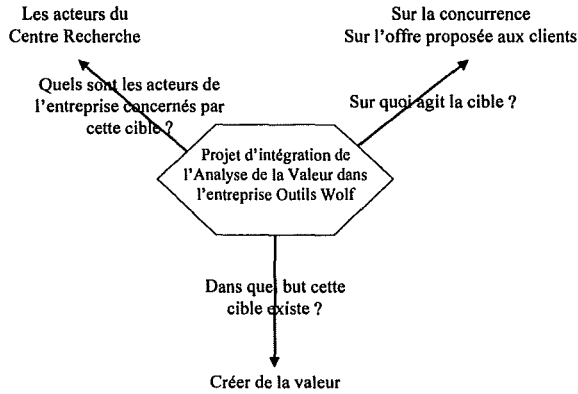


Figure 1.-Construction d'une cible partagée

## 2.3.2. La conception de représentations intelligibles de la complexité

### 2.3.2.1. La recherche des descripteurs

A partir de la construction de la cible, il est possible de concevoir graphiquement des représentations intelligibles de la situation complexe à gérer par l'entreprise Outils Wolf. Pour cela, nous avons utilisé un formalisme issu de l'Analyse Fonctionnelle, outil de la démarche Analyse de la Valeur. Il permet, dans un premier temps, de dégager les descripteurs, c'est-à-dire les notions génériques regroupant les informations d'un problème, d'une situation autour d'un thème, d'une idée commune autour de la cible. La recherche de ces descripteurs a été réalisée à partir d'outils de communication permettant la créativité de type brainstorming. Ces outils facilitant la contextualisation de la situation favorisent l'activité mnémonique des participants<sup>30</sup>. Les participants s'exprimaient librement sur la cible, toujours par rapport au contexte de l'entreprise. Par principe, il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. L'objectif de l'intervenant est d'éviter les jugements de valeur. A partir des différentes réponses recensées, le rôle de l'animateur est avant tout de permettre une représentation synthétique de ces discours. Dans notre cas, cette synthèse a permis de faire émerger neuf descripteurs (Figure 2).

### 2.3.2.2. Le recensement des fonctions

Globalement, on peut dire que les acteurs de l'entreprise ont construit une représentation graphique du contexte de l'entreprise. Cette recherche

<sup>30</sup> Denis M., *Image et cognition*, P.U.F, Paris, 1989.

des descripteurs met très vite à l'épreuve la validité de la cible retenue. Cette phase de contextualisation est complétée par la recherche de fonctions associées aux différents descripteurs (Figure 2). Ces fonctions correspondent à des heuristiques par rapport aux actions à mener.

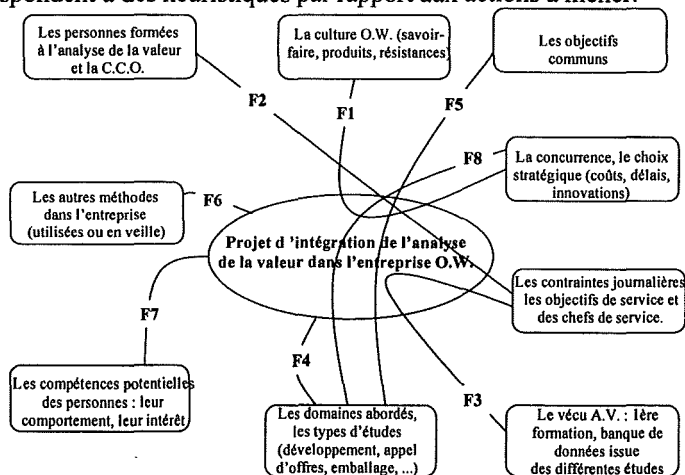


Figure 2.-Conception graphique du projet complexe de l'entreprise Outils Wolf

Chaque fonction fait l'objet d'une caractérisation. Les huit fonctions recensées par le groupe de projet peuvent s'exprimer de la façon suivante :

<b>F1</b>	Faire évoluer la culture dans le sens des choix stratégiques (innovation, coûts, qualité)
<b>F2</b>	Concrétiser les formations A.V. dans les activités quotidiennes
<b>F3</b>	Enrichir le quotidien avec les expériences
<b>F4</b>	Développer une logique par domaine d'application
<b>F5</b>	Aborder des types d'études cohérents avec les objectifs communs des participants
<b>F6</b>	Créer une place à de nouvelles méthodes
<b>F7</b>	Etre à l'écoute et prendre en compte
<b>F8</b>	Choisir le domaine en relation avec la stratégie

Tableau 2.-Caractérisation des fonctions du projet "Intégration l'Analyse de la Valeur"

## 2323. L'organisation des fonctions

Il s'agit ici de donner du sens aux actions à mener par la suite en positionnant les principaux jalons. Cette étape est fondamentale, en ce qui concerne notamment le choix de la première fonction car elle conditionne le sens à donner à l'action et le positionnement des autres fonctions. L'organisation des fonctions doit faciliter par la suite l'émergence de voies de solutions, elle correspond à la construction de la stratégie. L'articulation des fonctions entre elles permet de simuler plusieurs sens à donner à l'action. Ainsi, les acteurs de l'entreprise peuvent orienter l'action de façon différente en fonction de leur positionnement dans le temps. Par rapport à l'objectif global de création de valeur, les membres du groupe de l'entreprise Outils Wolf ont dégagé des orientations à court et à moyen terme (Figure 3) à partir des fonctions recensées précédemment. Nous ne présenterons ici que l'orientation à moyen terme.

En ce qui concerne la représentation du positionnement de l'entreprise à moyen terme, le sens donné à l'action est avant tout généré par les fonctions F5 et F8 qui permettent de s'interroger sur le choix des domaines d'application et sur la cohérence des types d'études proposés. Ces fonctions donnent le sens principal de l'action et contraignent les autres fonctions. Les fonctions F5 et F8 permettent de préciser le premier niveau et ainsi de suite. En ce qui concerne les fonctions F1, F6 et F2, qui se situent dans un cercle, elles correspondent à des actions à redéfinir ultérieurement, en fonction de l'avancée du projet.

### A moyen terme

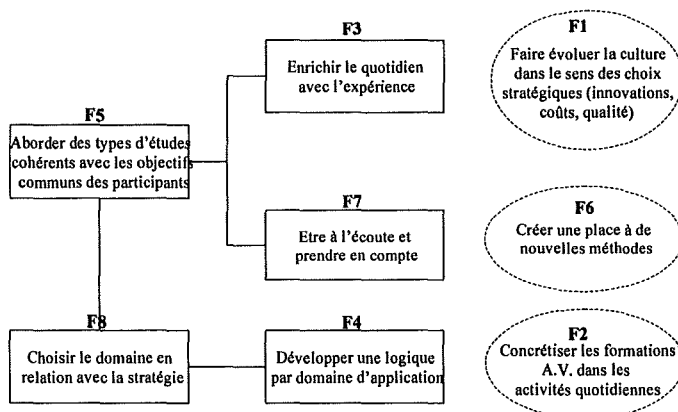


Figure 3.-Donner du sens à l'action : organisation de l'action à moyen terme

### 2.3.3. Le pilotage visuel : faciliter l'interaction entre les acteurs du projet

#### 2.3.3.1. Proposition d'outils de pilotage par le visuel

Le pilotage visuel mis en place dès le début de l'intervention a servi de fil conducteur à la construction du projet en délimitant les différentes étapes, leurs objectifs, la date et la durée prévues. Il a permis une lecture claire et rapide des différentes étapes du projet par les membres du groupe (Figure 4). De plus, ce type de pilotage facilite les échanges et les interactions entre ces membres.

L'utilisation du visuel pour piloter le processus de changement est très simple. Son côté dynamique est donné par l'utilisation de post-it interchangeables en fonction de l'évolution du projet. Ces derniers ont permis aux différentes personnes du groupe, y compris les intervenants de s'exprimer avant les réunions programmées sur les problèmes éventuels par rapport à une phase donnée et d'y apporter des solutions. A la date de la réunion, un bilan de ces différents post-it était réalisé en début de séance.

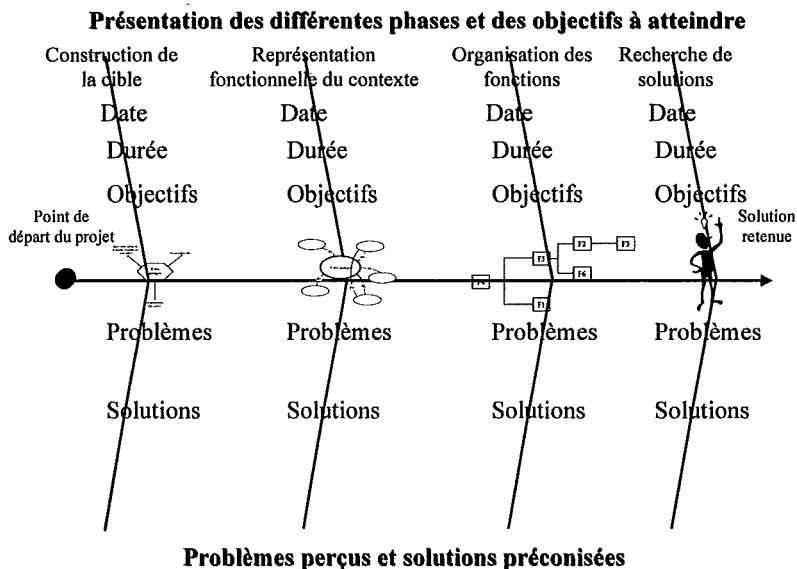


Figure 4.-Exemple d'outils de pilotage visuel

### 2.3.3.2. L'utilisation d'indicateurs

Le processus de changement nécessite le recours à des indicateurs permettant un suivi et une évaluation du projet. Dans ces conditions, le recours à l'Analyse de la Valeur et plus précisément à l'Analyse Fonctionnelle permet de dégager les indicateurs qui serviront dans la partie conduite du changement. Ainsi, la phase de conception de modèles de représentation fait émerger différents types d'indicateurs (Figure 5). Il s'agit des indicateurs de résultats, de processus et de contexte. Dans ces conditions :

- la cible partagée favorise l'élaboration d'indicateurs de résultats,
- les fonctions recensées des indicateurs de processus
- et enfin, les descripteurs des indicateurs de contexte.

A l'heure actuelle, il ne reste qu'à évaluer à l'aide des indicateurs, les changements engagés par l'entreprise. Ce point est en cours de construction au sein d'Outils Wolf.

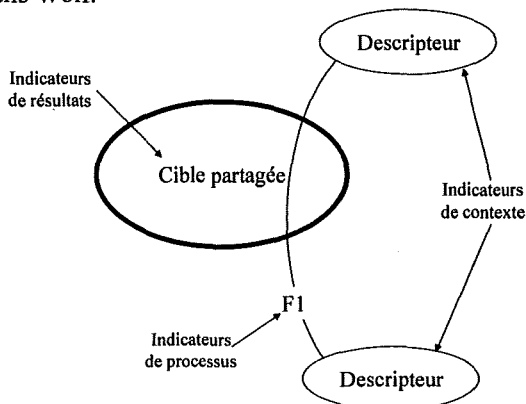


Figure 5.-Relation entre représentation fonctionnelle et indicateurs de pilotage

## Conclusion

L'approche du désordre en P.M.E. est une réalité incontournable. Notre recherche a permis de mettre en lumière les points suivants :

- la solution est le problème, c'est-à-dire, que les problèmes rencontrés par les P.M.E. face au désordre sont dus aux solutions mises en place. L'angle d'observation que nous avons privilégié, la complexité du désordre, fait émerger un paradoxe entre la complexité des situations et la création de valeur en P.M.E. Ce paradoxe n'est pas nouveau. L'intérêt est donc de

constater sa présence au niveau de la P.M.E., impliquant le recours à des méthodes et des outils appropriés.

- à partir du moment où les modifications de ces solutions sont inefficaces car s'inscrivant dans l'hypothèse de séparation de l'ordre et du désordre, il nous a fallu présenter un concept, l'Ingénierie Organisationnelle, et une méthodologie adaptée à la complexité des situations, l'Analyse de la Valeur. Pour comprendre et lever ce paradoxe, nous avons été amenés à proposer un cadre de réflexion et d'action relevant de ce qu'il est convenu d'appeler le paradigme constructiviste. Cela a permis de mettre en évidence l'importance des représentations. Ce qui implique que *"l'acteur doit faire preuve de cette forme d'intelligence qui consiste moins en la résolution d'un problème compliqué qu'en la mise en forme d'un monde partageable"*<sup>31</sup>.

L'originalité de notre proposition repose aussi sur le fait que nous proposons un cadre d'intervention axé sur le visuel. Ce support permet de recadrer la situation, c'est-à-dire changer le niveau de regard des acteurs par rapport à une situation donnée. A partir d'une approche expérimentale, nous avons montré que l'utilisation du visuel favorisait le travail sur les représentations des acteurs, permettant ainsi de passer d'une logique de menaces à une logique d'opportunités. Cette façon d'agir modifie le rôle de l'intervention et de l'intervenant. La redéfinition du rôle de ce dernier pose le problème de la participation et de l'intégration du chercheur dans son terrain d'expérimentation. De plus, les supports visuels soulèvent un problème auquel il est nécessaire de répondre : l'utilisation d'un référent visuel. Certes l'image est un langage universel, mais il est important que les référents utilisés soient accessibles par les différentes personnes concernées. Il faut que ces personnes puissent comprendre aisément les mécanismes de construction et de lecture des pratiques utilisées.

Notre travail avec l'entreprise Outils Wolf continue avec pour objectif le pilotage et l'évaluation du changement retenu au sein de l'entreprise. Parallèlement, d'autres cas en P.M.E. viendront étayer notre recherche et dans un processus itératif permettront de valider ou d'invalidier, les différentes phases de notre démarche.

---

<sup>31</sup> Martinet A.-C., "Stratégie et pensée complexe", *Revue Française de Gestion*, n° 93, mars-avril-mai 1993, p. 64-72.

## Bibliographie

- Alter N., "Organisation et innovation, une rencontre conflictuelle", *Sciences Humaines*, H.-S., n° 20, mars-avril, 1998, p. 56-59.
- Argyris C., *Knowledge for action. A guide to overcoming barriers to organizational change*, traduction française, *Savoir pour agir, surmonter les obstacles à l'apprentissage organisationnel*, InterEditions, Paris, 1995.
- Barel Y., *Le paradoxe et le système*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, 1979.
- Caillé P., *Un et un font trois*, Paris, ESF, 1991.
- Chanal V., Lesca H., Martinet A.-C., "Vers une ingénierie de la recherche en sciences de gestion", *Revue Française de Gestion*, n° 116, 1997, p. 41-51.
- Cohen M.D., March J.-G. et Olsen J.-P., *Decisions and organization*, traduction française, *Décisions et organisations*, Les Editions d'Organisation, Paris, 1991.
- Delahaye S., *De la gestion prévisionnelle des perturbations à l'évolution des comportements*, DEA GSI, Nancy, 25 septembre 1998.
- Denis M., *Image et cognition*, P.U.F, Paris, 1989.
- Forsé M., *L'ordre improbable, entropie et processus sociaux*, P.U.F., Paris, 1989.
- Kœnig G., *Management stratégique, paradoxes, interactions, et apprentissages*, NathanParis, 1996.
- Lavallée A., "Stratégie de gestion et complexité : une approche épistémologique et cognitive", *Revue Internationale de Systémique*, vol. 10, n°1-2, 1996, p. 57-77.
- Lawrence P., Lorsch J., *Adapter les structures de l'entreprise*, Editions d'Organisations, Paris, 1985.
- Le Moigne J.-L., *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris, 1990.
- Le Moigne, J.-L., *Les épistémologies constructivistes*, P.U.F, Paris, 1995.
- Martinet A.-C., "Stratégie et pensée complexe", *Revue Française de Gestion*, n° 93, mars-avril-mai 1993, p. 64-72.
- Morin E., *Introduction à la pensée complexe*, E.S.F., Paris, 1990.
- Nicot A.-M., "L'intervention de conseil", dans M.-J. Avenier (coordination), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, Paris, 1997, p. 219-238.
- Prigogine I., Stengers I., *La nouvelle alliance : métamorphose des sciences*, Gallimard, Paris, 1987.
- Ribau N., Schmitt C., Grandhayé J.-P., "Apport de l'expertise à la résolution de problèmes en entreprise", *6<sup>me</sup> Séminaire inter-établissement, Colloque Confère*, ISTIA - Angers, 7 - 8 juillet 1999, p. 342-346.
- Schlanger J., *La situation cognitive*, Méridiens, Paris, 1990.

- Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Ordre et Désordre en P.M.E. : Approche des situations complexes par la notion de perturbation", *4<sup>ème</sup> Congrès Européen de Systémique*, Valencia, Espagne, 20-24 septembre 1999, p.173-186.
- Schmitt C., *La dynamique de la valeur : contribution à la création de valeur en P.M.E. par la notion de désordre*, Thèse de Doctorat, Nancy, 1999.
- Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Ordre et désordre en P.M.E. : contribution du visuel au développement organisationnel", *Direction et Gestion*, à paraître.
- Schmitt C., Grandhaye J.-P., "Contribution à une Ingénierie Organisationnelle en P.M.E. par le management de la valeur : apports conceptuels et méthodologiques", *International Journal of Design and Innovation Research*, Vol 1, n°3/4, à paraître.
- Teulier-Bourgine R., "Les représentations : médiations de l'action stratégique", dans Avenier M.-J. (coordination), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, Paris, 1997, p. 95-135.
- Watzlawick P., "Effet ou cause ?" dans Watzlawick P. (coordination), *L'invention de la réalité, contribution au constructivisme*, Seuil, Paris, 1988, p. 73-78.
- Watzlawick, P., Weakland, J. et Fisch, R., *Changements, paradoxes et psychothérapie*, Editions du Seuil, Paris, 1975.



## Quand la complexité se trouve dans la graphique : Un outil pédagogique pour la vie artificielle

Elpida TZAFESTAS\*

*Intelligent Robotics and Automation Laboratory  
Electrical and Computer Engineering Department  
National Technical University of Athens  
Zographou Campus, Athens 15773, GREECE.  
brensham@soflab.ece.ntua.gr  
<http://www.soflab.ece.ntua.gr/~brensham>*

**Résumé.** Cet article présente un outil pédagogique pour la vie artificielle, et plus particulièrement spécialisé dans les principes de régulation. L'outil, surnommé PainterAnts, a deux aspects complémentaires : premièrement, il est destiné aux artistes et, deuxièmement, il introduit une problématique selon laquelle la complexité se trouve dans la graphique, c'est-à-dire la complexité est une propriété de l'image qui en résulte. Cet arrangement nous permet, d'une part d'observer la complexité directement sur l'image et non pas par l'intermédiaire d'un outil de visualisation d'une variable qui exprime la complexité, et d'autre part, de mettre en valeur l'expérience visuelle ainsi que la motivation des utilisateurs/sujets du système, qui sont des artistes. Le problème de régulation traité est une transcription directe d'un problème de régulation de fourmis artificielles selon notre problématique de complexité graphique. Comme nous avons pu l'observer, les artistes montrent un intérêt et un goût d'expérimentation élevé, qui est partiellement dû au fait qu'ils regardent souvent le système comme un outil simple d'art abstrait, pouvant produire des formes intéressantes. À un deuxième niveau d'observation nous constatons qu'un utilisateur peut créer un modèle fonctionnel de la complexité et l'utiliser, sans vraiment la comprendre.

---

\* Également avec: Digital Art Laboratory, Athens School of Fine Arts, Peiraios 256, 18233 Agios Ioannis Rentis, GREECE. tzafesta@asfa.gr, <http://www.asfa.gr/~tzafesta>

## 1. Introduction

Dans le cadre d'un programme d'enseignement de troisième cycle d'art et science, nous avons créé un ensemble d'outils pédagogiques pour la vie artificielle et les sciences de la complexité. Ces outils informatiques constituent un laboratoire pédagogique utilisé comme supplément des cours théoriques et contiennent entre autres une implémentation des biomorphes (Dawkins 1987) et une implémentation des véhicules (Braitenberg 1984). Nous présentons ensuite l'outil surnommé "PainterAnts" qui utilise un modèle de fourmis artificielle (Tzafestas 1998) comme modèle de base d'une fourmis-peintre.

Avec cet outil nous introduisons une problématique selon laquelle la complexité se trouve dans la graphique, puisque les effets émergeant des actions des agents-peintres se voient sur le résultat de la peinture, c'est-à-dire sur l'image qui en résulte. Cet arrangement nous permet d'observer la complexité directement sur l'image et non pas par l'intermédiaire d'un outil de visualisation d'une variable qui exprime la complexité. D'autre part, nous mettons ainsi en valeur à la fois l'expérience visuelle des utilisateurs/sujets du système, qui sont des artistes, et leur motivation d'expérimenter avec des formes graphiques complexes.

Une autre caractéristique de notre problématique est que la complexité se présente sur l'image non seulement grâce à l'émergence de formes temporaires, mais également grâce à toute l'histoire de l'interaction de l'utilisateur avec le système. C'est précisément cette caractéristique qui incite les utilisateurs-artistes à utiliser le système comme un vrai outil d'expression artistique. Cependant le but du système reste d'enseigner les principes de la vie artificielle à travers des formes graphiques, plutôt que d'exploiter la complexité pour produire des formes artistiques.

Dans un cadre plus général, l'enseignement de la vie artificielle à l'aide d'outils graphiques nous permet de mettre l'utilisateur à la place d'un modélisateur externe qui essaye de comprendre l'opération d'un système en élaborant un modèle de lui. Dans ce sens, notre travail vise à plus long terme à étudier la relation entre une réalité artificielle et les modèles que les êtres humains en déduisent.

## 2. Un modèle de régulation

Le modèle d'agent-peintre est directement inspiré d'un modèle d'agent-fourmis qui ramasse des échantillons de nourriture et les ramène à une base. Étant donné qu'il existe généralement plusieurs sources assez larges de nourriture, la solution au problème de ramassage de nourriture est de permettre aux agents-fourmis de déposer et ramasser des morceaux d'une autre substance (des "miettes") qui sert à la communication entre agents (Steels 1990) et qui ressemble aux phéromones utilisées par les vraies fourmis.

Dans (Tzafestas 1998) nous avons étudié le modèle de (Ferber & Drogoul 1992) et nous avons démontré que la solution naïve souffre d'une limitation physique qui peut être dépassée si l'on introduit un mécanisme d'autorégulation de la quantité des miettes. À un deuxième niveau, l'autorégulation des paramètres de régulation donne des meilleures performances que celles que l'on obtient avec des paramètres fixes. Ce modèle a été transcrit en remplaçant la variable "miettes" par une variable "couleur", de façon qu'un agent-peintre dépose ou ramasse une quantité de couleur tout en cherchant à ramener de nourriture à sa base. Nous supposons que chaque position du monde a une couleur qui peut être modifiée au cours de l'exécution. Nous décrivons ensuite ce modèle en détail.

### *Données et image de l'agent-peintre*

L'agent possède une variable interne du type "couleur" (composantes R,V,B)

L'agent a une image fixe d'une des sept couleurs saturées (rouge, vert, bleu, jaune, violet, bleu ciel et blanc). Les agents sont initialisés avec la même couleur que leur image, mais la couleur peut changer au cours de l'exécution, tandis que l'image ne change pas.

L'agent peut transporter un morceau de nourriture au maximum.

L'agent "connait" sa base, avec laquelle il a la même couleur initialement, et peut s'orienter vers elle. Il existe autant de bases que de couleurs d'images (rouge, vert, bleu, jaune, violet, bleu ciel et blanc).

L'agent peut percevoir sa nourriture d'une distance de trois pas et peut s'orienter vers elle.

### *Modèle comportemental de base (modèle de mouvement et d'action)*

SI (l'agent transporte un morceau de nourriture)  
{

```

SI (l'agent se situe sur sa base (*)), il se
  décharge (le morceau disparaît du monde)
SINON il s'oriente vers sa base
L'agent dépose de couleur
(*) La base avec la même couleur que l'image de
  l'agent
}
SINON
{
  SI (l'agent se situe sur un morceau de nourriture)
    l'agent se charge (il prend un morceau)
  SINON l'agent suit le stimulus de la nourriture
    s'il en existe un, sinon il se déplace au
    hasard
  L'agent ramasse de couleur
}

```

**Modèle cognitif et adaptatif (modèle de traitement de couleur)**

Il constitue le coeur du système et la partie transcrite du modèle de (Tzafestas 1998). Il existe trois variations de ce modèle.

**Modèle sans contrainte**

<b>Action</b>	<b>Implémentation</b>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B)
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0)

**Modèle avec des limites**

<b>Action</b>	<b>Implémentation</b>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B) ou jusqu'à la disparition de sa propre couleur (mise d'une des composantes R,V,B à 0)
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une quantité fixe de

	couleur, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0) ou jusqu'à la saturation de sa propre couleur (saturation d'une des composantes R,V,B à 0)
--	---

**Modèle auto-régulé**

<b>Action</b>	<b>Implémentation</b>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une <b>proportion fixe</b> de sa couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B) ou jusqu'à la disparition de sa propre couleur (mise d'une des composantes R,V,B à 0)
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une <b>proportion fixe</b> de la couleur qu'il peut recevoir, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0) ou jusqu'à la saturation de sa propre couleur (saturation d'une des composantes R,V,B à 0)

**Modèle de la logique d'adaptation**

Il se réfère au modèle adaptatif et veut modéliser des agents ayant un comportement défectif ou trompeur. Il existe trois variations de ce modèle.

- Modèle rationnel                      Dépose et ramasse de couleur
- Modèle irrationnel 1                Ramasse de couleur, mais n'en dépose pas
- Modèle irrationnel 2                Dépose de couleur, mais n'en ramasse pas

**Modèle "social" (filtrage de l'information du monde)**

Il se réfère à la relation d'un agent avec son environnement social (les autres agents), qui se fait par l'intermédiaire de la couleur. Il existe deux variations de ce modèle.

- Modèle égoïste                        Dépose et ramasse seulement la couleur de son image (l'agent bleu dépose et ramasse seulement du bleu, l'agent vert dépose et ramasse seulement du vert etc.)

Modèle coopératif

Dépose et ramasse toute couleur (c'est-à-dire toutes les trois composantes, rouge, vert, bleu)

### 3. Le logiciel

Le logiciel a été développé en Java à base du logiciel RAGS (Recursive Agents Simulator), qui est un outil de simulation et d'expérimentation en vie artificielle, dont le précurseur a été présenté dans (Tzafestas 1995). Ce logiciel permet la définition de classes d'agents composés eux-mêmes d'autres agents et la simulation de systèmes d'agents ainsi récursifs. Le système permet également la définition de mondes avec des propriétés spatiales différentes et la définition d'observateurs de nature statistique (par exemple, des courbes de résultats). Outre ces fonctionnalités, le système comprend un ensemble d'interfaces qui peuvent être évoquées automatiquement et dynamiquement lors de l'opération et qui permettent l'exécution de la simulation, l'édition et/ou traitement de toutes les composantes de la simulation (agents, monde, observateurs etc.), ainsi qu'un ensemble limité de fonctions de programmation graphique.

L'interface centrale du système est visualisée dans la figure 1 et comprend deux parties : une partie de visualisation de la simulation ou la *vue de système* (partie de droite) et une partie d'édition et de traitement ou le *tableau de contrôle* (partie de gauche).

L'utilisateur peut modifier les paramètres des agents depuis le tableau de contrôle ou depuis des dialogues spécialisés qui apparaissent avec le double-click sur un agent. Dans les deux cas, l'utilisateur peut modifier la couleur interne de l'agent, soit en la remettant à la couleur qui correspond à son image (commande "reset"), soit en définissant les valeurs des trois composantes R, V, B, soit enfin en choisissant une couleur au hasard.

Le tableau de contrôle permet également la modification des autres paramètres de simulation et du monde dans lequel les agents se déplacent :

- Visibilité ou transparence des agents et/ou des divers objets du monde (bases, nourriture, obstacles)

- Visibilité ou transparence des trois composantes de couleur (R, V, B)

- Introduction ou suppression de nourriture

- Modification de la couleur de fond

  - Soit définition d'une couleur unique de fond pour toutes les positions

  - Soit remplacement ou superposition de couleur

Enfin, le menu de la vue de système permet, outre les actions de base qui sont décrites dans l'aide du système, l'introduction d'un obstacle ou la modification de la couleur de la position courante et la sauvegarde de la vue de système.

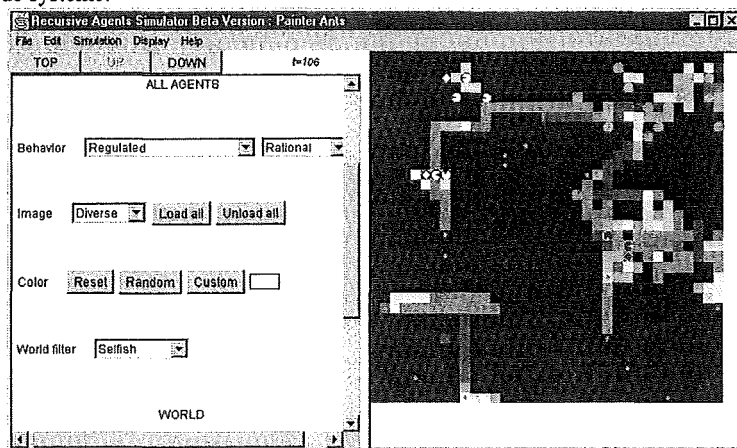


Figure 1. Interface centrale de "Painter Ants"

#### 4. La démarche pédagogique

La question posée aux étudiants-artistes a été formulée comme suit :

*Étudiez et comparez les différents modèles d'agents dans des conditions environnementales diverses, avec ou sans diversité au niveau du modèle. Les observations qualitatives doivent être accompagnées d'un ensemble d'images sélectionnées prises avec différentes valeurs des paramètres et dans des configurations spatiales différentes. Maintenez un fichier d'actions et de modifications pour chaque image.*

*Suggestion. Étudiez comparativement les modèles dans un monde de couleur initiale saturée ou aléatoire.*

Le but du travail des étudiants était de comprendre l'opération du système multi-agents et les effets individuels de chacune des variantes du modèle de régulation. Autour de ce but central lié au contenu du cours en vie artificielle, nous avons vu émerger trois buts satellites méthodologiques :

**Apprendre à expérimenter.** Les artistes ayant pratiquement aucune formation scientifique de base, ils avaient tendance à jouer partout dans le système sans aucune notion d'organisation d'observation et d'expérimentation. Dans un premier temps, il a été alors nécessaire de leur faire suivre certains protocoles prédéfinis d'expérimentation. Dans un deuxième temps, la version suivante du même outil comportera un ensemble d'expériences prédéfinies et de protocoles assortis. Ce besoin ayant été identifié, il deviendra ensuite nécessaire de définir clairement dans un langage informatique la notion et la structure de l'expérience.

**Apprendre à observer.** Une fois le problème d'expérimentation résolu, il a été constaté qu'il est encore plus difficile aux étudiants de se concentrer à l'examen détaillé des résultats visuels d'une expérience, par exemple pour la comparaison de deux images, et la déduction de résultats qualitatifs raisonnables. Le maintien de fichiers de modifications ainsi qu'une possibilité très limitée d'enregistrement des opérations de l'utilisateur ont permis aux étudiants de compléter quelques observations qualitatives. Notre but à moyen terme est d'introduire dans le système une composante de définition de la méthode d'observation par l'utilisateur, par exemple comparer les résultats après mille pas d'exécution. Cette composante doit être une composante de programmation graphique reposant sur le même langage de description mentionné auparavant.

**Apprendre à apprendre.** Finalement, même après avoir complété de longues séries d'expériences et après avoir observé les similarités et les différences entre elles, une grande partie des utilisateurs restaient indifférents à la relation entre un modèle et un résultat. Ce qui manque à une telle démarche est précisément la participation de l'utilisateur qui doit avoir une motivation élevée d'apprentissage. Dans une perspective future, nous considérons introduire dans le système des critères d'opération spécialisées, de façon que les utilisateurs de différentes catégories auront de motivations différentes mais également élevées pour l'utiliser et apprendre les principes de la vie artificielle, par exemple demander aux artistes des questions du type "Que peut-on faire sur une forme cubiste ?".

Malgré ces problèmes méthodologiques, nous avons constaté que les artistes sont finalement arrivés à établir avec ce système une relation stable d'utilisateur, même sans avoir bien compris ou évalué les mécanismes de régulation sous-jacents :

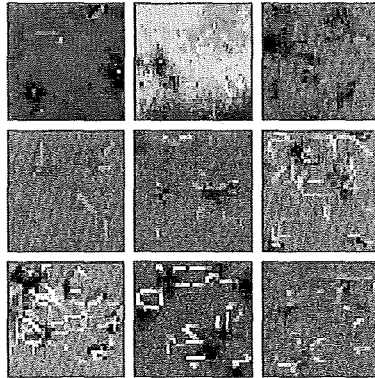
**Apprendre à utiliser.** Les artistes adoptent une position d'utilisateur-explorateur qui commence à faire manipuler et évoluer une forme (en



manipulant les paramètres du système) un peu au hasard, ensuite il se stabilisent autour de quelques formes créées et sélectionnées selon des critères idiosyncratiques et sont prêts à tout moment à abandonner la forme en question et reprendre dès le début si la forme ne les satisfait pas. Au lieu d'apprendre à expérimenter avec le système et l'observer, les artistes apprennent donc à l'utiliser comme un outil de manipulation de forme artistique, sans pouvoir le contrôler et encore sans chercher à le contrôler.

***Vouloir modifier le système.*** Après avoir acquis de l'expérience avec le système, les artistes commencent à vouloir créer des formes similaires à celles déjà créées et se mettent à chercher aveuglément le paramétrage nécessaire pour ce faire. C'est à ce point-là que nous sommes intervenus pour poser la question "Comment êtes-vous sûr que cette forme à laquelle vous pensez existe et peut être créée avec le système?". C'est alors à ce point-là, que les artistes commencent à vouloir vraiment apprendre ce que le système fait, c'est-à-dire à caractériser et comprendre l'éventail des formes auxquelles le système peut donner naissance. Comme conséquence directe de ce fait, les artistes arrivent finalement à vouloir modifier le système selon leurs goûts, même si la relation de la forme résultante et du modèle correspondant n'est toujours pas appréciée.

## 5. Résultats visuels



**Figure 2.** *Quelques images prises avec "Painter Ants"*  
(<http://www.softlab.ece.ntua.gr/~brensham/PainterAnts/>)

Nous présentons dans ce paragraphe quelques images prises avec le système dans de diverses configurations initiales des paramètres (fig. 2). Les agents, les bases et les autres objets sont transparents.

	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3
Ligne 1	Modèle sans contrainte dans un monde de couleur initiale saturée (bleu)	Modèle sans contrainte dans un monde de couleur initiale aléatoire	
Ligne 2	Modèle avec des limites dans un monde de couleur initiale aléatoire	Modèle auto-régulé dans un monde de couleur initiale aléatoire	
Ligne 3	Interaction de modèles	Modèle auto-régulé dans un monde de couleur initiale aléatoire	

Nous présentons également quelques observations qualitatives sur les résultats, qui appartiennent à la leçon de régulation que nous voulons enseigner :

Le modèle sans contrainte conduit à *l'épuisement* des couleurs du monde, c'est-à-dire à un monde tout noir (puisque les agents ramassent de couleur beaucoup plus fréquemment qu'ils en déposent). Les traces colorées qui apparaissent autour des bases sont les seuls témoins de complexité et se dissipent petit à petit.

Le modèle avec des limites donne des traces uniformes en couleur, mais il conduit lui aussi à *l'épuisement* des couleurs du monde comme le modèle précédent.

Le modèle auto-régulé donne des traces continues qui montrent des effets de gradation dus à la présence des facteurs proportionnels à la dynamique de la couleur et conduit à un *équilibre dynamique* de la couleur tel que la quantité totale de couleur (monde et agents) demeure constante.

Notons que dans les trois cas une couleur initiale aléatoire donne des résultats beaucoup plus intéressants qu'une couleur initiale saturée (une des sept couleurs de base), ce qui peut être expliqué comme un effet de la différence entre agents et monde : plus cette différence est grande, plus le tableau devient complexe et alors intéressant.

Notons également que ces effets sont légèrement amplifiés dans le cas du modèle coopératif au lieu du modèle égoïste par défaut : par exemple, le monde se noircit très rapidement pour le modèle sans ou avec contrainte et pour une couleur initiale saturée du monde.

Nous avons donc intérêt à adopter un modèle auto-régulé si nous voulons rester dans une condition d'équilibre dynamique, et ceci avec un modèle egoïste plutôt qu'un modèle coopératif, afin de retarder les effets évolutifs du système et le stabiliser. Les deux autres modèles, le modèle sans contrainte et le modèle avec des limites, donnent des résultats qui convergent vers une situation stable et uniforme (toute l'image devient noire).

Les variations paramétriques ainsi que la diversité au niveau du modèle induisent encore plus de complexité sur l'image du système par rapport au cas d'un système d'agents uniformes ou initialement identiques.

## 6. Conclusion

Nous avons présenté un outil pédagogique pour la vie artificielle destiné aux artistes, qui introduit une problématique selon laquelle la complexité se voit directement sur l'image du système comme une dynamique de couleurs qui induit de la variation. L'outil, surnommé PainterAnts, est basé sur un modèle de régulation de fourmis. Notre expérience avec ce système montre que les artistes apprennent à l'utiliser comme un outil artistique sans vraiment comprendre sa fonctionnalité. D'autre part, notre expérience révèle les points méthodologiques qui doivent être abordés avant d'essayer de généraliser le système.

## 7. Références

- Braitenberg, V. (1984) *Vehicles – Experiments in Synthetic Psychology*, Bradford/MIT Press.
- Dawkins, R. (1987) The evolution of evolvability, *Artificial Life, Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, Los Alamos, September 1987, Addison-Wesley Publishing, pp. 201-220.
- Drogoul, A. & Ferber, J. (1992) From Tom Thumb to the Dockers : Some experiments with foraging robots. *Proceedings Simulation of Adaptive Behavior 1992*, pp. 451-459.
- Steels, L. (1990) Towards a theory of emergent functionality. *Proceedings Simulation of Adaptive Behavior 1990*, 451-461.

- Tzafestas, E. (1995) *Vers une systématique des agents autonomes : Des cellules, des motivations et des perturbations*, Thèse de Doctorat, LAFORIA-IBP, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, LAFORIA TH96/05.
- Tzafestas, E. (1998) Tom Thumb robots revisited : Self-regulation as the basis of behavior, *Proceedings International Conference on Artificial Life VI*, San Diego, CA, June.

# Graphics & heuristics

Pek van ANDEL

*Medical Faculty, University of Groningen,  
Oostersingel 69-2, 9713 EZ Groningen,  
The Netherlands. E-mail: m.v.van.andel@med.rug.nl*

## 1. Can graphics have a crucial function in heuristics?

When heuristics is defined as the art of methodological investigation, which role do graphics play in that art, if they do? 'Method' comes from the Greek 'meta hodos', which means 'the way along which'. Are graphics one of the many ways along which an investigation can progress? If so, we must be find historical examples of graphics that played a role in the inspiration, discovery, invention, creation, development, evaluation, exposition or synthesis of scientific ideas. I collected eight cases of the different roles played by graphics in science, technique and art and enumerate them here in their (almost) historical order.

### 1.1. Example 1

The invention of classical two- and three-dimensional graphics, by René Descartes (1596-1650), is a school example of a synthesis, in this case between algebra and geometry: the result was the so called 'analytical geometry'.

In 1619 the 25-years-old Descartes travelled, as a soldier, through Holland, Germany and Poland, when he reputedly had a crucial insight that led to the birth of analytical geometry. According to one legend, the inspiration struck him one morning, in bed, as he watched a fly buzzing in the corner of his room. (Singer, 1962). He suddenly realized that the fly's position at any instant could be precisely defined by three numbers, representing the fly's perpendicular distances from the two walls and the ceiling. Generalizing from this, he recognized that any points in space

could similarly be defined by their numerical distances from arbitrarily defined lines or planes. These reference lines, since named Cartesian coordinates, in honor of Descartes of course, include the abscissa and the ordinate so well known to generations of mathematics students. Geometrical curves could now potentially be defined by numbers, as the paths traced by points as they moved with respect to the coordinates. This way Descartes had devised a means of uniting and integrating the previously separate mathematical disciplines of geometry, involving shapes, and algebra, involving numbers. This had soon tremendous practical applications. It did help for example astronomers to describe and calculate planetary orbits. Descartes complained earlier that mathematics lacked practical usefulness, so he had a special reason to feel pleased with his invention. By inventing analytical geometry alone he would have earned a place in the history of science. (Fancher, 1995)

### 1.2. Example 2.

Shows the role of graphics in the development of a scientific idea: the graphical procedure of a certain law can even anticipate the mathematical form of that same law. In 1621, two years after Descartes' invention of analytical geometry, the Dutch mathematician Snell (1591-1626), professor at Leiden (Holland), discovered his law in optics for the relationship between the path taken by a ray of light in crossing the boundary or surface of separation between two contacting substances and the refractive index of each. He discovered a simple graphical procedure for determining the direction of the refracted ray at a surface when the incident ray is given. The mathematical form of that law of refraction was announced by Descartes around sixteen years later. The account of Snell's law of refraction went unpublished, it captured attention only when the Dutch physicist Christiaan Huygens related Snell's finding in *Dioptrica* (1703). (*Enc. Brit.* 1977)

### 1.3. Example 3

Illustrates the role of graphics in inspiration. The drawing of a

figure inspired the German Kepler (1571-1630) to his discovery of three cosmographic laws, which made him the father of modern astronomy.

On 9 July 1595 Johannes Kepler was teaching at the protestant school in Graz, in Austria. He drew a figure on the blackboard for his class: a triangle between two circles, for quite different reasons. Then an idea suddenly struck him with such a force that he felt he was holding a key to the secret of creation in his hand. His well-known idea was, that the six spheres of Mercury, Venus, Earth, Mars, Jupiter and Saturnus are built within, between and around the five platonic solids. (Uranus, Neptune and Pluto were not yet discovered.)

Later on, his inspiration appeared false but it was so fruitful, that it helped Kepler to discover within 22 years his three astronomic laws.

#### *1.4. Example 4*

Shows the crucial role that graphics can play in a scientific discovery: not only a blackboard, but also photographic plates showed lines that did matter heuristically. In 1928, in Calcutta, the Indian physicist Raman (1888-1970) studied the scattering of light from benzene, toluene, et cetera, when on the photographic plates which he used, he saw wholly unexpected lines, which were the result of the breaking of quanta, the bundles of energy that make up light.

This way he discovered that when light is diffused through a transparent material, some of the light changes in wavelength after being scattered by molecules.

In 1930 he won the Nobel Prize for this discovery of the so called 'Raman effect'. (McClellan, 1941)

#### *1.5. Example 5*

Shows the heuristical role that graphics can play in the exposition of technical knowledge: a graphical tradition can also be fruitful when applied in a totally different domain. An electro-technical engineer had once the originality to use standard techniques to image electrical designs for the maps of the railways of London, when he designed the first new

schematic map of the London Underground. From 1931 onwards those stations were shown schematically. Before that year, underground maps showed stations exactly in their geographical positions. (Forty, 1986)

### 1.6. Example 6

Demonstrates that the process of drawing itself can be heuristically crucial. The first 'impossible tribar' that was invented by the Swedish Oscar Reutersvärd (1915-), who in 1934, bored at school, drew first six and then three cubicles around a star of David. He wrote how it exactly happened:

“On the secondary school I did not get mathematics and physics, but Latin and philosophy. During the lesson, while our Latin teacher gave well-wrought explanations about the Romans, their culture and social organisation, almost every student made scrawls in the margin of his Latin grammar. I tried to draw as regular as possible stars with four, five, six, seven or eight points. When I once elaborated a star with six points with a ring of six cubes, I discovered that those cubes formed a singular constellation. Driven by an inexplicable impulse I completed this configuration with three extra cubes to get the form of a triangle. I was bright enough to see that I had then drawn a paradoxal figure. After the lesson I showed it to a classmate, Jan Cornell, because he was my friend and had a gift for mathematics. He cried: “I have never seen such a thing. You must look in a mathematics encyclopaedia, it must contain something about such monstrous geometric figures!”

I ran to the big library of Stockholm, but I searched in vain examples of figures with such strange qualities.” (A summary of letters written by O. Reutersvärd to B. Ernst, my translation)

Later the impossible tribar was also found, not by surprise, but on purpose, and inspired by the Dutch artist M.C. Escher (1898-1971), by Roger Penrose and his father, independently from Reutersvärd, and published in the *British Journal of Psychology* (1956). (Ernst, 1986)



### 1.7. *Example 7*

The same well-known graphic artist M.C. Escher wrote about the intrinsic creative aspect of the process of drawing a graphic:

“I undergo a similar sensation each time I am designing a regular filling-in. It is then, as if it is not ‘me’, who determines the design, but as if the trifling little flat fields, on which I fumble and labour, have an own will, as if they are leading the movements of my hand.” (Escher, 1971, my translation)

### 1.8. *Example 8*

Two matching plots catalysed the correct evaluation and proof of the scientific guess that the moon must once have been hot. The physicist Jack Trombka described how it occurred during Apollo 15. Al Worden was running their remote-sensing experiment from the command module orbiting the moon. The experiment's purpose was to determine the chemical composition of the lunar surface by analysing how it radiates solar-excited X-rays back into space. It was two o'clock in the morning, and Trombka was plotting the data that he begun pouring in from his instruments. He began by plotting the concentrations of aluminum on the lunar surface. Glancing up from his work for a moment, he saw a plot just like the one he was working on, already finished and hanging in the front of the room. Astonished, Trombka cried out: “Who got our aluminum results before we did?”

In fact, what Trombka mistook for his own results were the results from another remote-sensing experiment, the laser altimeter, which had been measuring the altitudes of lunar surface features. That plot matched the one he had been drawing because - as had become suddenly clear - the composition of a lunar feature depended on its altitude. In particular, the higher the altitude of a feature, the higher its aluminum content. Suddenly, a central argument about the moon's history was resolved. After more than a century of debate about whether the moon had always been dead and

cold or had a history of heating and cooling, Trombka knew the answer: Lighter elements flow to the top of a landscape only if they are molten; therefore, the moon must once have been hot. From a scientific perspective, this discovery (which was amplified by the analysis of the heavier elements, which were concentrated in the lunar lowlands) had a major impact on astronomers' understanding of the whole solar system. For Jack Trombka, working in a discipline where progress usually comes in bits and pieces, it had been a unique moment of 'Eureka'. (Murray et al., 1990)

So far the eight selected examples. The relation between graphics and heuristics is of course not always as spectacular as in the last case. But these eight examples are all empirical illustrations of the different roles played by graphics in heuristics: the graphics formed several kinds of bridges from the known to the unknown, as inspiration (example 3), discovery (example 4), invention (example 6), creation (example 7), development (example 2), evaluation (example 8), exposition (example 5) and synthesis (example 1) of scientific, technical and artistic ideas. The examples show that graphics, like metaphors, are sometimes imaginative yet logical ways of using the familiar in order to discover what lies beyond the familiar. (Belth, 1977) They illustrate that graphics can help us to see in an unknown situation parallels with what is known. The eight cases show that graphics can enable us also to understand something unknown by imagining it in terms of something known.

Leonardo da Vinci (1452-1519) wrote: "Everybody who does not draw, does not observe." Perhaps we can rephrase it this now into: "Graphics did sometimes help to find something new."

## 2. References

- Belth, M. (1977) *The Process of Thinking*, David McKay Co, New York, p. 75.  
Enc. Brit. 1977, IX, p. 13, 299, 610.  
Ernst, B. (1986) *Het begoochelde oog*, Meulenhoff/Landshoff, Amsterdam, p. 77.  
Escher, M.C. (1971) *De Werelden van Escher*, Meulenhoff

- International, Amsterdam, p. 50.
- Fancher, R.E. (1995) *Pioneers of Psychology*, 3rd ed., W.W. Norton & Company, Inc. New York, London, pp. 9-10.
- Forty, A. (1986) The first of the new schematic maps. In Thames & Hudson (eds.), *Objects of Desire - Design and Society, 1750-1980*, London, p. 236.
- McClellan, F.C. (1986) *Scientific Monthly*, July 1941, p. 67.
- Murray, Ch., & Bly Cox, C. (1977) *Apollo, the race to the moon*, Touchstone Book, Simon & Schuster, pp. 451-452.
- Singer, Ch. (1962) *A Short History of Scientific Ideas to 1900*, London: Oxford University Press, p. 226.



