

BULLETIN N° 106
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 13 juin 2006

**Conférence de Notre Collègue le Pr. Hervé AUBERT
de l'INPT-ENSEEIH de Toulouse :**

***"Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples
- Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection"***

Prochaine séance : le Mardi 12 septembre 2006

Conférence de notre Collègue Saadi LAHLOU :

***"Représentations, cognition, technique.
Le double mécanisme de l'évolution culturelle"***

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Michel GONDRAN
SECRETAIRE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
SECRETAIRE GENERAL ADJOINT : Noëlle CAGNARD
TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen René DARS
PRESIDENT DE LA SECTION DE NANCY : Pierre NABET

PRESIDENT FONDATEUR
 DOCTEUR Lucien LEVY (†).
PRESIDENT D'HONNEUR
 Gilbert BELAUBRE
SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS

Juin 2006

N°106

TABLE DES MATIERES

- P.3 Compte-rendu de la séance du 13 juin 2006 avec la conférence par notre Collègue le Pr. Hervé AUBERT, « modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples – Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection »
 P.5 Compte-rendu de la section Nice-Côte d'Azur du 20 avril 2006
 P. 8 Documents :

Prochaine séance : Mardi 12 septembre 2006
 MSH, salle 215 à 18h
Conférence de Notre Collègue Saadi LAHLOU :
«Représentations, cognition, technique.
Le double mécanisme de l'évolution culturelle ''

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du
Mardi 13 juin 2006

Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, salle 215, à 18 h.

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Michel GONDRAN et en présence de nos collègues, Gilbert BELAUBRE, Bruno BLONDEL, Noëlle CAGNARD, Alain CARDON, Jean Pierre FRANCOISE, Manuel GALAN, Irène HERPE-LITWIN, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS, Victor MASTRANGELO,

Etaient excusés : Gilles COHEN-TANNOUDJI, Françoise DUTHEIL, Marie Louise LABAT, Gérard LEVY

I) Informations générales

Notre collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI nous transmet les deux informations suivantes :

- Le 28 mars 2007, aura lieu à la BNF une rencontre sur « La Plasticité, structure et évolution »
- Il est possible de commander auprès de l'IN2P3 les DVD du dernier « Physique et Conscience »

Notre Président, Michel GONDRAN nous fait part de la candidature d'un collègue de travail, Saadi LAHLOU, âgé de 46 ans qui travaille dans le service de Recherche et Développement d'EDF dans le service « Modélisation et Technologies de l'Information » en temps que chef du laboratoire de Design cognitif. Il enseigne également à l'EHESS dans le Laboratoire de Psychologie sociale.. Il est également auteur d'un ouvrage, « Penser manger. L'alimentation et les Représentations sociales » publié au PUF. Des documents présents dans ce bulletin donnent une image de ses recherches.

Soumise au vote la candidature de ce dernier est acceptée à l'unanimité des votants.

II) Cérémonie en l'honneur de la remise de la médaille d'officier de la
Légion d'Honneur à Benoît MANDELBROT

Le général Xavier MICHEL, Directeur Général de l'Ecole Polytechnique nous informe du fait que le 11 septembre prochain, à 16h30 à l'Ecole Polytechnique (amphi GAY-LUSSAC) le Sénateur Pierre Laffitte Ingénieur Général des Mines de la promotion 1944 remettra à Benoît MANDELBROT, issu de la même promotion les Insignes d'Officier de la Légion d'Honneur.

Cette cérémonie sera marquée par des interventions de MM. J.-P.KAHANE, Membre de l'Académie des Sciences (mathématiques), J.-P. TAÏEB (Economie) et B.SAPOVAL (Physique), et de B. MANDELBROT.

III) Parution de l'ouvrage « Irruption des géométries fractales » à la suite du colloque de novembre 2004 « Fractales en progrès »

A la suite du congrès organisé par l'Académie Interdisciplinaire (AEIS), l'ensemble des communications du congrès a été édité dans un ouvrage qui fait le point sur les développements des fractales dans tous les domaines scientifiques, sous le titre « **L'Irruption des géométries fractales dans les sciences** ». Ce livre sortira de presses le 5 septembre et sera présenté le 11 septembre.

Cet ouvrage d'environ 350 pages, comportant 20 articles sera commercialisé au prix de 25€ pour le public et de 20€ pour les membres de l'AEIS

IV) Conférence de notre collègue Hervé AUBERT « Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples– Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection »

Le Pr. AUBERT a essayé dans sa conférence de nous faire saisir la problématique de la multiplicité des échelles électromagnétiques pour la construction des systèmes de détection :

- structures manufacturées à échelles multiples comme par exemple :des circuits intégrés à haute échelle d'intégration entraînant des couplages électromagnétiques entre composants à petite échelle
- structures naturelles à échelles multiples¹ étudiées en envoyant un signal et en captant l'onde réfléchie. Les transformations en ondelettes permettant alors de déterminer la dimension fractale d'un sol.

Il nous a exposé dans ce cadre :

- la technique par changement d'échelle et les applications
- les filtres et les antennes présentant de multiples échelles
- l'analyse en ondelettes et le problème électromagnétique inverse
- les perspectives dans l'analyse électromagnétique multi-échelle

Pour une vision plus détaillée, nous vous conseillons de vous reporter à l'article d'Hervé AUBERT et à celui de Alain ARNEODO et Pierre KESTENER paru dans le bulletin n°105 de l'AEIS (mai 2006).

Après cette dernière information, la séance est levée à 20 heures.

Bien amicalement à vous,

Irène HERPE-LITWIN

¹ Structures fractales décrites notamment par B. MANDELBROT

Compte -Rendu de la Section Nice-Côte d'Azur

Le savoir est le seul bien qui s'accroisse à le partager. Comprendre est bien sans limite qui apporte une joie parfaite.

Baruch SPINOZA (1632-1677)

Compte-rendu de la séance du 18 mai 2006

(94^{ème} séance)

Présents :

Sonia Chakhoff, Pierre Couillet, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Thierry Gontier, Gérard Iooss, Jean-François Mattéi, Jacques Wolgensinger.

Excusés :

Jean Aubouin, Alain Bernard, René Blanchet, Emile Girard, Jean-Paul Goux, Yves Ignazi, Michel Lazdunski, Daniel Nahon, Maurice Papo.

1- Approbation du compte-rendu de la 93^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Le mois écoulé.

a) Le mot de la Trésorière :

Notre budget 2006 permet d'assurer l'édition du 6^{ème} colloque, mais nous n'avons guère de marge de manœuvre.

Le Président a obtenu un rendez-vous le 20 juin 2006 avec M. Barthe, adjoint au Maire pour la Culture, pour lui présenter ce dernier ouvrage et nos projets pour 2006 au C.U.M. (colloque en décembre et cycle d'économie) et lui demander un complément d'aide pour 2006-2007.

En effet, les démarches que nous avons entreprises auprès du Conseil Général et de l'Assemblée Régionale n'ont eu aucun succès, malgré l'aide de notre confrère Sacha Sosno.

b) Jean-François Mattéi est revenu très impressionné de son dernier voyage en Chine. Le développement de ce pays est prodigieux puisque, par exemple, 75 % des produits manufacturés du monde sont désormais fabriqués en Chine et qu'un building de 80 étages est achevé tous les jours à Shangäi.

Mais ceci se fait sous la férule d'un capitalisme sauvage auprès duquel celui des Etats-Unis est d'une grande douceur. Il n'y a aucun garde-fou, aucune protection sociale. Curieusement, beaucoup de ces bureaux luxueux sont vides et les logements trop chers pour être occupés. Quant à la campagne, c'est toujours la même misère.

Il y a donc une minorité de gens devenus très riches (mais elle représente environ 50 millions de personnes sur plus d'un milliard) et le contrôle de la population par le Parti Communiste est aussi sévère.

Les Chinois ont décidé de limiter le nombre d'automobiles à 20 millions car s'ils devaient en avoir la même proportion qu'en France, la production mondiale de fer ne pourrait pas suffire.

Pour ce qui est du Canada c'est, selon l'Unesco, probablement actuellement le pays le plus développé du monde pour la qualité de vie et la protection sociale.

c) Pierre Coulet nous entretient du projet de la « Fête de la Science 2006 », placé sous la responsabilité de Jean-Marc Chneider. Il n'y a encore rien de précis si ce n'est un effort particulier vers les collégiens.

Actuellement, 70 % des élèves issus du primaire déclarent ne plus vouloir jamais entendre parler de « Science ». Ce pourcentage atteint 90 % pour le secondaire.

Mais la plupart des maîtres d'école ont pour formation : langues, langues modernes, psychologie et autres orientations littéraires et après une année de formation surtout théorique par l'IUFM, ils sont envoyés dans les classes.

Actuellement, sur les 800 000 heures de formation continue des écoles, seulement 2 % sont consacrées aux sciences.

A partir du moment où on a supprimé les Ecoles normales, l'Université s'est totalement désintéressée de la formation des maîtres.

On ne peut donc pas demander à ces maîtres mal formés d'éveiller leurs élèves à des disciplines scientifiques qu'ils ignorent ou n'aiment pas.

En Finlande, qui est devenu un modèle pour la formation des élèves, il n'y a pas de programme strict par années, mais, au contraire, une liberté d'enseigner, des classes hétérogènes et le libre choix des écoles pour les parents.

Beaucoup de maîtres d'école ont choisi ce métier par défaut et constituent une corporation refermée sur elle-même, n'acceptant ni de se juger ni d'être jugée.

Les futurs maîtres d'école devraient donc suivre un enseignement pluridisciplinaire conçu et limité en fonction du but à atteindre.

d) Jean-Pierre Delmont est allé visiter l'Andalousie sur les traces de l'initiative de Garaudy qui voulait rapprocher les cultures occidentale et arabe à Séville. La participation de ce dernier fut confidentielle bien que ce soit sur ces lieux que l'on trouve les preuves les plus manifestes de la culture arabe.

3- Anniversaire de la mort de Robert Hooke.

Pierre Coulet envisage d'organiser à Nice, avec l'Institut Robert Hooke qu'il dirige et la « Royal Society » de Londres, un grand événement à l'occasion du 300^{ème} anniversaire de la mort de Robert Hooke.

Robert Hooke a, entre autres, rédigé un ouvrage intitulé « Micrographia » très lu au 17^{ème} siècle. Il avait notablement amélioré le microscope et l'on trouve dans cet ouvrage les dessins de petits insectes (poux, puces, moryons, etc.) que personne n'avait décrits avant lui. Il a perfectionné la lunette astronomique et rédigé aussi un ouvrage d'astronomie où, entre deux planches, il fait de nombreuses réflexions sur la lumière, le mouvement, la gravitation. La plupart des grands savants de son époque comme Newton, Huyghens, se sont inspirés de Robert Hooke.

Documents

A l'occasion de la présentation de notre nouveau collègue sur les problèmes de cognition, nous vous proposons un article résumant sa conférence et deux autres articles l'un de notre collègue, l'autre se référant aux travaux de celui-ci

P . 9 : « Représentations, cognition, technique. Le double mécanisme de l'évolution culturelle »
par Saadi LAHLOU

P . 11 : «Les systèmes et niveaux de détermination du comportement alimentaires.» par Saadi
LAHLOU

P. 20 : « Éléments pour une modélisation du concept d'affordance » par Thierry MORINEAU du
laboratoire du GRESICO-Université de Bretagne-Sud

Par ailleurs, notre collègue Pierre NABET, Président de la Section de NANCY, Professeur de Biochimie à la faculté de Médecine de Nancy, nous a envoyé le texte d'une très intéressante conférence sur l'incidence du Darwinisme sur le déterminisme génétique :

P. 34 : Conférence sur le Darwinisme en 2006

Représentations, cognition, technique. Le double mécanisme de l'évolution culturelle.

Saadi Lahlou

Directeur de Recherches CNRS Associé, EHESS-CNRS/IIAE-Centre d'Etudes
Transdisciplinaires

Chef du Laboratoire de Design Cognitif, EDF R&D

Les représentations, structures qui servent à interpréter les situations, habitent les populations humaines et constituent des quasi-espèces vivantes. En un sens, les représentations sont une sorte de flore symbolique, symbiotique de l'homme, qui lui permet d'exploiter son environnement, au même titre que la flore intestinale lui permet de digérer ses aliments.

Cependant le cycle de reproduction des représentations diffère profondément de ceux des organismes vivants. Ce mécanisme ne peut être décrit que de manière interdisciplinaire, car il comprend deux cycles appariés, l'un psychologique, et l'autre économique.

On présentera le double mécanisme évolutif des représentations, la manière dont il permet de s'échapper aux limites de l'évolution strictement biologique avec la technologie, et ainsi de construire, progressivement, des civilisations complexes utilisant un grand nombre d'artefacts culturels.

Les populations humaines hébergent, comme on peut aisément le constater, des populations de représentations similaires : par exemple chaque individu dispose de sa propre représentation de l'objet « chapeau », qui présente de grandes similarités avec la représentation de « chapeau » des autres individus de sa culture. On appelle ces populations des « représentations sociales ». Les représentations ne sont pas innées, elles sont apprises, par exemple d'une part par contact avec d'autres humains, d'autre part par contact avec des chapeaux. Humains, représentations de chapeaux et chapeaux physiques sont pris dans une relation triangulaire : les humains fabriquent des chapeaux à partir de leurs représentations de chapeaux, les chapeaux produisent des représentations de chapeaux chez les humains, les représentations de chapeaux produisent des représentations de chapeaux chez les autres humains.

Comme les virus, les représentations se reproduisent à travers leurs hôtes, et se transmettent d'hôte à hôte. Mais leur cycle de reproduction est double. Sous forme pensée (dans les humains) les représentations peuvent se reproduire par la communication ou l'imitation, mais également se combiner pour produire des variétés nouvelles (créativité). Dans cet écosystème elles obéissent à des lois psychologiques.

Mais les représentations existent également sous forme réifiée, dans la mesure où les humains produisent des objets et des situations à leur image. Par exemple, les chapeaux sont construits à partir de représentations de chapeau. Réciproquement, les représentations de chapeau sont construites en rapport avec les chapeaux matérielles. Dans cet écosystème, les artefacts obéissent à des lois physiques, économiques, et techniques.

Il existe donc, d'une part, un double cycle de reproduction (de représentation pensée à représentation pensée; de représentation réifiée à représentation réifiée). D'autre part, les représentations pensées et les représentations réifiées sont dans un rapport dual, celui de la vie quotidienne, qui assure la correspondance entre la structure de leur forme réifiée et de leur forme pensée. En effet, les représentations ont pour fonction de tenir lieu des objets dans l'esprit pour agir dessus ; il y a donc une forte pression évolutive à la qualité opérationnelle de cette correspondance. A chaque nouvelle génération, la représentation subit des modifications pour que la représentation pensée et l'objet se correspondent : les objets et les représentations co-évoluent.

Par rapport à l'évolution biologique régie par la sélection darwinienne, l'évolution des représentations possède l'avantage de pouvoir se produire, sous forme pensée, de manière dirigée, notamment pour résoudre des problèmes techniques. On peut ainsi combiner délibérément des propriétés pour créer un objet adapté à des circonstances particulières. Par exemple, un chapeau suffisamment résistant pour protéger de l'impact d'objets lourds (« casque »). Ainsi, non seulement l'évolution des représentations est Lamarckienne au sens où elles héritent des caractères acquis par l'expérience, mais aussi elle est prospective au sens où elle peut être guidée par une confrontation hypothétique à une situation anticipée. Ces caractéristiques expliquent la rapidité stupéfiante de l'évolution récente des cultures humaines et la manière dont l'Homme a modifié sa niche écologique.

La recherche sur les représentations sociales a maintenant près d'un demi-siècle d'histoire, à la suite des travaux séminaux de Moscovici. Les psychologues sociaux ont mis au point, notamment à la suite des travaux d'Abric, des méthodes solides pour décrire, à partir d'investigations statistiques et de tests, la structure des représentations et leurs variations au sein des populations humaines, ainsi que leur évolution en lien avec les pratiques.

On évoquera ces techniques, ainsi que de nouvelles approches pour examiner finement comment se produit le couplage entre le sujet et son environnement en situation naturelle. On verra ainsi que la culture comprend un système très étendu de guidage des sujets, utilisant l'inscription des représentations sous forme symbolique ou matérielle. Ce système d'inscription nous permet d'exécuter individuellement des comportements complexes avec un faible effort cognitif, et d'opérer une division du travail à grande échelle.

On évoquera également comment nous nous sommes inspirés de ce double cycle évolutif pour mettre en place de nouvelles formes de conception et de développement plus efficaces dans un grand groupe industriel.

Les systèmes et niveaux de détermination du comportement alimentaires.

Determination systems and levels of eating behaviour

Saadi Lahlou, CNRS-EHESS.

Résumé : Les comportements alimentaires sont régis *à la fois* par des systèmes physiologiques, psychologiques, techniques, sociaux, économiques. En pratique, les sujets gèrent la complexité de ces déterminants multiples en suivant des routines techniques et mentales, qui intègrent progressivement les résultats de l'expérience. Les représentations sociales sont une forme particulièrement importante de transmission et de guidage du comportement, elles sont une sorte de mode d'emploi des objets du monde. Pour modifier les comportements, il faut agir simultanément sur tous ces niveaux de détermination pour aménager des voies nouvelles, et cela ne peut se faire qu'en collaboration avec l'ensemble des parties prenantes.

Abstract : Eating behaviours are ruled *simultaneously* by physiological; psychological, technical, social, and economic systems. In practice, human subjects manage the complexity of these multiple determinants by following mental and technical routines, which progressively incorporate the results of experience. Social representations are a key mode of transmission and guidance of behaviour; a kind of user's manual of everyday objects. To modify behaviour, one has to act simultaneously upon all levels of determination in order to open new behavioural paths, and this can be done only in collaborative process involving all stakeholders.

Pourquoi mange-t-on ce que l'on mange ?

Manger, comme toute activité humaine peut être considéré à plusieurs niveaux ; depuis les plus élevés comme le raisonnement, où l'activité, consciente et volontaire, mobilise des représentations, jusqu'aux plus végétatifs, comme la digestion ou le métabolisme cellulaire.

Plus généralement, le comportement est régi et guidé, *à la fois*, par plusieurs systèmes de détermination. Ces systèmes coexistent, se complètent, voire s'opposent, pour produire le comportement ; le sujet les utilise de manière continue et opportune. Se limiter à un seul aspect, par exemple physiologique, psychologique, technique, social, ou économique, est insuffisant pour prévoir et expliquer le comportement réel. Nous ne devons donc pas opposer les différentes approches, mais bien les juxtaposer.

Par exemple, lorsque je déguste un vin fin dans un grand restaurant avec des amis, je suis, certes mû par mes intentions et mon but (passer un moment de convivialité exceptionnelle avec des personnes qui me sont chères). Je suis aussi participant, depuis l'accueil à l'entrée jusqu'au don du pourboire, d'un système socio-technique avec lequel j'interagis conformément à des règles et des conventions sociales suivant un *script* [12] ritualisé. Je suis également animé de mouvements musculaires volontaires et réflexes, par exemple pour manier les couverts ou déglutir, maintenu vivant par mon activité métabolique qui m'envoie d'ailleurs en permanence des signaux sur mon niveau de satiété et d'ébriété.

Pour comprendre le choix de mon vin sur la carte parmi cinquante, le système de détermination nutritionnel est moins pertinent que le système de détermination socio-culturel, et inversement pour évaluer la quantité de dessert que je vais ingérer.

Dans l'exécution pratique du comportement, les différents aspects de détermination se fondent dans l'action : quand je lève mon verre, ou que je mâche le vin avec ostentation, j'exprime par quelques contractions musculaires des signaux sociaux qui réfèrent à des valeurs de haut niveau: le respect du prestige et du travail bien fait, l'importance du plaisir compte tenu de la brièveté de la vie, etc.

Les différents niveaux ou aspects suivant lesquels on peut considérer une activité ne sont pas indépendants. Ils sont plus ou moins enchâssés. A l'échelle microscopique, c'est bien d'activité cellulaire que se composent tous les comportements d'un individu: même le plus théorique des discours mobilise les muscles de la langue. D'ailleurs, pour le physiologiste ou le neurologue, le « sujet » humain est implicitement considéré comme une vaste colonie cellulaire et les phénomènes rapportés par ce sujet au niveau phénoménologique (faim, soif, plaisir, goût etc.) sont décrits comme l'action de populations cellulaires.

Mais, d'une part, la complexité du système exclut, avec les moyens techniques actuels, de décrire à l'échelle cellulaire les phénomènes du sens commun (par exemple, composer le menu d'un dîner entre amis). D'autre part il semble exister, empiriquement, une certaine autonomie des niveaux. Par exemple, ce sont bien des objets du « sens commun » (donc, des objets symboliques de haut niveau) que considèrent les sujets dans leur raisonnement conscient. Les règles sociales, et les intentions humaines existent dans un espace où le niveau cellulaire n'est pas pertinent. La différence entre un repas dans une cafétéria d'autoroute et dans un restaurant à la mode, au niveau des processus de digestion, n'est pas évidente. Par contre, le vécu et le prix sont sans comparaison ; ce qui fait la différence se trouve d'abord au niveau symbolique des représentations que le sujet s'en fait, et des conventions sur ce qu'est « un bon repas ». C'est d'ailleurs le niveau symbolique que le sujet utilisera pour décrire son activité lorsqu'on l'interroge. Il s'est créé des logiques explicatives à ce niveau, logiques qui sont suffisamment efficaces pour lui permettre de prédire le comportement des autres personnes dans la vie quotidienne. C'est aussi à ce niveau que seront exprimées des contraintes explicites comme les lois, ou les règles ; c'est à ce niveau que les humains communiquent entre eux. Un menu n'est écrit ni en jargon de neurosciences ni de nutrition.

Il est donc bien nécessaire de considérer le comportement sous ces différentes perspectives *à la fois*, et l'une n'exclut pas l'autre. Les différents aspects évoqués par nos collègues dans ce numéro participent tous, d'un certain point de vue, à la construction du comportement global que nous observons. C'est difficile à concilier pour nous autres scientifiques qui analysons le monde en privilégiant point de vue de notre discipline. Heureusement, les mangeurs ordinaires ne semblent pas éprouver de difficulté particulière à utiliser simultanément leur système nerveux, leur système digestif et leur système socio-économique dans le cours de leur vie de relation. Ils gèrent à la fois plusieurs systèmes de contraintes d'une grande complexité ; leur organisme est précisément une machine à intégrer et concilier les impératifs du sujet et les contraintes du contexte.

L'activité est la résultante, émergente et localement construite en fonction des situations rencontrées:

- d'une part d'une intention du sujet, qui cherche à atteindre des états internes qui lui procurent une satisfaction (motifs) ou produire des états du monde qu'il se représente de manière anticipée (buts) ; par exemple : manger des marrons grillés.
- d'autre part des réponses que l'environnement retourne aux explorations du sujet (affordances, initiatives ou réactions des autres sujets...) : pas de marchands de marrons le 15 août à Trouville, juste des glaces ou des crêpes.

La persistance des intentions du sujet corrige en permanence la trajectoire obtenue en fonction des réactions du contexte, pour tendre vers le but ou modifier ce dernier. Les « affordances » du contexte, c'est-à-dire ce que l'environnement offre au sujet comme activités potentielles [5], limitent

ou au contraire permettent certaines trajectoires. Dans la pratique, nous ne disposons que de modèles partiels décrivant l'activité à un niveau ou d'un point de vue particulier (physique, psychologique, technique, social, etc.). Pour déterminer une activité, on doit donc résoudre simultanément le système des trajectoires dans *chacun* des domaines considérés.

On peut analyser les comportements en examinant uniquement l'influence des besoins physiologiques, en l'occurrence la faim, la soif, et plus généralement l'expression des besoins métaboliques de l'organisme. La problématique de la régulation qui en découle à court et moyen terme est complexe, comme chacun sait, puisque rentrent en ligne de compte dans le métabolisme à la fois le patrimoine génétique, la position dans le cycle de vie, les formes de dépense énergétique, l'historique récent en termes de prise... [4].

On peut également analyser l'influence des contraintes qui limitent les comportements alimentaires possibles, et en particulier les contraintes socio-économiques qui limitent le sujet ou son ménage en matière de ressources financières ou de disponibilité des marchandises dans son bassin de chalandise, et qui l'amènent à faire des arbitrages entre produits dans son approvisionnement en vivres [2]. De cet ordre également sont les contraintes domestiques ou technico-culinaires qui limitent les possibilités de suivi d'un régime par exemple [8]. Ces aspects déterminent en amont les produits qui auront une chance de pénétrer dans le temple sacré du corps du sujet pour y subir une transformation ultime dans son système digestif.

Ces aspects sont primordiaux. A l'énoncé de ce qui vient d'être décrit comme systèmes de détermination, on imagine combien la tâche de prendre en compte simultanément tous ces facteurs pour réaliser un comportement adapté sur le long terme, à la fois sur les plans organique, technique, économique etc. est complexe. Comment un sujet y parvient-il ?

En fait, dans nos sociétés, il n'y parvient pas, ou plus exactement il n'y parvient ni tout seul, et ni tout de suite. Au quotidien, il suit plutôt un certain nombre de routines mentales et motrices, qui sont la répétition un peu mécanique de solutions « qui marchent » que le sujet a découvertes par lui-même ou apprises des autres. Nous entrons ici dans le champ de détermination psychologique, qui est essentiellement lié à notre qualité d'animaux apprenants et sociaux.

Le plaisir joue un rôle primordial dans la constitution et la répétition de ces déterminants psychologiques [1]. Une activité qui aboutit à produire du plaisir, ou à réduire le déplaisir, devient désirable en soi par le mécanisme associatif du conditionnement. C'est ainsi que les sujets vont apprendre des routines ou des représentations efficaces. Ces sont ces représentations et ces pratiques qui organisent le cadre général dans lequel les autres systèmes de régulation interviendront à la marge. Au quotidien, le sujet ne cherche donc pas constamment à résoudre *de novo* les problèmes complexes d'optimisation alimentaire qui se posent à lui, il applique autant que possible des routines éprouvées, ce qui est bien plus facile et économique. Cet aspect explique d'ailleurs pourquoi il est difficile de changer les pratiques par le discours, puisque nous ne nous adressons pas à un sujet rationnel, mais plutôt à un organisme empiriste.

Les déterminants psychologiques

Dans les pays développés, le besoin alimentaire est globalement satisfait. La sensation de faim est devenue rare, tout au plus ressentons-nous de l'appétit. C'est que précisément nous avons mis en place des routines de repas qui anticipent la faim. De même, les portions qui sont servies à un repas correspondent-elles plus ou moins à ce qu'un individu normal doit ingérer pour être repu. Les repas eux-mêmes ont une composition qui, même si elle s'éloigne un peu des apports recommandés, fournit une réponse relativement acceptable aux besoins organiques. Plus généralement, il existe tout un système de production, de transformation et de logistique, la chaîne de transformation alimentaire [7] qui nous met à disposition, à une distance et un coût raisonnables, un assortiment de produits qui satisfont à la fois nos besoins énergétiques et notre pulsion de ramassage de chasseur-cueilleur. Nos logements sont conçus et équipés de manière à fournir un espace pour le stockage et la préparation des aliments ; et la société elle-même est organisée pour ménager des pauses destinées à favoriser l'acte alimentaire, notamment à midi.

Autrement dit, l'homme ne se nourrit pas sur une *tabula rasa*, mais bien sur une *tabula ad caenam apparatus* (une table dressée pour le repas) qui lui a été préparée par la culture. Pour savoir se tenir à cette table, il faut des compétences d'interprétation de cette situation socialement construite. Or, de même que notre monde physique est aménagé de manière à faciliter la vie et à satisfaire nos besoins sans trop d'effort en s'appuyant sur une vaste coopération qui va « de la fourche à la fourchette », de même notre monde mental est aménagé de manière à connaître le mode d'emploi des choses : en particulier ce qui se mange et comment on le mange.

C'est dans cette encyclopédie des représentations que nous allons puiser les modèles qui guident nos comportements. C'est la manière dont y sont décrits les objets du monde qui fera que nous en userons de telle ou telle manière. Cette encyclopédie n'est pas absolue : c'est une construction sociale, historiquement et géographiquement située, qui nous a été léguée par nos pères. Dans certaines versions, par exemple, le cheval, le lapin, la grenouille, les escargots, sont mangeables mais pas les abeilles ni les chiens. Nous héritons de cette encyclopédie de représentations et de pratiques, et nous l'apprenons avec la langue et l'éducation [7].

Pour chacun d'entre nous, d'un point de vue subjectif, la construction du monde commence à la naissance (en fait même un peu avant). Mais nous n'arrivons pas dans un monde vide. Chacun d'entre nous vient au monde tel un personnage qui arrive dans une histoire déjà en cours – une histoire dont d'ailleurs il ne verra pas la fin non plus. Le monde ne nous appartient pas, il est déjà peuplé. L'encyclopédie des représentations fixe des règles qui permettent la coopération. C'est parce que ces règles sont partagées que le monde est vivable. Vivre conformément à nos représentations mentales n'est donc pas seulement une facilité qui nous donne un mode d'emploi du monde et nous permet d'utiliser les équipements installés et les conventions en cours ; c'est aussi une obligation sociale pour que nos comportements soient prévisibles par les autres et cohérents avec une utilisation durable du monde. Par exemple, pour bien se tenir à table.

C'est à travers le niveau psychologique que les représentations agissent. Elles orientent les intentions du sujet et c'est en termes de représentations qu'il se représente ses buts. Par exemple, je me dis « je vais me faire un petit sandwich au pâté », et non pas « je vais préparer un composite de graisses et de protéines animales étalé sur une plaque obtenue par cuisson de céréales broyées et de levure ». Rappelons, si nécessaire, que ces représentations ne se substituent pas aux mécanismes physiologiques, elles s'y ajoutent ; de même que l'apprentissage du tango et de la valse ne supprime pas le réflexe tendineux rotulien. Ce que voit arriver mon estomac d'un point de vue digestif est bien un bol alimentaire contenant les dites protéines animales.

Les représentations sociales

Les représentations sont ce qui tient lieu des objets dans l'esprit. Sur le plan individuel, elles prennent la forme de représentation mentale ; c'est la manière un individu perçoit un objet (au sens large). Cette représentation lui permet de se comporter vis-à-vis de l'objet de manière culturellement

pertinente au cours des pratiques quotidiennes et des communications. La représentation du pain guide nos comportements vis-à-vis des pains et nos discours, la représentation du goûter guide notre comportement vis-à-vis des goûters, etc. Chaque représentation mentale individuelle est unique, construite par les apprentissages particuliers de l'individu particulier au cours de son expérience particulière. Cette construction est médiatisée par le langage, au cours de la communication ou de la réflexion intérieure.

Pour chaque objet par exemple « pain », ou « obésité », chaque individu héberge donc sa petite représentations mentale personnelle individuelle de l'objet en question. Alors, les populations humaines hébergent des populations de représentations individuelles que l'on appelle *représentations sociales* [11].

Prenons comme illustration le cas du beurre. Chacun sait ce qu'est le beurre et en a une représentation. Les populations humaines hébergent donc des populations de représentations individuelles de « beurre », qui varient d'ailleurs selon les cultures. Une représentation sociale, c'est une population de représentations individuelles. Elle se comporte comme un tout, car les représentations individuelles, un peu comme les espèces animales, se reproduisent les unes à partir des autres, par la transmission, l'enseignement, l'expérience commune [7]. Les individus humains ne vivent pas isolés. L'expérience de chacun est indissociable de l'expérience collective et la construction des représentations est un processus socialisé, qui intervient lors de l'apprentissage au contact des pairs, des maîtres, des médias. Quand deux individus discutent ou agissent ensemble, leurs représentations se croisent, se renforcent, ou se modifient réciproquement. C'est cette interdépendance reproductrice entre les membres de la population qui fait la différence entre une représentation sociale et une cognition sociale ou une simple collection d'objets, et la rapproche d'une espèce vivante.

En tant que population (c'est-à-dire ensemble d'individus du même type), elles acquièrent par leur distribution sur les humains porteurs une certaine autonomie par rapport à un porteur particulier. Même si l'un des humains meurt, le savoir peut perdurer, transmis et distribué sur une population plus large qui, en général, ne meurt pas toute en même temps. Par ailleurs, dans la mesure où elles peuvent exister à l'extérieur des humains sous forme réifiée susceptible de redémarrer un cycle de reproduction ultérieur (par exemple sous forme de document, d'artefact, etc., qui jouent le même rôle que les spores des virus) on peut les considérer comme une espèce autonome. C'est pour cela que nous parlons de représentation *sociale*.

Un examen même superficiel montre que les populations humaines hébergent non seulement des populations de représentations du beurre aussi des collections matérielles de paquets ou de mottes de beurre. En l'occurrence, elles ont tendance à les manger, précisément en suivant les indications culinaires ou diététiques fournies par les représentations. Cela nous rappelle que les représentations ne sont pas un but en soi, mais une médiation pour l'action sur le réel et qu'elles renvoient à des objets ou des situations du monde quotidien.

Les représentations et les pratiques sont de deux types, qui sont d'ailleurs en continuité. Le premier type est celui des représentations personnelles, celles que le sujet s'est construites au cours de sa propre expérience. Lorsqu'une solution satisfaisante a été trouvée, qui permet de concilier les différents domaines de contrainte (physiologique, technique, économique etc.) l'individu la conserve et aura tendance à la réutiliser de préférence à toute autre dans une situation analogue. Par exemple, l'hôte aura tendance à choisir de préparer des recettes qu'il sait bien faire quand il a des invités importants. Une des principales raisons invoquées par les consommateurs dans le choix des produits est qu'ils les connaissent déjà pour les avoir essayés [7].

Le second type est celui des représentations sociales et des pratiques sociales. Celles-ci sont validées, institutionnalisées, par la collectivité. Elles sont donc considérées comme a priori valides par le sujet. C'est ce qui explique qu'un sujet prendra le risque de préparer une recette qui lui a été donnée ou lue dans un livre de cuisine, par exemple.

On voit bien la continuité entre les deux types : les représentations sociales sont issues de représentations individuelles qui ont connu un succès de diffusion collectif ; réciproquement la

plupart des représentations individuelles sont des variantes locales ou des combinaisons de représentations sociales antérieures.

Pour résumer, le sujet moderne qui se nourrit se sert des produits et équipements disponibles en les arrangeant conformément à un corpus de représentations sociales qui sont autant de manières d'identifier les produits et de les utiliser. Il se construit ses petites routines particulières en fonction de ses spécificités et contraintes propres, un peu comme chacun adapte les recettes traditionnelles en fonction de son four et des ingrédients locaux.

Représentations sociales et jeux d'acteurs

Les représentations sociales sont alors un enjeu considérable pour les parties intéressées à influencer le comportement des individus, puisqu'elles contribuent à déterminer la manière dont l'objet est perçu et utilisé. Prenons quelques exemples pour illustrer le rôle des représentations sociales dans la détermination des choix alimentaires.

Un premier exemple concerne le statut du Cheval (*Equus caballus*), et du Lapin (*Oryctolagus cuniculus*) en France. Ces deux animaux passent progressivement du statut d'aliment à celui d'animal de compagnie non comestible. La désaffection du Cheval en tant qu'aliment s'explique par des raisons économiques, notamment la disparition du cheptel qui produisait du cheval de réforme. Là les représentations ont suivi les pratiques. Le Cheval est maintenant essentiellement considéré comme un animal de monte. Dans d'autres lieux, comme au Kirgizistan, le Cheval est une viande de choix. Le cas du Lapin, remarquablement étudié par M. Merdji [10], montre un cas inverse où la modification de la représentation, notamment à travers les peluches et les dessins animés, transforme graduellement le lapin en animal de compagnie, trop proche pour être comestible. Les jeunes consommateurs en particulier sont de plus en plus nombreux à exprimer un dégoût à l'idée de le manger. La filière cunicole s'émeut naturellement de ce fait, et cherche à promouvoir la consommation du Lapin sous des formes déjà découpées dans lesquelles il n'a que peu de rapport avec la forme complète sous laquelle les consommateurs pourraient être gênés de le reconnaître.

Les tabous sur la consommation de divers produits sont fréquents, et certaines des préparations culinaires animales d'un peuple suscitent souvent le dégoût des autres.

Prenons un autre exemple, les cas du beurre et du sucre, que nous avons étudiés plus en détail [7] à travers l'analyse statistique des associations libres de 1600 consommateurs français.

A la question "*Si je vous dis beurre, quels sont les 5 premiers mots qui vous viennent à l'esprit ?*" nous observons les caractérisations suivantes des consommateurs par les termes qui reviennent plus fréquemment dans leurs associations libres (termes revenant significativement plus):

Consommateurs quotidiens de beurre (70%): *cuisine, pain, sauce, petit_déjeuner, vitamines, tartine, pâtisserie.*

Consommateurs moyens de beurre (18%): *pâtes, calories.*

Non consommateurs de beurre (11%): *cholestérol, mange_pas, régime, calories, gras, beurre.*

La non consommation correspond bien à des associations négatives, tandis que la consommation correspond à des associations pragmatiques qui sont des modes d'usage du beurre.

Les associations libres sur le mot « beurre » par les consommateurs quotidiens de beurre allégé montrent qu'ils ont une image du beurre comprenant des éléments négatifs, qui sont congruents avec leur substitution du beurre par le beurre allégé.

Consommateurs quotidiens de beurre allégé (13,3%) sont caractérisés par: *allégé, beurre_allégé, calories, régime, vache, cholestérol, matières_grasses, radis, bon.*

Consommateurs moyens de beurre allégé (9,2%) sont caractérisés par: *beurre_allégé, gras, frais+, cholestérol, pâtes, bon, matières_grasses, jaune.*

Non consommateurs de beurre allégé (76,3%) : *pâtisserie, cuisine+, petit_déjeuner, gâteau.*

Cela est confirmé par les déclarations de consommation plus ou moins fréquente de ces matières grasses, qui sont corrélées avec une représentation plus ou moins "positive" de ces produits :

Consomme du beurre plus souvent par rapport à l'an dernier (2,7%) : *salé, vitamines, allégé, bon*

Consomme du beurre autant que l'an dernier (67.9%) : *petit_déjeuner, gâteau, cuisine+, tartine, pain, pâtes, sauce, frais, pâtisserie, lait, vitamines.*

Consomme du beurre moins souvent que l'an dernier (19.0%) : *cholestérol, gras, jaune, régime, matières_grasses.*

Ne consomme pas de beurre (9.0%)² : *mange_pas, cholestérol, régime, calories, gros, beurre.*

Consomme du beurre *allégé* plus souvent que l'an dernier (10.5%) : *beurre_allégé, régime, matières_grasses, allégé, calories, goût, cholestérol, bon, frais+.*

Consomme du beurre allégé autant que l'an dernier (17.8%) : *radis, calories, cholestérol.*

Consomme du beurre allégé moins souvent que l'an dernier (4.7%) : *pâtisserie, goûter, gras, vitamines, cuisson, sauce.*

Ne consomme pas de beurre allégé (64.4%) : *cuisine, gâteau, petit_déjeuner, fromage, pâtisserie, beurre.*

D'une manière générale, les connotations sont révélatrices d'une représentation négative du beurre chez les non utilisateurs, chez ceux qui réduisent leur consommation ou y renoncent pour consommer du beurre allégé. Les connotations "agréables" apparaissent significativement moins chez ces personnes qui renoncent au beurre. C'est-à-dire que non seulement apparaissent chez ces personnes des associations négatives pour le beurre, mais aussi que certaines associations positives disparaissent : la représentation est ajustée au comportement à la fois par un appauvrissement (hypotrophie) et un enrichissement (hypertrophie) en traits par rapport à la représentation moyenne. Ceci montre comment s'opère la "consonance cognitive" entre comportements et représentations.

On obtient des résultats analogues avec une question d'association libre sur le sucre [7]: pour tous le sucre est *sucré, énergétique, bon, doux, mis dans le café* etc. Cependant, il sera plus fréquemment associé à *roux* pour les consommateurs de sucre roux, et sera plus souvent associé à *calorie, diabète, gros et régime*, c'est-à-dire à ce qu'ils cherchent à éviter, pour ceux qui déclarent diminuer leur consommation ; tandis que ceux qui le consomment l'associeront plus souvent à l'usage qu'ils en font (*café, pâtisserie...*).

La représentation apparaît donc comme une image pragmatique de l'objet, relativement consensuelle, par rapport à laquelle l'individu se situe. Dans la perspective de son comportement particulier, certains traits, qui guident son comportement, lui apparaîtront plus saillants : ce sont ces derniers qui seront *sur-représentés* dans l'expression de ses représentations. C'est ce qu'on appelle le *trophisme* des représentations [7] : la représentation individuelle porte la marque des usages de l'individu, comme le bras hypertrophié marque le joueur de tennis.

Représentations et enjeux de marketing et de santé publique

Celui qui parvient à modifier les représentations dans le sens de l'action qui l'intéresse (par exemple un certain type d'acte d'achat) peut en principe compter sur l'ingéniosité du consommateur pour ensuite accomplir ses buts malgré les obstacles locaux. Ainsi, un consommateur pourra aller chercher le produit sur un autre point de vente si son point de vente habituel ne le propose pas ; il pourra résister aux incitations publicitaires ou économiques à acheter d'autres produits. De plus, il contribuera éventuellement à disséminer la représentation en question de manière épidémique.

² La différence de % est due à une légère différence de formulation de la question.

On comprend que la manipulation des représentations fasse l'objet d'investissements considérables, en énergie et en budget ; que ce soit dans la publicité, les campagnes d'information, les packagings, et toutes les formes de communication que nous apporte l'ingéniosité des fabricants, des distributeurs, des pouvoirs publics et autres groupes d'intérêt qui cherchent à modifier les comportements.

Tempérons l'enthousiasme de ces acteurs en constatant que les changements sont lents, et que la communication seule ne suffit pas [8]. Les représentations ne sont *qu'un des lieux* où se joue la détermination des comportements. La réalité et ses contraintes doivent être en cohérence avec la représentation, et rendre possibles et durables les changements suggérés. Par exemple, il est très difficile de maintenir un régime alimentaire sans être soutenu par son environnement.

Ensuite, on l'a dit, les représentations sociales sont des populations de représentations individuelles. Il s'agit donc de faire changer une population, et pas seulement quelques individus. Les représentations se reproduisent entre elles. Si la représentation mutante introduite par la communication est moins efficace que les autres, elle ne survit pas spontanément.

S'il est possible dans une certaine mesure de changer les représentations, les essais de persuasion des consommateurs pour les faire changer de comportements dans le domaine alimentaire simplement en les endoctrinant avec des arguments rationnels sont voués à l'échec, comme on le sait en psychologie sociale depuis les travaux de Lewin [9]. Ce n'est pas en démontrant scientifiquement que les Chiens (*Canis lupus familiaris*) sont comestibles, ni en le répétant dans des spots radio, que l'on augmentera leur consommation de bœuf en France. L'ignorance de ces faits scientifiques par un certain nombre de décideurs, et l'approche naïve qui s'ensuit dans la construction de campagnes de communication n'aboutit en fin de compte qu'à augmenter la désorientation et la suspicion des consommateurs, comme l'a justement noté Claude Fischler qui parle de « cacophonie diététique » [3].

Les représentations sociales sont une ressource commune qui guide nos comportements et constitue notre société. Chacun a la responsabilité de ne pas la polluer en déversant dans cet écosystème symbolique des communications irresponsables qui, en visant à modifier un comportement particulier, risquent de perturber des équilibres complexes que la culture a mis longtemps à construire. La cacophonie diététique n'est pas globalement profitable. Il ne s'agit pas ici d'empêcher le changement, mais simplement de donner aux acteurs de la communication la conscience de leur responsabilité dans un développement durable de la société de consommation alimentaire.

Le changement se produit à travers l'éducation, l'expérience directe, la réglementation aussi. Le changement se produit si l'on crée son désir et les conditions de sa réalisation ; pour cela la voie doit être praticable, *à la fois*, dans *chacun* des systèmes de détermination : physiologique, mais aussi psychologique, technique, social, économique. Compte tenu de la complexité de la résolution simultanée de ces différents systèmes de détermination, il est préférable de mobiliser l'ensemble des parties prenantes pour que chacune puisse agir à son niveau. Cela permet aussi aux consommateurs de donner, en passant, leur avis et d'être les acteurs de leur propre changement.

La construction des représentations sociales et des pratiques est un processus lent, négocié, progressif, qui nécessite la participation active des acteurs concernés. Cela passe par une sympathie pour ces acteurs, un effort de compréhension de leur point de vue et le respect de celui-ci, et une ouverture à construire avec eux (et non pas « pour eux ») des modèles nouveaux.

Alors, que faire ? Il faut négocier avec les acteurs les changements de pratiques pour changer les représentations.

Bibliographie

- [1] CABANAC, Michel [2003]. La cinquième influence ou la dialectique du plaisir. Les Presses de l'Université de Laval. 2003.
- [2] COMBRIS Pierre [1996] "Mangeurs et aliments : que nous apprend l'analyse économique ?" dans *Identités des mangeurs, images des aliments*, Giachetti I. (ed.), CNERNA-CNRS, Polytechnica, Paris.
- [3] FISCHLER, Claude [1990]. *L'omnivore*. Paris: Odile Jacob, 1990.
- [4] GIACHETTI, Ismène (éd.) [1992] *Plaisir et préférences alimentaires*. CNERNA - CNRS. Paris: Polytechnica, 1992.
- [5] GIBSON, James. J. [1979)]. *The Ecological Approach to Visual Perception*. London : Lawrence Erlbaum Associates, 1986 (2nd ed.).
- [6] LAHLOU, S. [1991]. Comportements alimentaires et consommation alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, XXVI, n°4, 279-283
- [7] LAHLOU, Saadi. [1998]. Penser Manger. Alimentation et représentations sociales. Paris: P.U.F., 1998.
- [8] LAHLOU, Saadi. [2005]. Peut-on changer les comportements alimentaires ? *Cahiers de Nutrition et Diététique*, 40. 2. 2005 : 1-6.
- [9] LEWIN, Kurt [1943]. Forces Behind Food Habits and Methods of Change. *Bulletin of the National Research Council*, n° 108, October, 1943. pp. 35-65.
- [10] MERDJI, Mohamed. [2002] L'imaginaire du dégoût : une approche anthropologique de l'univers émotionnel de l'alimentation. Thèse de doctorat en Sciences de Gestion. Université Paris IX Dauphine. Juin, 2002, 678 p.p.
- [11] MOSCOVICI, Serge [1961]. *La psychanalyse son image et son public*. Paris: P.U.F., 2^{ème} éd. 1976.
- [12] SHANK, Roger C, ABELSON, Robert P. [1977] *Scripts, Plans, Goals, and Understanding*. Hillsdale, NJ ; Lawrence Erlbaum Associates, 1977.

Éléments pour une modélisation du concept d'affordance

Thierry Morineau

Laboratoire GRESICO Université de Bretagne-Sud Campus de Tohannic -BP 573 56017 Vannes Cedex

Thierry.Morineau@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

La psychologie écologique propose le concept d'affordance pour rendre compte de l'adaptation immédiate d'un individu à son environnement. Ce concept s'est infiltré récemment en psychologie ergonomique, dans l'analyse de l'activité et à travers la définition d'interfaces dites "écologiques". Nous présentons dans ce papier des expériences menées en environnement virtuel et dans le domaine du contrôle de trafic aérien. Elles servent de base pour un recadrage conceptuel de l'affordance vers sa définition d'origine. D'autre part, nous proposons une première modélisation des affordances et de leur sélection cognitive. Cette modélisation a pour objectif d'aider à la définition de systèmes automatiques et d'environnements virtuels, pour en faciliter l'exploration par l'utilisateur.

MOTS-CLÉS

Affordance, Contrôle cognitif, Interface écologique, Réalité Virtuelle, Contrôle de Trafic Aérien

INTRODUCTION

À l'origine, le concept d'affordance a émergé des travaux de Gibson en psychologie écologique. La préoccupation de cet auteur résidait dans la manière de rendre compte de l'adaptation sophistiquée de tout individu vivant, animal ou humain, à son environnement et cela malgré la taille parfois très rudimentaire du cerveau de certains animaux (Gibson, 1979). Pour comprendre ce que représente une affordance dans son acception d'origine, il faut se détacher à la fois d'une dichotomie parfaite entre l'individu et son environnement ambiant et d'une vision symbolique du traitement de l'information. Tout d'abord, l'individu est inscrit dans son environnement. L'interaction entre d'une part, les caractéristiques de l'individu, son action actuelle et d'autre part, les propriétés du contexte environnemental vont déterminer en commun la nature des sollicitations offertes et leur valeur adaptative. Par exemple en ce qui concerne les caractéristiques de l'individu, selon la taille de l'animal un buisson constituera pour lui un simple obstacle dans sa course ou bien un refuge où il pourra facilement se cacher des prédateurs. En ce qui concerne l'action en cours de réalisation, Gibson a montré par exemple que le flux optique constituait une affordance essentielle dans la locomotion. Ce flux est le résultat d'une interaction entre le défilement de la scène visuelle, la vitesse et l'orientation de l'animal dans son déplacement (Gibson, 1956). Aussi, la science physique n'intéresse Gibson que dans une marge de phénomènes se produisant à l'échelle de l'individu et à la mesure de ce qu'il peut faire ou fait actuellement l'expérience. Ces phénomènes physiques prennent alors pleinement une signification pour l'individu dans son adaptation.

Le second aspect à prendre en considération est le caractère non symbolique des affordances. Une sollicitation provenant d'une propriété de l'environnement et ayant une valeur adaptative pour l'individu est perçue de manière directe par ce dernier, compte tenu de ses caractéristiques biomécaniques et sensori-motrices. Une affordance est avant tout une perception qui permet une adaptation immédiate de l'individu sous la forme d'une action prenant en compte cette perception. L'intégration de l'affordance dans la boucle perception-action ne nécessite pas de médiateurs cognitifs relevant de signes, dont la sémantique serait stockée dans une mémoire déclarative.

En faisant de l'adaptation de l'individu à son milieu environnant le centre de sa problématique, la psychologie écologique intéresse bien évidemment la psychologie ergonomique. Dans cette discipline, on peut distinguer actuellement deux usages du concept d'affordance pour l'adaptation des outils à l'être humain. La première relève d'une volonté de transférer les affordances présentes dans le réel au sein de simulateurs ou d'environnements virtuels. Dans ce cadre par exemple, le flux

optique a fait l'objet de travaux pour aider à la conception d'aides au pilotage d'avion ou d'hélicoptère ou encore à l'intégration d'indices de déplacement dans les simulateurs afin d'en améliorer leur réalisme (Padmos & Milders, 1992).

L'autre approche est d'une certaine manière plus élaborée d'un point de vue conceptuel, elle envisage une nouvelle façon d'analyser l'activité, ainsi qu'un nouveau cadre de conception des interfaces classiques de contrôle-commande. Dans cette optique, l'activité de l'opérateur n'est plus à appréhender sous la forme d'une procédure devant respecter les consignes de la tâche, mais plutôt sous la forme d'un espace de possibles dans lequel l'opérateur va naviguer, en mettant en œuvre des stratégies opératoires et des apprentissages (Flach, 1990 ; Vicente & Rasmussen, 1990). D'autre part et en corollaire, l'interface ne peut plus être considérée comme un moyen permettant une séquence d'action dont la validité est prédéfinie. Elle doit au contraire constituer une matérialisation de l'espace des actions possibles, en affichant de manière transparente à l'opérateur les limites des fonctionnalités du système, les contraintes que pose le domaine du travail prescrit, et ceci sur la base des compétences dont dispose l'opérateur (Pejtersen & Rasmussen, 1997). Cela amène les auteurs à parler d'interface écologique (Ecological Interface Design) fondée sur la mise en évidence des affordances nécessaires à l'accomplissement de la tâche par l'opérateur.

Cette application du concept d'affordance au domaine du travail se traduit toutefois par une redéfinition significative du concept d'affordance. La raison du glissement sémantique observé semble être liée à une déduction. Pour élaborer un modèle de l'activité d'un opérateur, il est nécessaire de rendre compte des choix qu'il effectue parmi l'ensemble complexe des informations ou affordances auxquelles il se doit faire face. Ceci a donc conduit les auteurs à soulever le problème critique dans la théorie de Gibson de la sélection des affordances parmi un ensemble de sollicitations. Ce problème a également été soulevé par Reed (1996). Celui-ci le résout en considérant que la sélection des affordances se réalise à travers l'élaboration par le sujet d'une intention qui filtre les affordances pertinentes à un moment donné. De leur côté, Vicente et Rasmussen (1990) proposent que l'opérateur réalise une hiérarchisation des affordances selon une dimension fonctionnelle " fin-moyens ". Une affordance singulière vient alors s'imbriquer dans un tissu relationnel élaboré par le sujet pour atteindre une fin à l'aide de certains moyens (tableau 1). La finalité vient spécifier le moyen à sélectionner, tandis que le moyen sélectionné contraint l'obtention de la fin. Dans cette optique, nous obtenons un réseau fonctionnel entre les différentes affordances. Toutefois, cette démarche de hiérarchisation des affordances a pour effet consécutif de considérer différentes strates d'affordances ayant des niveaux d'abstraction différents, du plus abstrait au plus concret : valeurs, priorités, contextes, mouvements, objets et environnement (Vicente & Rasmussen, 1990). Cette hiérarchisation implique alors que certaines strates d'affordances considérées comme typiquement des finalités constituent des éléments abstraits que l'on peut considérer comme disposant d'une représentation symbolique au niveau cognitif. D'autre part, selon les strates considérées nous obtenons une dissociation entre des affordances plutôt internes à l'individu (valeurs, priorités, contexte, mouvement) et des affordances plutôt externes (objets et environnement). L'affordance ne devient donc qu'indirectement le lieu d'une interaction entre l'environnement et l'individu, via une chaîne de causalité fonctionnelle. Ces deux dissociations vont à l'encontre, comme nous l'avons vu précédemment, d'une définition stricte de la notion d'affordance : inscription de l'individu au sein de l'environnement et contrôle cognitif non symbolique.

En fait, ces différentes strates de l'échelle fin-moyens que les auteurs mettent en évidence semblent bien refléter différents niveaux de contrôle cognitif dont seul le niveau le plus bas, relève d'un traitement véritablement fondé sur des affordances au sens strict du terme. Ainsi, Pejtersen & Rasmussen (1997) suggèrent eux-mêmes que : " la perception des affordances sur les différents niveaux entretient différents rôles dans l'activité humaine de contrôle. La sélection des buts à poursuivre est liée à la perception des valeurs au plus haut niveau de l'échelle, la planification de l'activité à une perception à un niveau médian, tandis que le contrôle précis des mouvements dépend de la perception des objets physiques et du contexte au niveau le plus bas de l'échelle " (p.322. Pejtersen & Rasmussen, 1997). Aussi, ces différentes strates sont plus le reflet de niveaux cognitifs tels que ceux proposés par Hoc et Amalberti (1995) : boucle à long terme basée sur des connaissances et méta-connaissances, boucle à moyen terme basée sur la représentation mentale et boucle à court terme, basée sur des routines et des affordances.

Tableau 1 : Les affordances structurées dans une hiérarchie “ fin-moyen ” adapté à partir de Vicente & Rasmussen (1990)

VALE URS PRIORITÉS	Survie Récompense Se nourrir	Plaisir Peine Confort	Altruisme Nourrir Construire
	Intimité Danger	Copulation	Coopérer
CONT EXTES	Chaleur Repas Blessure	Boire Se laver Soutenir	Communiquer Se baigner Combattre
	Construction Locomotion	Aider	Punir
TS MOUVEMENTS	Gripper Manger Nager Respirer Monter	S'asseoir Courir Enfoncer Attraper	Tomber Se placer Transporter Verser
OBJETS & ENVIRONNEMENT	Substances Surfaces	Objets	Espace

Mais, cette généralisation conceptuelle du concept d'affordance sur le plan psychologique ne remet pas en cause d'après nous, de manière fondamentale l'intérêt d'exemples concrets de développement d'interfaces écologiques, telles que DURESS II (Christophersen, Hunter, & Vicenten, 1998) ou bien l'interface développée par Effken, Kim et Shaw (1997) dans le domaine médical. Toutefois, nous pensons qu'il est nécessaire de mieux circonscrire sur le plan psychologique le rôle dont dispose le traitement des affordances, afin d'en tirer profit de manière optimale. L'approche écologique des interfaces Homme-Machine constitue une vision prometteuse des nouveaux systèmes, nés du développement actuel des techniques de Réalité Virtuelle. D'autre part, le fait que l'opérateur est de plus en plus confronté à un flux excessif d'informations avec le développement actuel des moyens de communication constitue un problème pouvant être traité sous cet angle (Lahlou, 2000).

Compte tenu de ces éléments, notre travail actuellement consiste à reconsidérer le concept d'affordance dans son application au domaine de la psychologie ergonomique. Nous nous proposons ici de montrer à travers un ensemble de travaux théoriques et empiriques que :

-(1) L'affordance dans son acception première peut rendre compte de phénomènes critiques dans l'interaction Homme-Machine, où un contrôle cognitif principalement basé sur les affordances peut générer des effets négatifs dans l'adaptation humaine ;

-(2) L'affordance relève d'un niveau de contrôle cognitif singulier qui est à intégrer dans une architecture cognitive plus large, afin de comprendre et de profiter de niveaux de régulation cognitifs supérieurs ;

-(3) Une modélisation des affordances et de leur sélection sans faire appel à un niveau de contrôle cognitif supérieur de nature symbolique est possible. Cette modélisation doit être menée pour mieux circonscrire le rôle de ce niveau d'adaptation de base.

AFFORDANCES ET SITUATIONS CRITIQUES DANS L'ACTIVITE

Si les affordances ont un rôle à jouer dans la détermination des comportements humains, ce rôle serait en toute logique prégnant durant une activité d'exploration de l'environnement ambiant. Cette activité consiste en effet à collecter les informations critiques pour l'adaptation de l'individu à un nouvel environnement ou bien à un état nouveau d'un environnement habituel. Reed (1996) envisage ainsi une étape d'exploration des affordances qui vient alimenter la boucle perception-action. Dans le cadre de la navigation dans un environnement simulé ou bien réel, Spence (1999) souligne l'importance d'une première étape cognitive de collecte des données critiques dans l'environnement (browsing), qui permet l'élaboration ultérieure d'un modèle mental. Cette étape de browsing selon l'auteur serait largement non consciente. Enfin, Lahlou (2000) explique le syndrome de saturation cognitive par le flux d'information (Cognitive Overflow Syndrome) dans le travail de bureau de cadres supérieurs, par une dépendance à l'égard des affordances qu'ils traitent dans le cours de leur activité. Celles-ci constituent des attracteurs cognitifs plus forts que la stratégie de travail planifiée préalablement, ce qui conduit les opérateurs à un " papillonnage ", sans que les buts planifiés soient atteints. Cette force des affordances est selon l'auteur liée à une activité exploratoire systématique et presque inévitable du sujet à l'égard de son environnement de travail.

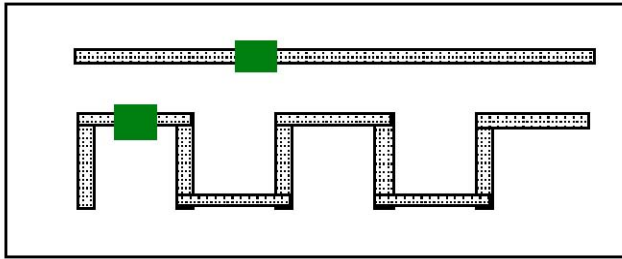
Dans le domaine de la conception d'environnements virtuels, le concept d'affordance est appréhendé comme un moyen pour développer un espace virtuel directement signifiant pour le sujet immergé à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle par exemple (Cronin, 1997). Il est vrai que les techniques de Réalité Virtuelle ouvrent la voie au développement d'interfaces affichant des propriétés proches de celles rencontrées dans le monde naturel. Les objets qui sont fondamentalement des abstractions générées par ordinateur sont représentés comme des objets réels à trois dimensions, avec des textures, des ombres et un positionnement dans un espace. Les interfaces peuvent solliciter également des retours tactiles et kinesthésiques à l'égard de l'objet. D'autre part, l'opérateur humain peut disposer d'un point de vue égocentré vis-à-vis de ces objets et il peut se mouvoir dans l'environnement. Aussi, nous pouvons faire l'hypothèse que lors d'une exploration de ce nouveau type d'environnement, l'individu va être conduit à réaliser des traitements cognitifs où les propriétés des objets représentés auront un rôle prégnant. L'interface dispose d'une structure fonctionnelle mettant en avant de manière inédite ces caractéristiques sensori-motrices, prenant le statut d'affordance. De plus, le sujet est dans une situation globale d'exploration d'un environnement nouveau.

Pour tester notre hypothèse, nous avons soumis à des adultes immergés pour la première fois dans un environnement virtuel, un ensemble de problèmes à résoudre basé sur une dissociation entre les caractéristiques de surface que présentent ces problèmes et leurs structures profondes de résolution (Morineau, 2000a). Nous avons pour cela utilisé dans une première expérience des épreuves conçues à l'origine par Piaget. En effet, ces problèmes relèvent typiquement de problèmes dissociant caractéristiques de surface et structure profonde du problème. Prenons par exemple, une épreuve de conservation telle que celle consistant à transvaser de l'eau devant un jeune enfant, d'un verre A en un verre B plus mince ou en un verre C plus large. Jusque vers 7-8 ans, l'enfant considère que le liquide augmente ou diminue en quantité, selon la forme du contenant malgré les transvasements réalisés devant lui (Piaget et Inhelder, 1966). Son raisonnement est exclusivement fondé sur les apparences trompeuses, que suggèrent la forme plus ou moins allongée du verre. Autrement dit, la propriété " hauteur à laquelle se trouve le niveau du liquide " est une affordance qu'il est nécessaire de dépasser pour analyser correctement la situation et se représenter mentalement la permanence de l'objet malgré ses transformations.

Nous avons donc choisi dans une première expérience de présenter des problèmes piagetiens à des adultes immergés dans un environnement virtuel (un bureau) à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle. La première épreuve était celle dite du "chemin parcouru" (Piaget, 1946). Elle consiste à présenter au sujet deux parcours, sur lesquels se trouve sur chacun d'entre eux, un objet pouvant

bouger (un cube dans notre cas). L'expérimentateur déplace le cube situé sur le parcours en créneau et le sujet doit déplacer le cube du parcours d'en haut, de manière à ce qu'il réalise un parcours de longueur identique (figure 1). Les deux parcours malgré leurs formes différentes ont un point de départ et d'arrivée en correspondance spatiale. Les enfants n'ayant pas atteint le stade des opérations concrètes placent le cube d'en haut, de manière à ce qu'il y ait une correspondance terme à terme au niveau visuel, entre les deux cubes. Il faut attendre l'âge de 7-8 ans pour qu'une réponse, en termes de longueurs de chemin parcouru soit donnée et donc, pour que l'enfant se détache des fausses équivalences que la perception visuelle lui apporte (affordance directement perçue).

Figure 1 : L'épreuve du chemin parcouru (inspiré de Piaget, 1946)



La seconde épreuve présentée aux sujets était celle de la quantification de l'inclusion (Piaget et Szeminska, 1967). Il s'agit d'estimer à quel moment l'enfant est en mesure de prendre en considération la relation d'inclusion, qui se définit en compréhension (appartenance qualitative d'un sous-ensemble à un ensemble : "la marguerite est une fleur") et en extension (appartenance quantitative à un ensemble : "toutes les marguerites sont quelques fleurs"). Il faudrait attendre l'accès au stade des opérations concrètes (7-8 ans), pour que l'emboîtement des classes se réalise dans une relation d'inclusion. Par la suite, ce résultat a été remis quelque peu en cause et affiné, notamment par Bideaud et Lautrey (1983). En effet, il a été montré que si l'enfant arrivé au stade des opérations concrètes réussissait à donner une réponse correcte à la question, il n'en reste pas moins qu'il échouait à une question, telle que par exemple la suivante : "Peut-on faire quelque chose ou ne peut-on rien faire pour qu'il y ait plus de marguerites que de fleurs ?" (épreuve "modification"). À cette question, l'enfant âgé de moins de 11 ans répond de manière affirmative, car il considère toujours les deux classes comme disjointes, au niveau de leur extension sur la base des informations visuelles que fournit le matériel : un nombre plus élevé de marguerites. Nous présentions donc aux sujets adultes immergés 5 images consécutives de classes d'animaux et végétales, sur un écran dans le bureau virtuel. Les sujets devaient répondre à la question classique sur l'inclusion logique et à la question subsidiaire sur la possibilité de modifier le rapport d'inclusion.

Les résultats globaux de cette expérience montrent que de jeunes adultes immergés dans le virtuel tombent de manière fréquente dans les pièges posés par les problèmes piagetiens, sans pouvoir faire appel à une représentation rationnelle de la structure du problème. À ce propos, l'analyse des réponses verbales données par les sujets immergés pour les deux problèmes d'inclusion logique montre des raisonnements proches de ceux que l'on peut trouver chez l'enfant échouant aux épreuves. Une seconde expérience portant sur des problèmes-pièges présentés oralement montre également, mais dans une moindre mesure, des erreurs élémentaires des sujets. Ils prennent en compte des informations auditives non-pertinentes pour la structuration du problème.

L'individu confronté à cet environnement nouveau traiterait donc de manière privilégiée les informations sensori-motrices jugées par lui directement pertinentes pour sa réponse dans le cadre de cette exploration d'un environnement aux propriétés nouvelles. D'ailleurs, une autre expérience portant cette fois-ci sur la réalisation de pantomimes d'actions en environnement virtuel confirme cette adaptation immédiate aux propriétés de l'environnement (Morineau, 1996). Les pantomimes d'actions effectuées se rapprochent de celles effectuées par les groupes d'enfants dans le réel. Ces derniers sont confrontés en fait à la même situation que les adultes dans le virtuel : une situation de découverte des propriétés de l'environnement et des modes d'action sur celui-ci.

À présent, si l'on en revient à l'apport de la notion d'affordance dans la définition d'interfaces et de systèmes automatiques, on notera qu'un traitement exclusivement fondé sur les affordances

peut être dangereux d'un point de vue rationnel. Ceci implique deux choses. La première est qu'il est nécessaire d'intégrer le traitement des affordances dans une architecture cognitive plus générale faisant appel à des stratégies adaptatives plus sophistiquées pouvant être en décalage avec une réponse directe relative à une information perceptive. Le second élément est qu'il est nécessaire de modéliser précisément les caractéristiques des affordances, afin qu'elles disposent de propriétés permettant une adaptation à court terme, adéquate pour le sujet.

3 AFFORDANCES ET NIVEAUX DE CONTROLE COGNITIF

Les travaux précédents indiquent qu'un traitement exclusivement fondé sur des affordances conduit à terme à des inadaptations du sujet : réponse inadaptée à la résolution d'un problème nécessitant une abstraction de la réalité. Pour comprendre des adaptations qui ne tombent pas dans des impasses (on pourrait parler de " minima locaux "), l'individu doit disposer d'une capacité d'inhibition des affordances saillantes dans l'environnement (Houdé, 1995), d'une décentration cognitive (représentation mentale) et de connaissances liées à ses expériences antérieures dépassant l'adaptation à la situation immédiate telle qu'elle se présente. L'architecture cognitive proposée par Hoc & Amalberti (1995) propose ainsi différents niveaux de contrôle cognitif jouant sur différents horizons temporels : long terme, moyen terme et court terme.

Une expérience sur simulateur avec des contrôleurs du trafic Aérien professionnels nous a permis de voir émerger ces différents niveaux de contrôle cognitif (Hoc, Morineau, & Denecker, soumis ; Morineau 2000b ; Morineau, 2000c). Le contrôle aérien "en route" consiste à gérer un trafic sur un large secteur. Les opérateurs doivent assurer le bon déroulement de différents vols d'avion dans le secteur. Ces avions suivent un ensemble de routes dont les croisements sont représentés par des balises. L'objectif principal est de réduire les risques de conflit. Les opérateurs peuvent ainsi modifier la trajectoire d'un avion (cap, altitude, vitesse) de façon à ce qu'il passe à distance suffisante des autres avions. Les opérateurs disposent d'une interface de contrôle comprenant une image-radar restituant la position en temps réel des avions et un ensemble de bandes papiers (appelés strips) précisant pour chaque avion son plan de vol (altitude, heures de passages sur les balises, ...). Comme moyens de commande, l'opérateur peut donner des instructions aux avions dans le secteur, ainsi qu'échanger avec les contrôleurs des secteurs adjacents à travers un contact radio.

Dans l'objectif d'aider à la conception d'un système automatique pour la résolution de conflits aériens, nous avons analysé à partir de données collectées, les types de contrôle cognitifs engagés pour résoudre des conflits. Nous avons sondé la possibilité d'un contrôle anticipatif des conflits, à partir d'une technique de gel de la simulation à certains moments (Boudes & Cellier, 1996). Les opérateurs devaient alors dessiner les positions des avions sur une carte " radar " en papier. D'autre part, nous avons tenté d'accéder à un niveau de contrôle à court terme chez l'opérateur, via une mise en correspondance des étapes de l'activité cognitive (identification de problème, décision, action de résolution) avec certains états liés au trafic aérien à réguler dans le secteur. Cette articulation temporelle entre des étapes de l'activité et des états du trafic peut alors nous montrer la valeur adaptative de ces états pour l'opérateur (statut d'affordance).

Les résultats indiquent que les représentations graphiques exécutées par les opérateurs ont un caractère majoritairement anticipatif. Les avions seraient représentés mentalement en avance par rapport à leur position réelle. Par contre, les étapes de l'activité cognitive sont particulièrement bien synchronisées dans le temps, avec certains états du processus. Ces données nous permettent donc de supposer un fonctionnement en parallèle de différents niveaux de contrôle de l'activité : une représentation mentale anticipatrice et un traitement immédiat des affordances. Ils nous conduisent donc à soutenir l'idée de la nécessité d'intégrer le traitement cognitif des affordances dans un ensemble de niveaux de traitements portant sur des objets et horizons temporels différents pour une même activité. Ces premiers résultats vont permettre de nous guider dans la définition du système d'aide à la résolution de conflits, notamment dans le sens d'une prise en compte de ces différents horizons temporels dans la présentation des informations.

4 PREMIERS ÉLÉMENTS POUR UNE MODÉLISATION DES AFFORDANCES

L'opacité fondamentale du fonctionnement de certains systèmes d'aide profiterait d'une conception fondée sur le traitement des affordances. Ainsi, l'opérateur pourrait comprendre de manière intuitive, ce que réalise le système et reprendre la main plus naturellement, si nécessaire.

D'autre part, les interfaces nouvelles basées sur la représentation d'environnements en images de synthèse (Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée) ou basées sur une retranscription d'un environnement distant (téléopération) viennent solliciter les compétences sensori-motrices de l'être dans le cadre d'une activité portant sur des objets abstraits, car artificiels ou éloignés. Cette situation paradoxale nécessite également la mise en place d'une démarche d'élaboration d'affordance adaptée, lors de la conception des systèmes.

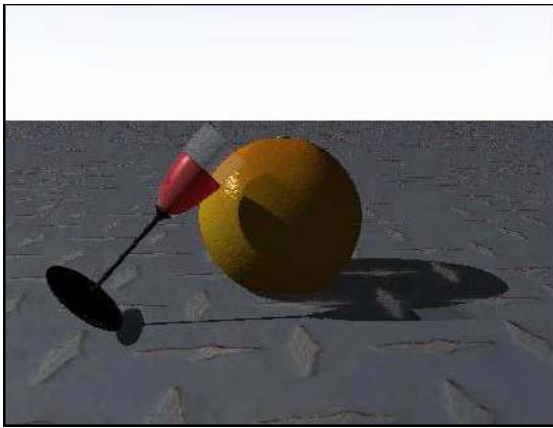
Sur la base de nos travaux actuels avec nos multiples collaborateurs dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur (E. Colle, CEMIF, Evry ; P. Chedmail, IRCCyN, Nantes ; M. Parenthoën, ENIB, Brest), nous allons présenter ici une synthèse théorique sur les premiers éléments d'une modélisation des affordances et de leur sélection à un niveau non symbolique (Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

4.1. Une définition opérationnelle de l'affordance

Une affordance représente concrètement une interaction individu-environnement, où les propriétés de l'environnement (objets et lois physiques) sont perçues par l'individu en fonction de ses propres caractéristiques (taille, champ de perception, champ d'action) et sa position à un moment donné (distance entre les propriétés et lui-même, action mise en œuvre, posture actuelle...). Dans le champ de la psychologie expérimentale, un certain nombre de travaux montrent ainsi que l'on peut mettre en évidence une estimation des affordances sur la base d'équations mathématiques. Ainsi, par exemple Mark et Vogele (1987) ont montré que les sujets évaluaient leur hauteur maximale d'assise sur une chaise sur la base d'un rapport constant avec la longueur de leurs jambes. Cette estimation subjective est valable également pour un sujet observant un acteur se présentant devant une chaise. Certains travaux indiquent également le rôle que peut jouer la hauteur de perception à laquelle se trouve un observateur pour estimer une affordance, ou bien encore le rôle des caractéristiques biomécaniques de l'individu (voir Stroffegen, Gorday, Sheng, & Flynn, 1999).

Ces facteurs nous semblent particulièrement importants lorsque le sujet est dans une situation instrumentale où il agit et perçoit à travers des outils disposant de caractéristiques spécifiques. Cela est vrai notamment pour les interactions Homme-Réalité Virtuelle. Les interfaces de contrôle (écran, casque de réalité virtuelle) mettent à la disposition du sujet un champ de perception spécifique contraignant la perception des affordances. Les interfaces de commande (gant de réalité virtuelle, clavier, joystick, ...) proposent selon leurs caractéristiques propres des champs d'action spécifiques. En situation réelle, cela est tout particulièrement vrai lors de l'usage d'un véhicule ou un robot téléopéré. Celui-ci constitue un médium définissant de manière spécifique les affordances à prendre en considération selon ses caractéristiques propres. De manière très générale en situation d'utilisation d'outils, il sera nécessaire d'analyser les affordances sur la base des sollicitations environnementales retransmises par les outils et interfaces à l'individu. Prenons un exemple fictif élémentaire pour illustrer notre propos. Imaginons qu'un individu est immergé dans un environnement virtuel et perçoit à un moment donné la scène présentée dans la figure 2.

Figure 2 : scène virtuelle conçue avec le logiciel STRATA-3D



Cette scène malgré son réalisme écologique (texture, ombre, volume des objets, perspective donnée par la texture au sol) présente un ensemble de propriétés affordantes spécifiques. Tout d'abord, en ce qui concerne les objets et les lois physiques. On notera que le liquide présent dans le verre à pied ne subit pas la loi de la gravité, puisque le niveau du liquide reste perpendiculaire à l'axe du verre. En ce qui concerne le champ de perception de l'observateur, ce point de vue est inhabituel puisqu'il se situe à la hauteur de ces petits objets, quelque peu au-dessus de la surface du support (table ou sol). Le champ de perception présente donc des caractéristiques bien particulières vis-à-vis d'un point de vue habituel (adulte en position debout). Cela implique alors des questions sur la nature du champ d'action dont peut disposer le sujet immergé sur ces objets, par exemple est-ce que ces objets sont à une distance permettant de les atteindre directement ? La capture de ces différents éléments et la régulation du comportement en conséquence se feraient, selon nous, de manière non consciente durant l'exploration perceptivo-motrice de l'environnement. Cela ne signifie pas pour autant qu'au niveau symbolique, l'individu ne se construira pas en parallèle une représentation mentale particulière sur les formes et objets perçus, ayant pour but de les interpréter et les reconnaître.

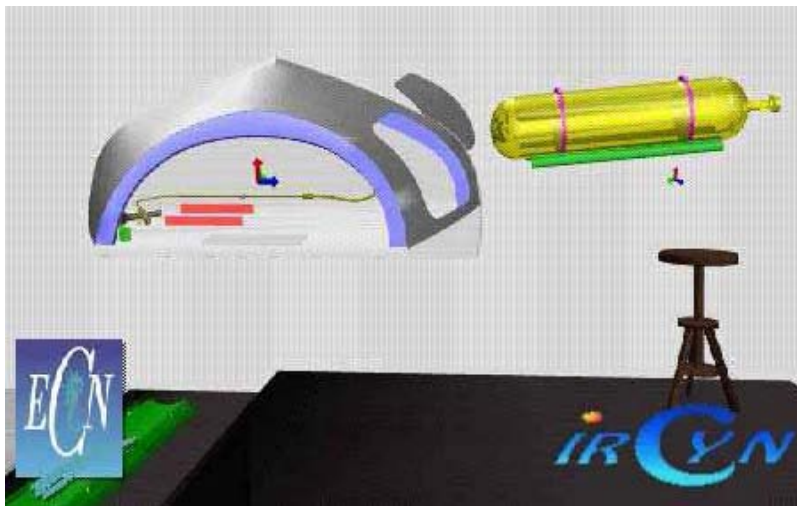
4.2. La sélection des affordances

Une fois que l'ensemble des affordances nécessaires a été défini, il faut prendre en considération le fait que l'individu va de manière singulière sélectionner dans l'ensemble des possibles, certaines affordances plus que d'autres. A contrario de l'approche de Vicente et Rasmussen sur le mode de sélection des affordances, nous supposons qu'une sélection peut s'effectuer sans faire appel à une hiérarchisation "fin-moyen" conduisant à l'appel à des traitements cognitifs d'ordre supérieur. Cette sélection de nature "sub-symbolique" est en accord avec l'hypothèse d'un superviseur non-conscient sur le plan des structures cognitives (Norman & Shallice 1980 ; Paillard, 1994). Un premier critère automatique de sélection d'une affordance pourrait être sa valeur pour l'individu compte tenu de sa disposition actuelle et/ou de la disposition de l'outil qu'il utilise. Ainsi, Lewin (1936) proposa une théorie des champs de force dans laquelle chaque objet

dispose d'une valeur attractive ou répulsive pour un individu. Plus récemment comme nous l'avons vu précédemment, Lahlou (2000) envisage les affordances comme des attracteurs cognitifs menant à une sélection automatique des schémas d'activités à mener, selon une hiérarchisation pouvant être contraire à celle menée à un niveau stratégique par le sujet (but planifié). Dans le cadre du déplacement d'un mobile (outil utilisé), les chemins constituent de manière directe des affordances attractives pour le mobile. Toutefois, un chemin se définira de manière intrinsèque en fonction des caractéristiques de ce mobile. Par exemple, un chemin pourra devenir un obstacle selon qu'il s'agisse d'une voiture classique ou bien d'un véhicule à quatre roues motrices à haut gabarit. Les propriétés répulsives seront celles ayant valeur d'obstacle dans ce cas-là.

Pour tendre vers une estimation des affordances, nous remarquons ainsi qu'il est nécessaire de mettre en correspondance les propriétés présentes dans l'environnement immédiat à un moment t et les caractéristiques du sujet et/ou de son outil. Dans cette optique, nous proposons de dresser des tableaux de contingences, dans lesquels nous allons réaliser une comptabilisation du nombre de relations de dépendance entre une propriété de l'environnement liée à un objet par exemple, et les caractéristiques de l'outil utilisé. La somme des relations de dépendance observée a priori entre une certaine propriété et l'ensemble des caractéristiques du sujet et/ou de l'outil concerné conduira à la mise en évidence de la valeur d'affordance de cette propriété. Nous pouvons alors réaliser une première hiérarchisation des propriétés de l'environnement entre elles selon leurs valeurs absolues d'affordance. Par exemple, nous travaillons en collaboration avec l'IRCCyN (Patrick Chedmail et Mathieu Guibert), sur une description des valeurs d'affordance des objets présents dans un environnement virtuel pour la CMAO (figure 3). Le système informatique développé recherche de manière automatique la trajectoire dans ce cas d'une bouteille d'oxygène pour l'insérer dans un avion. Il est assisté par l'opérateur via les images virtuelles sur lesquelles ce dernier peut agir et réguler la trajectoire proposée par le système automatique (Chedmail & Le Roy, 1999). Le tableau 2 présente, à titre illustratif, une première tentative de calcul des valeurs absolues d'affordances des propriétés rattachées aux objets dans la scène présentée (hormis le tabouret présent dans la figure 3).

Figure 3 : Point de vue sur l'application de planification automatique de trajectoire pour un mobile (logiciel développé à l'IRCCyN)



Les totaux obtenus en bas des colonnes du tableau indiquent a priori la "force" d'attraction ou de répulsion au sens Lewinien du terme que présentera chaque objet à l'égard de la bouteille d'oxygène. On notera que les rails du fait de leurs caractéristiques perçues permettent de les mettre en relation en priorité avec les rails disposés sous la bouteille, comparativement aux autres affordances attractives (valeur égale à 7). Cela suppose que lors d'une exploration de l'environnement, le sujet trouverait de manière intuitive l'action à réaliser comme lors de la réalisation d'un puzzle élémentaire. Une fois ces valeurs obtenues, il est nécessaire pour poser un

modèle de sélection automatique des affordances de tenir compte du niveau d'accessibilité des affordances, les unes à l'égard des autres. Prenons par exemple le cas d'un automobiliste se trouvant à l'entrée d'un carrefour giratoire. Sur la base du calcul des valeurs d'affordance des sorties du carrefour (routes), on peut obtenir des valeurs absolues identiques. On fait alors l'hypothèse que l'automobiliste se laissant guider par les affordances (étape d'exploration de son environnement) va prendre la sortie la plus proche à un moment donné, c'est-à-dire la plus accessible dans l'espace. Toutefois ici encore, il faut différencier une accessibilité perceptive : l'affordance perçue la plus directement et une accessibilité motrice : l'affordance la plus directement à portée de l'outil ou du sujet sans outil. Ces niveaux d'accessibilité perceptive et motrice viendraient ainsi pondérer la valeur absolue d'une affordance pour lui donner une valeur relative selon la disposition de l'acteur ou de son outil à un moment donné. Nous obtenons ainsi un second niveau de hiérarchisation des affordances.

Tableau 2 : Valeurs absolues d'affordances des propriétés rattachées aux objets de la scène (figure 2) sur la base de leurs relations avec les caractéristiques de l'outil (bouteille d'oxygène)

	ATTRACTEURS			RÉPULSEURS			
	CHEMIN	PASSAGES		OBSTACLES			
	Rail Dans l'avion	Porte ouverte	Paroi transparente (avion)	Paroi Externe (avion)	Paroi Interne (avion)	Sol	Plafond
BOUTEILLE							
POSITION	1					1	1
ORIENTATION	1	1	1	1			
VOLUME		1	1				
FORME							
POIDS							
RESISTANCE				1		1	1
CONTACT							
RAILS							
POSITION	1						
ORIENTATION	1	1		1			
VOLUME							
FORME	1						
RESISTANCE	1		1				
CONTACT	1						
TOTAL	7		4				

Nous sommes actuellement en train de mener des expérimentations sur la base d'environnements virtuels ou de téléopération pour valider le caractère prédictif de ce modèle sur l'activité d'exploration de l'individu. À ce niveau, il est important de souligner que le rôle primordial de l'affordance sur le comportement est envisagé tout spécialement dans le cadre de situations ou de phases d'exploration d'un environnement. Lors d'interactions répétées, il faudrait ajouter un facteur de fréquence de mise en œuvre de certains comportements dans le répertoire pour

mettre en évidence le rôle de l'apprentissage sur la sélection automatique de ce qui serait alors une routine comportementale.

Enfin, nous testons des formalismes mathématiques pour modéliser le traitement des affordances (collaboration sur le thème du pilotage d'un voilier avec M. Parenthoën, ENIB, Brest), (voir Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

CONCLUSION

Notre approche du concept d'affordance vise à modéliser un niveau singulier de contrôle cognitif de l'individu dans son adaptation à l'environnement, de manière à en extraire les apports directs et les limites. Ce contrôle cognitif concerne le rapport qui s'élabore entre un individu occupant un point de l'espace et disposant d'un ensemble de compétences sensori-motrices, et un ensemble de propriétés de l'environnement reliées aussi bien à des objets perceptibles qu'à l'environnement dans sa globalité (par exemple, le flux optique ou la gravité). Cette régulation est tout particulièrement observable selon nous, lorsque le sujet explore à certains moments l'espace environnant dans son activité cognitive. Il s'agit des situations par exemple, de Contrôle de Trafic Aérien, où l'exploration d'informations se renouvelant sans cesse est critique, ou bien encore lorsque l'opérateur doit orienter une pièce mécanique à déplacer dans un espace de synthèse, ou bien encore lorsqu'il analyse son environnement pour réguler la trajectoire d'un voilier de compétition ou d'un robot. Le contrôle cognitif basé sur des affordances serait également prégnant à un niveau plus macroscopique, lorsque l'individu découvre un environnement nouveau (immersion pour la première fois dans un environnement virtuel).

Nous pensons que l'étude précise de ces étapes d'exploration est importante, car il s'agit de phases qui vont configurer les informations de base sur lesquelles l'individu va fonder une analyse, qui est elle plutôt symbolique, de la situation. Il pourra alors planifier des buts, résoudre des problèmes ou bien acquérir des habiletés. Toutefois, il ne s'agit que d'un niveau de contrôle parmi d'autres, disposant d'avantages et d'inconvénients. L'avantage est une réponse immédiatement adaptée aux aspects de l'environnement auquel l'individu fait face et cela à un coût réduit en ressources attentionnelles -si naturellement cette adaptation fonctionne correctement. L'inconvénient principal réside dans le caractère précaire de cette adaptation si l'environnement ou bien l'individu lui-même évolue, et d'autre part, dans le risque que présentent des apparences trompeuses (par exemple, un chemin est en fait une impasse). Pour dépasser ces inconvénients, une approche symbolique classique permet de faire apparaître que l'être humain est en mesure de développer des schémas de connaissances permettant de prendre en considération l'expérience passée et des représentations anticipatrices vis-à-vis notamment de l'évolution de l'environnement (par exemple, le point de conflit des avions dans le contrôle de trafic aérien). D'autre part, il dispose d'une connaissance de lui-même, de ses capacités à discerner les pièges de l'adaptation immédiate (notion de méta-connaissance), (Hoc et Amalberti, 1995).

Dans ce cadre, l'objectif de développer des interfaces écologiques permettant une meilleure interaction Homme-Machine prend une place mieux circonscrite. Comme l'indiquent Flach et Bennett (1996), il ne s'agit pas de concevoir une interface ou un système automatique comme le reflet du fonctionnement cognitif de l'opérateur ou d'un expert dans la tâche. L'interface écologique affiche le champ des possibles ouvert à l'action de l'opérateur dans le domaine de travail et cela de manière intuitive. L'interface écologique peut alors être vue comme un contexte cognitif, élaborée à partir d'un ensemble d'affordances facilement signifiantes pour l'action de l'opérateur et servant de base stable pour la mise en œuvre de manière vicariante, d'intentions, de prise de décision, de résolution de problèmes, de plan d'actions et d'apprentissage.

REMERCIEMENTS

Ces travaux reçoivent un soutien financier d'une part, du Ministère de la Recherche, ACI COGNITIVE 2000 et d'autre part, du Centre d'Etude de la Navigation Aérienne pour ce qui est des travaux sur le contrôle de trafic aérien. L'auteur remercie très sincèrement, J.M. Hoc (IRCCyN, PsyCoTec), E. Colle, Y. Rybarczyk (LPC, CEMIF, Evry), P. Chedmail & M. Guibert (IRCCyN, Nantes), M. Parenthoën (ENIB, Brest) pour leur collaboration aux travaux présentés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bideaud, J., & Lautrey, J. (1983). *De la résolution empirique à la résolution logique du problème d'inclusion : évolution des réponses en fonction de l'âge et des situations expérimentales*. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 295-326.
- Boudes, N., & Cellier, J.M. (1996). *Functional biases in anticipation : the case of air traffic control. Paper presented at the 1st International Conference on Applied Ergonomics. Istanbul : May.*
- Christoffersen, K., Hunter, C. N., & Vicente, K. J. (1998). *A longitudinal study of the effects of ecological interface design on deep knowledge*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 48, 729-762.
- Chedmail, P., & Le Roy, C. (1999a). *A Distributed Approach for Accessibility and Maintainability Check with a Manikin*. *DAC-8677, ASME Design Engineering Technical Conferences, Las Vegas, Nevada, Sept. 12-15.*
- Cronin, P. (1997). *Report on the application of Virtual Reality to Education. Report, HCRC, University of Edinburgh.*
- Effken, J. A., Kim, N-G, Shaw, R. E. (1997). *Making the constraints visible : testing the ecological approach to interface design*. *Ergonomics*, 40, 1-27.
- Flach, J. M. (1990). *The Ecology of Human-Machine Systems I : Introduction*. *Ecological Psychology*, 2, 191-205.
- Flach, J. M., & Bennett, K. B. (1996). *A Theoretical Framework for Representational Design*. In R. Parasuraman & M. Mouloua (eds.) *Automation and human performance : Theory and application* (pp. 65-87). Mahwah, N.J. : Erlbaum.
- Gibson, J., J. (1958). *Visually controlled locomotion and visual orientation in animals*. *British Journal of Psychology*, 49, 182-194.
- Gibson, J., J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1995). *Diagnosis: Some theoretical questions raised by applied research*. *Current Psychology of Cognition*, 14, 73-101
- Hoc, J.-M., Morineau, T., & Denecker, P. (2000). *Gestion de l'espace problème et organisation temporelle de l'activité de contrôleurs aériens professionnels sur simulateur*. Rapport technique. Athis-Mons, F: CENA.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lahlou, S. (2000)**. *Attraction cognitive et travail de bureau*. *Intellectica*, 30,
- Lewin, K. (1936). *Principles of topological psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Mark, L., S., & Vogeles, D. (1987). *A biodynamic basis for perceived categories of action: A study of sitting and stair climbing*. *Journal of Motor Behavior*, 19, 367-384.
- Morineau, T. (1996). *Adaptation cognitive à un environnement virtuel, lors de premières immersions*. *Thèse de Doctorat, Université d'Angers*.
- Morineau, T. (2000a). *Context effect on problem solving during a first immersion in a Virtual Environment*. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 19, 533-555.
- Morineau, T. (2000b). *Approche de la discontinuité dans l'activité de contrôle d'un processus continu : Illustration dans le domaine du contrôle de trafic aérien*. *Actes de la conférence ERGO-IHM* (pp. 298-302). Biarritz : oct.
- Morineau, T. (2000c). *Time-To-Collision and Action Sequencing on Aircraft Conflicts in Air Traffic Control*. In P. Wright, S. Dekker, & C.P. Warren (Eds.) "Confronting Reality", *Proceedings of the Tenth European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE'10* (pp. 186-192). Linköping Sweden : Aug.
- Morineau, T., Chedmail P., & Parenthoën M., (2001). *An affordance-based model to support simulation in Virtual Environment*. *The Third Virtual Reality International Conference, Laval Virtual 2001, Laval, F : 17-18 May.*
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: willed and automatic control of behavior*. *Center for Human Information Processing, Technical Report, 99.*

- Padmos, P., & Milders, M. V. (1992). *Quality Criteria for Simulator Images : A Literature Review*. *Human Factors*, 34, 727-748.
- Paillard, J. (1994). *L'intégration sensori-motrice et idéo-motrice*. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds). *Traité de Psychologie expérimentale. Tome 1*, Paris : PUF.
- Pejtersen, A., M. & Rasmussen, J. (1997). *Ecological Information Systems and Support of Learning : Coupling Work Domain Information to User Characteristics*. In M. Helander, T. K. Landauer, P. Prabhu (eds.) *Handbook of Human-Computer Interaction* (pp. 316-346). *Second edition*, North Holland : Elsevier Science.
- Piaget, J. (1946). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'Enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Szeminska, A. (1967). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Reed, E. S. (1993). *The Intention to Use a Specific Affordance : A conceptual Framework for Psychology*. In R. H. Wozniak & K. Fischer (eds.) *Development in context, acting and thinking in specific environments* (pp. 45-75). Lawrence Erlbaum.
- Spence, R. (1999). *A framework for navigation*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 919-945.
- Stroffregen, T., A., Gorday, K.,M., Sheng, Y-Y., & Flynn, S., B. (1999). *Perceiving Affordances for Another Person's Actions*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 120-136.
- Vicente, K. J., & Rasmussen, J. (1990). *The Ecology of Human-Machine Systems II : Mediating " Direct Perception " in Complex Work Domains*. *Ecological Psychology*, 2, 207-249.

Conférence sur le Darwinisme en 2006

Pr. Pierre Nabet

Faculté de Médecine de Nancy

Pourquoi s'intéresser aujourd'hui aux idées de DARWIN et à ce qu'elles sont devenues avec le Néodarwinisme ? Est-ce si important ?

Notre époque est confrontée à la montée des intégrismes de toutes natures et en particulier religieux. On assiste aux U.S.A., mais aussi en Europe, aux actions de certains groupes pour empêcher l'enseignement de la théorie de l'évolution dans les écoles et les universités.

Or, rien de bon n'a jamais résulté de l'ingérence des religions dans le domaine des sciences. Ce sont deux domaines distincts.

Ces intégristes sont persuadés que Dieu a créé l'homme tel qu'il est maintenant et, bien sûr à son image. On doit toutefois dire que le Pape Jean Paul II reconnaissait que « La théorie de l'évolution est plus qu'une simple hypothèse ».

L'attitude de l'intégrisme s'est cependant modifiée et l'on parle de nos jours de « dessein intelligent ». Au Néodarwinisme a répondu le Neocréationisme : ce dernier constate, comme nous tous, que des preuves d'une évolution existent, mais il prétend qu'elle se fait sous l'action d'une force supérieure directrice, un dessein intelligent. Bien entendu, en creusant on y retrouve les raisonnements du créationnisme et en particulier cette absence de liberté de la nature.

Certains écrits mettent encore en doute la notion même d'évolution : Or, s'il y a bien un domaine pluridisciplinaire, c'est celui qui s'occupe de l'étude de l'évolution des êtres vivants.

Très souvent, le grand public retient surtout les données apportées par la paléontologie (l'étude des fossiles), par la biologie et l'anatomie comparées... Disciplines ayant beaucoup apporté et apportant encore beaucoup au concept d'évolution (et au Darwinisme). En réalité, toutes les disciplines, y compris des plus récentes comme la neurobiologie ou l'étude de la conscience, apportent leur contribution à ce concept et c'est ce qui fait la force de cette théorie. Comme la plupart du temps, en sciences, les preuves absolues sont rares, mais une convergence de faits, issus d'horizons différents, rend fort probable une hypothèse ou une théorie, et c'est ce qui se passe pour la notion d'évolution.

Parmi ces disciplines, la biochimie (ou encore l'évolution moléculaire) apporte son lot de preuves à partir de l'analyse des macromolécules du vivant : séquences des protéines, des RNA et du DNA (qu'il soit nucléaire ou mitochondrial).

Les outils utilisés deviennent de plus en plus complexes et font intervenir des moyens mathématiques sophistiqués (qui se sont développés dans d'autres secteurs mais qui sont utilisés ici). L'outillage le plus récent, est le séquençage systématique et automatique des génomes et, en particulier, le génome humain, celui des chimpanzés et des gorilles, nos plus proches parents. Par exemple, certains chimpanzés partagent 99,5% de leurs gènes avec les humains.

La différence entre chimpanzé et hommes, c'est la fusion de deux chromosomes du singe en un seul chromosome humain (le chromosome 2) et une inversion péricentrique du chromosome humain 18. Il est possible que ces réarrangements aient créé de nouveaux gènes impliqués dans la station bipède et dans l'augmentation de croissance du crâne et du système nerveux central. Nous reviendrons sur ces données.

Quoi qu'il en soit c'est bien cette multiplicité de preuves venant d'horizons différents qui fait la force de la théorie de Darwin ou plus exactement ce qu'on appelle le Néodarwinisme, qui n'est rien d'autre que l'adaptation du darwinisme à l'avancée des sciences biologiques.

Essayons, par une définition, de préciser cette théorie (je rappelle que Darwin lui-même ne l'avait jamais formulée, laissant aux faits constatés de parler d'eux-mêmes en gardant leur force)

« Tous les êtres vivants doivent, pour pouvoir vivre et proliférer, être adaptés à leur environnement avec lequel ils ont des interrelations étroites. Les êtres vivants possèdent des

génomés dont les capacités d'expression à un instant donné, mais aussi les potentialités, sont très grandes (si ce n'est infinies). Dans un environnement donné, les organismes qui développent les conditions génétiques les plus adaptées ont un avantage sélectif et prennent le dessus au détriment des autres ».

Prenons un exemple étudié récemment dans la région des mines de charbon du Nord de l'Angleterre. L'étude, et c'est ce qui est intéressant, a porté sur une longue période avant, pendant et après l'exploitation des mines de charbon. Il existe dans cette région un papillon de nuit dont la variabilité génétique donne des individus aux ailes plus ou moins grises ou noires. Les papillons volent de nuit, mais le jour ils se posent sur les arbres et en particulier sur des bouleaux au tronc gris. Avant l'exploitation des mines, l'air est pur les troncs restent gris clair et on constate une prépondérance de papillons gris clair qui se fondent avec les troncs et échappent aux prédateurs. Lorsque le charbon a été exploité la poussière s'est déposée partout et en particulier sur les troncs. On constate que la population des papillons gris foncé, les noirs s'accroissent considérablement au détriment des papillons clairs. Lorsque l'exploitation a cessé on est revenu à des troncs clairs et à une population prépondérante de papillons clairs.

C'est donc bien une dialectique permanente entre les capacités génétiques d'un organisme et les contraintes de l'environnement . L'évolution résulte des variations de l'un de ces deux facteurs (ou des deux).

La migration (ou la dérive) des concepts

Les principales faiblesses du Néodarwinisme viennent d'une vision figée ou dogmatique de ce qu'on appelle la génétique. Dans la compréhension de cette discipline récente on est passé par une représentation symbolique (le caractère ridé des pois correspond au gène ridé). Cette représentation a semblé, un temps, se confirmer lorsqu'on a découvert ou décrit les gènes sur les chromosomes, ou les partie- de- gènes (un gène = un caractère ou une portion de gène = un caractère) d'où a dérivé la notion de locus sur laquelle est basée la cartographie du génome. Cette étape a beaucoup apporté à la compréhension des phénomènes génétiques, il ne faut pas la renier.

Mais un nouveau concept est apparu, c'est celui d'information : le gène (ou le fragment de gène) situé sur les chromosomes dans le noyau, s'exprime en dirigeant la fabrication d'une protéine qui va exercer son action spécifique dans le cytoplasme. L'information contenue dans le gène est transférée à cette protéine. Ce fut l'âge d'or de la notion de mutations ponctuelles sur le gène, source de protéines anormales incapables de s'exprimer correctement et donc sources de maladies, de variabilités individuelles ou/et de dérive lente du génome. L'utilisation de ce concept n'a pas encore fini de rendre des services, d'autant qu'est venu s'ajouter un nouveau concept qui est celui du « cadre de lecture ». On s'est en effet aperçu qu'une même portion de DNA (en quelque sorte un gène) pouvait diriger la fabrication de plusieurs protéines différentes, à condition que la lecture de ce DNA se décale de 1 ou 2 crans (j'appelle ici cran les bases qui composent le DNA). Cette variabilité s'est encore accrue lorsqu'on a compris que chez les animaux supérieurs la plupart des « gènes » (ou régions de DNA) étaient en fait des « briques » séparées les unes des autres (ce fut le concept de gènes en morceaux) et que la cellule savait isoler ces briques, les recombinaer entre elles pour conduire à des protéines différentes les unes des autres.

On est passé d'une vision d'un DNA support des propriétés génétiques d'un organisme, fixe, immuable, permanent, à la vision d'un DNA éminemment versatile, variable, souple, dans le temps comme dans l'espace.

Puis on s'est aperçu que la protéine (ou les différentes formes d'une même protéine) fabriquée sous la direction d'un gène, avait une expression qui lui était propre, en fonction de l'état physiologique de la cellule : elle pouvait par elle-même être informative. L'exemple le plus fameux et récent est celui de la protéine Prion, protéine qui selon sa forme spatiale peut être soit bénéfique

au cerveau soit créer une maladie transmissible. On a actuellement de multiples exemples de faits semblables.

Et enfin, il est apparu que l'état physiologique de la cellule pouvait dépendre, être modulé, par l'environnement, souvent d'ailleurs grâce à de petites molécules simples (sucre, acide butyrique, une ou des hormones, médicaments, toxiques etc...)

En somme on est passé du dogme central : un gène fixe un phénotype donné, à une vision mouvante et évolutive d'un flux informatif. On a de nos jours toutes les preuves du rôle de ce flux dans le sens génome---- phénotype, on commence à entrevoir des preuves du rôle de ce flux dans le sens protéine---- expression du gène (Petits ARN, méthylation du DNA etc...). On soupçonne même le rôle de l'état de la protéine sur la structure du génome sans que cela ait quoi que ce soit à faire avec du Lamarckisme.

La confrontation de la théorie de Darwin avec chacune des étapes de ce flux d'informations a, jusqu'à ce jour, toujours donné raison à Darwin. A savoir :

« Sous une pression de sélection qui peut s'exprimer au niveau de chaque étape de ce flux, il existe pour l'organisme qui souffre le moins de cette pression de sélection, un avantage. Cet organisme se développera alors mieux que les autres et occupera le milieu écologique à leur détriment (puisque chaque niche n'est pas illimitée) »

Et ceci, uniquement sous la dépendance du hasard de l'existence de cette pression de sélection et de la nécessité de vivre ou de mourir de l'organisme, sans l'intervention d'une quelconque force directrice allant dans un sens donné.

Cette migration des concepts est chose normale dans l'évolution d'une pensée scientifique et il est hors de question de jeter l'opprobre sur telle position antérieure que l'on pourrait qualifier de dépassée et dogmatique. Chaque étape apporte son lot de connaissances et c'est parce que ce lot a été apporté que la nouvelle donne peut s'établir.

C'est toujours à la frontière entre disciplines différentes que se forment les nouvelles voies de recherche, les nouveaux concepts, les nouvelles avancées.

La génétique et l'étude de l'évolution n'ont pas échappé à cette règle confrontées qu'elles ont été, à la Biochimie, la Bactériologie, la Virologie, l'Histologie ou encore la Topologie et les Mathématiques statistiques.

La structure du DNA, son fonctionnement, les mutations

En fait pour bien comprendre tout cela il nous faut revenir à l'étude biochimique du DNA.

Le DNA (DesoxyriboNucleic acid) est le support de l'hérédité, qu'il se trouve dans le noyau chez les animaux et les plantes supérieures), dans les mitochondries, dans le cytoplasme comme chez les bactéries ou simplement entouré d'une coque protéique comme chez les virus. Le DNA. Cette macromolécule est rien moins que fixe et immuable ; au contraire elle se contorsionne, s'enroule sur elle-même, mais toujours dans un ordonnancement strict, de telle sorte qu'on doit faire appel aux études topologiques les plus récentes pour comprendre comment elle peut s'enrouler pour se compacter afin d'utiliser le moins de place possible ou comment elle pourra, le moment venu, se dérouler, se décompacter pour exprimer les messages des gènes qui y sont situés. Car effectivement ce DNA est porteur de l'information nécessaire pour fabriquer les protéines qui font la spécificité d'un organisme. On sait maintenant parfaitement que l'information au niveau du DNA est codée par des séries de triplets de bases (bases puriques et pyrimidiques), chaque acide aminé constitutif des protéines est codé par un ou plusieurs triplets de base (code dégénéré).

Les compactages-décompactages, courbements-décourbements, sont très finement régulés par de nombreuses protéines qui prennent naissance dans le cytoplasme et viennent se fixer au DNA

dans le noyau. Et c'est de ce ballet incessant qu'est faite l'expression génétique et pas seulement de la présence du gène.

Oui ce DNA lié à ses protéines est éminemment versatile dans l'espace comme je l'ai montré, mais il l'est aussi dans le temps et le rôle primordial en revient aux mutations qui vont changer le message contenu dans le DNA (les séries de triplets de bases).

a) Les variations de la partie génétique

A chaque instant tout organisme (les cellules d'un organisme) est l'objet de mutations ponctuelles tant sur le génome autosomal que sur le génome sexuel.

N'oublions pas, par exemple, que le cancer est une maladie de l'instabilité génétique et que chacun d'entre nous a en permanence des cellules mutées potentiellement susceptibles de donner un cancer. Les défenses de l'organisme les éliminent au fur et à mesure, le cancer établi résulte alors d'un dépassement des défenses.

Ces mutations ponctuelles portent sur les bases qui se substituent l'une à l'autre. Dans un très grand nombre de cas ces mutations sont silencieuses ou neutres et dans ce cas elles se conservent et s'accumulent dans des parties du génome peu utilisées. Elles forment alors non seulement une dérive silencieuse mais aussi une réserve de variabilité de l'organisme, elles peuvent aussi être réparées.

Ces variations peuvent être plus importantes et intéresser une longue partie du génome (ce sont les phénomènes de crossing over, de délétion, de transposition, d'insertion, de duplication, d'amplification). En pathologie on rencontre souvent de ces phénomènes. La plupart du temps ils introduisent une pathologie, mais quelquefois ils peuvent être compensés. Dans ces phénomènes on ne doit pas oublier les endosymbioses ou la lysogénie . L'endosymbiose est l'insertion du génome d'une bactérie dans une cellule : c'est le cas des mitochondries. La lysogénie est l'insertion d'un virus dans le génome d'un organisme supérieur. Toutes ces mutations introduisent dans le génome d'un organisme, d'une cellule, des capacités nouvelles et donc des variabilités nouvelles. Récemment « Science » la prestigieuse revue scientifique internationale publiait les travaux d'une équipe de Tours montrant qu'une guêpe possédait dans son génome un virus fabriqué au cours du temps à partir d'une particule virale et de séquence propre à la guêpe. Cette guêpe injecte ce virus recomposé, en même temps que ses œufs, à la chenille d'un papillon spécifique, bloquant à la fois la métamorphose et la défense de la chenille contre les parasites. Ainsi les larves de la guêpe peuvent se développer et assurent leur subsistance en consommant la chenille...qui pendant tout ce temps reste vivante. Voilà bien un exemple d'une mutation due à une lysogénie et qui procure à l'organisme un avantage sélectif

J'ai dit plus haut que la différence entre le chimpanzé et l'homme, du point de vue du génome, est une fusion de deux chromosomes du singe en un seul chromosome humain et surtout une inversion péricentrique du chromosome humain 18. Une hypothèse émise par d'éminents généticiens serait que cette mutation (inversion) s'est produite chez un homme, qu'il l'a transmise à sa fille et qu'ensuite il y a eu un inceste pour que la mutation se fixe. La création de l'homme viendrait-elle d'un inceste ?

Ces conclusions proviennent de données constatées en pathologie humaine.

Le problème des virus, de leur propagation et de leurs inclusions dans le génome est passionnant. Il n'est que de suivre les péripéties du SRAS et des virus aviaires. Le virus est capable d'aller se placer dans un génome (de l'infecter) pouvant provoquer une dérégulation de l'expression du gène (c'est le cas des oncogènes), mais aussi de repartir en emportant un fragment du DNA de la cellule hôte. Il a alors lui-même muté et est capable d'aller infecter une autre espèce (par exemple l'homme). De tels phénomènes se sont, à coup sûr, produits dans le passé provoquant une lente dérive des génomes et donc aussi des potentiels d'expression différents.

b) Les variations de l'environnement

Des variations faibles et continues existent et on a vu l'expérience des papillons. C'est aussi ce qu'avait constaté Darwin pour les pinsons des Galapagos. Mais il y a eu aussi des variations brutales : c'est l'hypothèse d'un très gros météorite frappant la terre et provoquant la mort des gros animaux herbivores, puis carnivores (Dinosaurés,). Là également seuls les petits animaux cavernicoles ou vivants dans des terriers ont eu la capacité génétique de s'adapter aux nouvelles conditions et ils ont subsisté. L'homme dérive des Lémuriens de cette époque.

Un problème intéressant est l'adaptation des bactéries aux antibiotiques. Quel qu'ait été l'antibiotique utilisé on a toujours obtenu au bout de quelques années des bactéries résistantes. En fait on montre que la pression de sélection de l'antibiotique est due à une augmentation considérable des taux de mutations jusqu'à ce qu'une mutation apparaisse qui permet une meilleure adaptabilité à l'environnement « antibiotique » et à ce moment ce mutant prend le dessus et prolifère : on est donc bien toujours dans le cas du Darwinisme.

L'autre cas intéressant est l'adaptation des cellules immunocompétentes pour sécréter des protéines très finement adaptées aux antigènes. En présence d'un antigène nouveau, même inconnu, ces cellules sont capables de modifier leurs gènes pour produire des immunoglobulines adaptées. Cette capacité se transmet aux cellules filles : **cela ressemble fort à la transmission des caractères acquis**. En fait, comme pour l'antibiotique, on montre que le phénomène joue par l'activation du taux des mutations de certaines parties, dites hypervariables, des gènes d'immunoglobulines jusqu'à ce que un des arrangements donne à la cellule un avantage sélectif, ce phénomène étant complété par des changements de cadre de lecture tel que nous l'avons défini plus haut.

Le problème de la Protéomique et de l'Epigénétique

Comme j'ai essayé de le faire comprendre, on est passé de visions un peu simplistes comme celle de l'immuabilité du gène à celle certes complexe, mais plus généraliste de transfert de l'information. On connaît très bien maintenant la chaîne :

Message	transcription	message	traduction	fabrication	expression
Phénotype	du	sous	du message	de protéines	des
contenu	message	forme		correspondant	protéines de
dans DNA		de			l'organisme
du noyau		RNA		aux gènes	

Et chaque étape a ses régulations propres modulées par de nombreuses molécules (les effecteurs) simples ou complexes.

On commence à entrevoir le transfert d'information dans l'autre sens à savoir depuis les protéines existantes modulées par les effecteurs vers la traduction, la transcription ou même la structure du DNA (comme par exemple les phénomènes de méthylation du DNA qui modifie grandement son expression)

Avec la génétique propre aux mitochondries, cet ensemble de phénomènes a été classé sous le terme de épigénétique et les recherches sont vives dans ce domaine.

En particulier l'étude fine des protéines (comment elles sont synthétisées, comment elles sont adressées aux bons endroits de la cellule, comment elles sont scindées en protéines puis en peptides qui ont leurs propres actions au niveau de la cellule, quelquefois très différentes de celle de la protéine d'origine etc...), qu'on a appelé la protéomique, est devenue une discipline en soi.

C'est ainsi par exemple qu'on s'est aperçu que toutes les protéines, aussi complexes qu'elles soient, étaient en réalité la résultante de combinaisons d'un nombre limité de « briques ou fragments protéiques » et que l'on retrouvait cela dans tout le règne vivant.

C'est ainsi que la découverte du « prion », protéine cérébrale tantôt normale, tantôt pathologique pouvant conduire à des maladies dégénératives terminales, montrait qu'une protéine était informative par elle-même sans avoir besoin du DNA.

Et nous n'en sommes qu'au début

Le problème de la spéciation et de celui de l'héritage de phénomènes induits chez les ancêtres

Rappelons d'abord comment on définit « l'espèce ». Cette définition est basée sur la reproduction et on dit que deux populations forment des espèces différentes lorsque, même si il existe des ressemblances morphologiques fortes, ces deux populations ne sont pas inter fécondes, ne peuvent donc pas donner de descendants hybrides ;

Pour Darwin la lente dérive du génome par l'adaptabilité d'une population à l'environnement « la lutte pour la vie » est responsable de cette spéciation. Les dérives ultérieures peuvent conduire à des espèces dont les différences, y compris morphologiques, deviennent importantes.

Par exemple les phénomènes naturels amenant à la séparation des individus peuvent être à l'origine de dérives menant à la spéciation :

- On connaît bien les problèmes des lémuriens de Madagascar dont des populations ont été isolées les unes des autres par la création de failles et de vallées infranchissables et ensuite par la forêt primaire.

- De même des botanistes Chinois ont montré que les dérives étaient importantes pour des populations de plantes qui se trouvaient de part et d'autre de la muraille de Chine. La dérive était d'ailleurs plus grande pour les plantes dont la pollinisation est assurée par le vent que pour celles dont la pollinisation est dépendante des insectes. En effet, la muraille n'est pas infranchissable aux insectes. En somme dans un cas comme celui-là, c'est la capacité qu'ont les individus de se croiser et de donner des hybrides qui est un accélérateur de la diversité biologique.

- Récemment l'équipe d'Etienne Danchin (Paris VI) a montré que chez certains oiseaux des phénomènes culturels peuvent être cause de différenciation de population et donc d'évolution. On sait que le chant des oiseaux est un apprentissage culturel qui s'apparente beaucoup aux dialectes. L'équipe en question montre que les femelles du « bruant à couronne blanche » préfèrent se croiser avec des mâles qui ont un certain dialecte, créant ainsi des populations isolées par leur dialecte et ne se croisant plus. On peut alors concevoir que la dérive génétique habituelle se produisant sur ces populations amène à un isolement génétique et ainsi à une spéciation. Mais, là également il s'agit d'une dialectique permanente, puisque la présence même de dialectes différents a elle-même une base génétique importante.

Cependant la question fondamentale de la spéciation reste bien celle-ci : « Qu'est-ce qui fait qu'à un instant donné des individus puissent devenir non inter féconds ? » Autrement dit pourquoi les événements extérieurs environnementaux, qu'ils soient culturels ou autres peuvent influencer à ce point le génome, que deux génomes à l'origine proches puissent devenir étrangers ? Ne rejoint-on pas là le problème de l'hérédité des caractères acquis ?

L'étude des protéines permettant la reconnaissance et la ségrégation des chromosomes homologues au cours des divisions cellulaires apportera certainement des éléments de réponse. C'est pourquoi la technologie du clonage d'animaux supérieurs avec l'étude de l'expression en cascade des gènes dès le début de la fusion des chromosomes est importante. Aucune autre technique ne la remplace actuellement.

Tout aussi intéressant est le problème des conditions de vie d'une population ancestrale sur l'état physiologique des descendants après plusieurs générations. La première étude est celle de

LUMEY (Université de Columbia, USA) sur les bébés conçus pendant la grande famine qui avait sévi aux Pays Bas en 1945. Les bébés naissaient avec des poids moyens de naissance inférieurs à la population voisine non soumise aux mêmes restrictions alimentaires. Ceci pouvait se comprendre. Moins compréhensible était le fait que malgré un retour à des conditions normales d'alimentation, les enfants de ces premiers descendants naissaient, eux aussi, avec un poids moyen inférieur à la normale. Il est impossible que le patrimoine génétique d'une population ait pu changer en une génération.

Une seconde étude a été réalisée en Suède à l'Université de UMEA. Cette équipe montre que l'abondance de nourriture disponible pendant la petite enfance et l'adolescence des grands pères était étroitement corrélée avec le risque pour les petits enfants mâles de développer des maladies cardiovasculaires.

Comme pour la spéciation, des phénomènes environnementaux seraient capables d'influencer une transmission génétique permanente.

Evidemment ces faits demandent à être confirmés et probablement complétés par d'autres études épidémiologiques. Cependant pouvons-nous les interpréter à la lumière du néodarwinisme ? Il est certain que des molécules extérieures (par exemple en provenance de l'alimentation comme certains acides aminés, des protéines, des glucides comme le glucose, des acides gras comme l'acide butyrique) influencent et dirigent le métabolisme des cellules. Les preuves de cela existent déjà. Ces effets se produisent grâce à l'action d'une cascade d'activités enzymatiques qui vont de la membrane cellulaire jusqu'au noyau et donc au DNA C'est ce que je disais plus haut en parlant du transfert d'information dans le sens cytoplasme noyau. On peut donc parfaitement concevoir que parmi les activités enzymatiques figurent les méthylases-déméthylases capables de jouer sur la décompaction et la lecture du DNA (c'est-à-dire son expression). On connaît parfaitement le rôle de ces méthylations dans la répression permanente des gènes ou de chromosomes entiers (la lionisation par exemple). Ces phénomènes se produisent aussi sur le génome sexuel et donc peuvent être transmis à la descendance.

Les actions directes de l'environnement

En 2003 une équipe Française publiait dans la revue Current Biology les résultats de leurs travaux sur l'activation de certains gènes d'embryons de mouches (drosophiles) sous l'action d'une simple pression physique sur l'embryon, à un moment donné de son développement. Cette action induisait alors une variation dans le devenir de l'embryon.

Cette même question s'est posée en ce qui concerne le rôle éventuel de la force de gravitation sur l'asymétrie de l'embryon en développement (ventralisation) ; C'est pour étudier cela que des embryon d'amphibiens ont été envoyés dans l'espace. C'est une question très importante lorsqu'on envisage la possibilité de vivre ailleurs que sur terre.

La recherche en Biologie n'a pas arrêté de nous surprendre et le chercheur doivent toujours avoir l'esprit ouvert et ne jamais s'accrocher à des dogmes, ou tirer des conclusions hâtives de constatations expérimentales.

La théorie de Darwin me semble la plus apte à s'adapter à toutes les constatations que les biologistes ont faites.