HAL
open science

Évolutions optimales dans un monde incertain

Bernard Ancori, Patrick Cohendet, Pierre Garrouste, Jean-Alain Heraud, Gilles Lambert, Patrick Llerena, Marc Willinger

To cite this version:

Bernard Ancori, Patrick Cohendet, Pierre Garrouste, Jean-Alain Heraud, Gilles Lambert, et al.. Évolutions optimales dans un monde incertain. [Rapport de recherche] Centre national de l'entrepreneuriat(CNE). 1989, 215 p. hal-02185199

HAL Id: hal-02185199

https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02185199

Submitted on 16 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Louis Pasteur

4, rue Blaise-Pascal - 67070 STRASBOURG CEDEX (France) - Tél. 88 41 60 99 ou 88 41 61 04 - Télécopie 88 60 75 50 - Télex ULP 870 260 F

BUREAU D'ÉCONOMIE THÉORIQUE
ET APPLIQUÉE
UA 1237 du CNRS

Directeurs

Patrick COHENDET
Rodolphe DOS SANTOS FERREIRA

EVOLUTIONS OPTIMALES DANS UN MONDE INCERTAIN

Décembre 1989

EVOLUTIONS OPTIMALES
DANS UN MONDE INCERTAIN

ARI sur les Sciences de la Communication
ATP Droit et Economie de l'Information
et de la Communication

Rapport présenté par le

BUREAU D'ECONOMIE THEORIQUE ET APPLIQUEE (BETA)

Sous la direction de Bernard ANCORI

Bernard ANCORI
Patrick COHENDET
*Pierre GARROUSTE **
Jean-Alain HERAUD
Gilles LAMBERT
Patrick LLERENA
Marc WILLINGER

Décembre 1989

* ECT / CNRS-MRASH, Lyon.

SOMMAIRE

Page

INTRODUCTION GENERALE ..... I-V

STABILITE DES PREFERENCES ET CONTEXTE EXPERIMENTAL
(par Marc WILLINGER) 4

MEMOIRE, AUTO-ORGANISATION ET CHOIX
(par Bernard ANCORI) 28

AUTO-ORGANISATION ET CREATION TECHNOLOGIQUE
(par Pierre GARROUSTE et Jean-Alain HERAUD) 99

NATURE DE L'INFORMATION, EVALUATION ET ORGANISATION DE L'ENTREPRISE
(par Patrick LLERENA et Patrick COHENDET) 132

APPRENTISSAGE INFORMATIONNEL ET RATIONALITE ECONOMIQUE DES CRITERES D'INVESTISSEMENT
(par Gilles LAMBERT) 171

CONCLUSION GENERALE 201

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

Notre projet était initialement d'explorer les extensions possibles du concept de valeur d'option, à l'intérieur du domaine où ce concept avait pris naissance, il y a un quart de siècle, avec l'article fondateur de B.A. Weisbrod : le domaine des biens environnementaux. C'est là en effet que nous paraissaient devoir se révéler avec le plus de netteté les multiples dimensions des notions d'irréversibilité et d'incertitude, étroitement associées au concept d'information : déclenchés par des "effets de seuil" résultant, sur le plan global, de la composition de comportements parfaitement rationnels au niveau individuel, les phénomènes d'irréversibilité saisis dans ce cadre (disparition d'une espèce ou d'une ressource naturelle, par exemple) permettaient *a priori* de lier l'analyse microéconomique des choix aux conséquences macroéconomiques de ceux-ci, et de donner sa signification la plus radicale à l'incertitude dans laquelle ces choix s'effectuent. L'impossibilité de dresser une liste exhaustive des états du monde possibles - ce lot commun des agents au moment de leurs prises de décisions - et l'irréversibilité le plus souvent attachée aux conséquences de ces dernières, apparaissaient ainsi sous leur jour le plus brutal, ce qui devait donner d'autant plus de force aux implications théoriques potentielles du concept de valeur d'option que celui-ci venait jouer dans un tel cadre.

Dans quelles conditions une politique d'incitations économiques pouvait-elle conduire les agents à percevoir cette valeur comme étant positive et à reporter en conséquence les options irréversibles, dans l'attente d'une information supplémentaire sur les états du monde? Dans quelles autres conditions ce même type de politique aurait-il pour effet d'inciter au contraire ces agents à engendrer activement de l'information dans le système, en choisissant délibérément certaines options bien qu'elles soient coûteuses et irréversibles? Par exemple, comment inciter un agriculteur parfaitement informé des méfaits des pesticides à renoncer à leur emploi? Et s'il y renonçait, et se trouvait ainsi placé devant le dilemme consistant, soit à simplement refuser d'utiliser un pesticide dont les effets à long terme sur les biotopes sont encore inconnus, soit à renouveler radicalement ses méthodes de culture en adoptant de nouvelles formes de lutte (biologique ou intégrée) contre les parasites, comment l'inciter à observer l'un de ces comportements plutôt que l'autre?

Tel était le type de problème dont la résolution constituait l'enjeu théorique et pratique de l'extension projetée du concept de valeur d'option. Chemin faisant cependant, les conclusions d'une autre étude dirigée par l'un d'entre nous (*) venaient remettre en cause la pertinence même de notre thème de recherches, en montrant qu'un système de normes et de réglementations paraissait mieux adapté qu'une politique d'incitations au problème représenté par les risques environnementaux : en la matière, les conséquences non désirées de l'irréversibilité des décisions sont plus efficacement prévenues par des mesures juridiques qu'éloignées par des mesures d'ordre économique.

La raison principale en est la suivante : l'environnement n'ayant pas de valeur en soi, n'en acquiert une qu'en étant médiatisé par un système de préférences. D'où l'importance, à l'évidence cruciale pour la prédictibilité des comportements, du postulat de stabilité des préférences très généralement formulé par la théorie microéconomique du choix rationnel. Or cette stabilité postulée apparaît largement démentie au plan expérimental. De sorte qu'aucune prédictibilité ne semble plus guère possible, aux niveaux micro *et* macroéconomique, avec les outils usuellement maniés par l'économiste dans le cadre traditionnel de sa discipline. Il en va ainsi tant que l'on se cantonne à un tel cadre, même pour les outils les plus récemment forgés - tel le concept de valeur d'option -, car tous s'inscrivent dans une problématique de maximisation sous contraintes qui suppose l'existence d'un sytème stable de préférences chez l'agent. Le démenti expérimentalement apporté à une telle supposition nous confrontait manifestement à un enjeu théorique et empirique débordant largement le seul cadre des biens environnementaux, pour appeler à un renouvellement de la *notion même* de stratégie optimale de l'agent individuel.

De fait, une telle notion prend un sens totalement nouveau dans la problématique introduite par les résultats expérimentaux évoqués à l'instant : celle de *l'évolution d'un organisme doté d'une rationalité limitée au sein d'un monde incertain, dont la trajectoire individuelle apparaît scandée par un apprentissage non programmé, effectué lors d'une succession ininterrompue d'interactions entre cet organisme et son environnement pertinent, et dont l'effet est de contribuer à rendre plus incertaine encore, pour d'autres organismes individuels partageant le même monde, l'évolution ultérieure de celui-ci.* C'est dans un tel cadre que nous avons voulu repenser la notion de stratégie optimale de l'agent.

Pour cela, il fallait d'abord s'assurer que les biais de comportements observés sur le plan individuel présentaient un caractère systématique les empêchant de s'annuler au niveau global. Tel est l'objet du premier article de ce volume, intitulé **"Stabilité des préférences et contexte expérimental"**, dans lequel **M. Willinger** recense les principaux biais de comportements mis en évidence par les psychologues, ainsi que leurs implications pour la théorie économique.

(*) "Irréversibilité et environnement : aspects juridiques et économiques", sous la direction de M. Willinger, BETA, rapport final, PIREN/CNRS, juin 1989.

Inversion des préférences, révélation de préférences auto-contradictoires lors de présentations différentes des mêmes options ("framing effect"), biais liés au traitement de l'information par l'agent victime d'illusions ou d'erreurs de perception quant à la nature réelle des options présentées : ces trois types de biais de comportements se révèlent systématiques, et démentent ainsi l'existence de tout système de préférences stables chez l'agent. Dans une telle situation, deux démarches complémentaires, plutôt qu'alternatives, s'offrent à une analyse économique soucieuse de cohérence externe : 1) considérer des agents appliquant des règles empiriques simples lors de leurs prises de décisions, dans un monde cognitif dominé par une "rationalité limitée" à la Simon; 2) accepter le fait que les préférences individuelles dépendent du contexte actuel de l'agent, et se modifient par suite avec ce contexte. Sans remettre nécessairement en cause l'existence de tout comportement d'optimisation chez l'agent, ces deux démarches invitent l'économiste à entrer dans la "boîte noire" du consommateur, afin de ne plus laisser au seul psychologue le soin de définir une *technologie de la décision* cohérente avec l'expérience.

La deuxième contribution au présent rapport, **"Mémoire, auto-organisation et choix"**, constitue précisément une tentative d'entrée dans cette "boîte noire", puisque **B. Ancori** y propose successivement une explication de l'ensemble des biais précédemment recensés, puis un modèle très général de technologie de la décision optimale dans un monde cognitif évoluant de manière incertaine. De fait, une théorie du fonctionnement de la mémoire a été très récemment présentée, par I. Rosenfield, comme étant alternative de celle que nous associons à la théorie de la localisation fonctionnelle du cerveau, issue de la neurophysiologie du siècle dernier. La conception qui se dégage de ce renouvellement théorique du fonctionnement du cerveau humain, percevant et se remémorant, est celle d'une mémoire *inventive* qui ne se souvient qu'en percevant. Ainsi rendue toujours dépendante du contexte présent de la remémoration, la performance actuellement effectuée par la mémoire ressortit à un système dynamique, propre à intégrer de manière parfaitement rationnelle les prétendues incohérences observées chez les agents. Non programmé, obtenu lors d'interactions avec l'environnement pertinent des agents, et créateur de complexité, l'apprentissage individuel résulte ici d'une logique de l'auto-organisation, non absolument identique, mais très proche de celle tracée naguère par H. Atlan. Etendue à l'analyse dynamique de l'économie, une telle logique permet ensuite de définir deux types principaux de stratégies optimales, s'agissant d'un agent individuel conscient de son insertion dynamique dans un monde évoluant sur un mode de plus en plus incertain.

Si la fécondité potentielle du concept d'auto-organisation propre à H. Atlan se voit révélée par l'extension ainsi proposée, ce n'est pas là le seul type de concept d'auto-organisation intéressant l'économiste. Le troisième article présenté ci-dessous, **"Auto-organisation et création technologique"**, établit un point critique des différentes approches existant actuellement en cette matière. Après y avoir recensé les différents concepts que l'on peut aujourd'hui réunir sous l'appellation générique "auto-organisation", **P. Garrouste** et **J.-A. Héraud** évaluent les portées respectives de leurs applications à l'étude des changements technologiques.

Utilisés dans l'analyse de la dynamique d'une industrie, du processus de compétition technologique, du système autonome d'une industrie, du système de la technologie, ou dans celle de l'évolution globale de l'économie, les concepts d'auto-organisation introduits par H. Atlan ou par I. Prigogine et I. Stengers, ou encore ceux d'autopoièse et d'autonomie proposés par H. Maturana ou par F. Varela, n'ont ni la même signification, ni la même portée théorique, bien que l'on puisse tous les inscrire dans le cadre émergent du paradigme de l'auto-organisation - un cadre dont le contour encore flou laisse cependant deviner la richesse potentielle de ce qu'il renferme. En effet, la technologie étant de plus en plus centrale dans les stratégies industrielles modernes, le progrès technique apparaît sous forme d'un processus d'apprentissage présentant deux grandes caractéristiques d'un phénomène auto-organisé : cet apprentissage procède par *auto-information*, en développant des processus impliquant une véritable mutation organique de la morphologie interne de la firme, mais aussi, un tel processus *met en forme son environnement*, les stratégies ainsi impliquées imposant certains standarts à la partie pertinente du réseau innervant l'ensemble du tissu industriel.

Sous l'intitulé **"Nature de l'information, évaluation et organisation de l'entreprise"**, le quatrième article de ce rapport nous invite à explorer plus profondément la "boîte noire" de la firme moderne, confrontée à un régime d'informations perturbées en provenance de son environnement. Contrainte de repenser une stratégie optimale rendant sa gestion interne dépendante de sa relation à l'état de la demande, de la concurrence, et de la technologie, la firme voit dès lors se poser de manière inédite le problème de l'évaluation de la contribution de chacun de ses éléments à la performance globale de l'ensemble évolutif qu'elle représente. C'est donc principalement l'*auto-information* évoquée à l'instant que **P. Llerena** et **P. Cohendet** proposent d'examiner ici de manière particulièrement fouillée.

Historiquement, il n'a pas toujours été nécessaire, pour la trajectoire optimale de la firme, que celle-ci procède *continuellement* à une telle auto-information : ni le stade de la *standardisation* prévalant jusqu'au début des années soixante dans nos économies industrialisées, ni celui de la *variété* qui lui a succédé, ne l'exigeaient. Associés à un flux d'information *probabilisable* en provenance de l'environnement de la firme, ces deux premiers stades permettaient à celle-ci de concevoir une gestion interne clairement distincte de son environnement. Déterminant des coûts de production parfaitement identifiables et additifs, cette gestion correspondait à une organisation interne de type pyramidal, apte à percevoir le système d'informations stables échangées entre la firme et son environnement. Avec l'émergence récente du stade de la *réactivité* rendue nécessaire par l'incertitude radicale entourant désormais l'évolution de l'environnement de la firme, la stratégie optimale de cette dernière doit aujourd'hui s'ordonner autour d'un objectif de *flexibilité dynamique*, impliquant une circulation souple de l'information - à chaque niveau d'organisation interne de la firme, comme entre ces niveaux. Il n'est alors plus possible de déterminer *ex ante* de manière simple, ni de mesurer facilement *ex post*, l'apport de chacun aux résultats globaux, car *l'information n'est plus une substance donnée que l'on observe, mais une forme variable que son observation même vient activer.*

Après l'intégration spatiale et physique formant les conditions permissives des stades précédents, la survie de la firme passe, au stade de la réactivité, par l'intégration optimale des flux physiques et informationnels, nouvel enjeu de l'arbitrage optimal de l'allocation des complexités dont la détermination est devenue la tâche majeure du décideur.

Le cinquième et dernier article de ce rapport, **"Apprentissage informationnel et rationalité économique des critères d'investissement"**, vient alors définir de manière très précise un *critère de gestion optimale* pour une firme dont l'évolution s'inscrirait dans les conditions globales examinées dans la contribution précédente. Considérant que l'impact d'une procédure d'investissement n'est jamais neutre pour une telle firme, mais joue au contraire sur la *capacité d'adaptation* de celle-ci aussi bien que sur ses *structures d'organisation*, **G. Lambert** est amené à dépasser le cadre de l'analyse financière traditionnelle, en proposant, dans une perspective de "rationalité procédurale" à la Simon, un critère de *liquidité-rentabilité* de l'investissement. Tel qu'il est ici défini, ce critère permet à la firme d'effectuer un investissement maintenant intact l'espace de ses choix possibles futurs. Au vu des développements qui précèdent, l'intérêt théorique et opératoire d'un tel critère est évident.

En effet, ce critère permet à la firme de ne pas se cantonner à attendre passivement l'information en provenance de son environnement, par le report de toute décision irréversible - telle la décision d'investissement -, mais la met au contraire en position d'adopter une attitude active qui n'implique pas pour autant restriction de son espace de choix possibles ultérieurs. Les deux interprétations opposées du concept de valeur d'option se trouvent, en somme, ainsi réconciliées, et ceci au niveau le plus opérationnel qui soit : celui de la mesure de l'optimalité d'une décision par les gestionnaires de la firme, pour lesquels toute décision doit se traduire par une mesure cardinale de l'ensemble de ses effets possibles.

Après avoir été établi dans un cadre *a posteriori* de décision d'investissement avec irréversibilité et croissance de l'information, le critère est complété par la définition d'un prix-limite, consenti par le décideur en échange du service informationnel que lui rendrait un expert, chargé par lui de déterminer, avec un degré donné de fiabilité, l'état qui se réalisera effectivement parmi les états du monde possibles. Dans ce cadre *pre posteriori*, l'investissement informationnel précède donc l'investissement proprement dit. Finalement, il est montré que, loin d'être sans influence sur les variables d'état du système global, la décision d'investissement crée au niveau de ce dernier des options technologiques propres, de sorte que chaque agent exerce une influence non nulle sur l'évolution actuelle et future du système économique. C'est ainsi le second aspect de la dimension auto-organisatrice de l'innovation technologique, mentionné plus haut, qui est explicitement pris en compte : celui qui, au-delà de la seule auto-information de l'unité de décision, voit la firme contribuer à la *mise en forme de son environnement pertinent*.

STABILITE DES PREFERENCES ET CONTEXTE EXPERIMENTAL

par

Marc WILLINGER

1. Introduction

La théorie économique est en grande partie fondée sur l'analyse des comportements. De ce fait, elle est parfois considérée comme une science du comportement, au même titre que la psychologie. Les deux disciplines ont toutefois des projets fondamentalement différents. La première cherche à déterminer *comment* les agents devraient se comporter, alors que la seconde s'intéresse au *pourquoi* des comportements observables. Du point de vue de leurs objectifs, elles apparaissent donc comme largement complémentaires. Par le passé, ces complémentarités ont rarement donné lieu à des échanges. Depuis quelques années cependant, l'état d'ignorance mutuelle a fait la place à des controverses, parfois très vives. C'est le cas pour un thème cher aux économistes, celui de la rationalité des choix. En dépit des désaccords sur le sujet, des "transferts de savoir-faire" entre les deux sciences ont été réalisées. Ainsi, certains psychologues on adopté la théorie de la maximisation de l'utilité comme hypothèse de travail (Rachlin & alii, 1981), pendant que certains économistes ont eu recours aux méthodes expérimentales, utilisées par les psychologues, pour tester leurs hypothèses théoriques.

L'introduction de méthodes expérimentales dans la panoplie des outils à la disposition de l'économiste, a un intérêt évident : celui de pouvoir simuler les comportements réels. Grâce à cet outil, il est possible d'identifier les variables explicatives de ces comportements dans un environnement contrôlé. On peut donc isoler, comme dans un laboratoire, les variables-clé et tester l'action de différents paramètres sur le comportement, grâce à une reproductibilité presque parfaite de cet environnement contrôlé. Bien sûr, les expériences possèdent des imperfections, et pour l'instant, leur champs d'application est très limité en économie. Ils peuvent cependant aider à mieux comprendre la portée des hypothèses de base de la théorie économique, et peut-être à en formuler de nouvelles, moins critiquables.

C'est dans cette perspective que ce papier s'adresse à la question des préférences. L'analyse économique repose sur l'hypothèse qu'il existe un système de préférences "invariant". Sur la base de leurs préférences les agents évaluent les options de choix et prennent des décisions. Les décisions sont donc supposées être cohérentes entre elles et en accord avec les préférences. La propriété

d'invariance des préférences est facile à cerner lorsqu'on prend l'exemple de la théorie de consommateur. On suppose implicitement que les préférences ne dépendent pas du revenu. Si un consommateur préfère A à B étant donné une certaine contrainte de budget, il continuera à préférer A à B si le budget change. Cette modification de l'environnement n'a aucune incidence sur son ordre de préférence.

L'hypothèse d'un système de préférences invariant a été rarement mise en cause par les économistes. Depuis quelques années cependant, les doutes se sont accumulés quant à la stabilité des préférences, et quant à l'existence même d'un système de préférences. Un nombre croissant de travaux expérimentaux semble en effet mettre en évidence une instabilité fondamentale dans les préférences. Celles-ci sont très fortement dépendantes de la manière dont les options de choix sont présentées aux sujets et selon le mode de réponse retenu pour l'expression de ces préférences.

Ces résultats expérimentaux, en apparence peu surprenants pour un non-économiste, sont en désaccord profond avec toutes les théories normatives de la décision qui supposent l'existence d'un système de préférence invariant. En effet, ces théorie admettent généralement les trois propositions suivantes : 1) La description des options n'influence pas les choix. Par exemple, lorsqu'un agent doit choisir entre deux risques, il importe peu que ces risques soient décrits en termes de densité de probabilité ou en termes de distribution de probabilité (densité cumulée). Le choix doit être le même dans les deux cas. 2) L'évaluation coïncide avec le choix. Que l'on demande à un agent lequel parmi deux risques il préfère courrir ou lequel a la plus grande valeur pour lui est sans conséquence. Pour l'économiste, la réponse à ces deux questions est nécessairement la même dès lors que les agents sont supposés être rationnels. 3) Les préférences sont indépendantes de la méthode utilisée pour les exprimer. Par exemple, lorsqu'on demande à l'agent d'exprimer ses préférences en attribuant une note de 1 à 10, on devrait obtenir le même classement des options que dans l'hypothèse où on lui demande de définir un prix de réservation pour chacune de ces mêmes options. Ces trois prédictions simples, indispensables à la cohérence des modèles de décision, sont toutes infirmées par l'expérience.

Ces contradictions ont des conséquences très importantes. Premièrement, ils démontrent de façon radicale l'absence de vertu prédictive de nos modèles de comportement. Deuxièmement, ils nous amènent à nous interroger sur la validité

normative de ces mêmes modèles et des recommandations pratiques qui en découlent. Enfin troisièmement, ils mettent en évidence le jeu de variables non identifiées ou non contrôlées dans les processus d'évaluation et de prise de décision. De nombreuses critiques ont été adressées à ces résultats, en particulier leur manque de réalisme ou de représentativité des situations réelles, l'absence d'apprentissage et le manque de motivations ou d'incitations. Les tests ont été réïtérés pour tenir compte de ces critiques et pour mieux simuler la réalité économique. La plupart des effets persistent, malgré les nombreux stratagèmes imaginés en vue de les éliminer. Il s'agit donc de phénomènes robustes, reproductibles, et suffisamment massifs pour qu'ils interpellent aussi bien le théoricien que le décideur.

L'article se propose de discuter plusieurs résultats expérimentaux, en mettant en évidence leurs implications théoriques et pratiques, en particulier en ce qui concerne l'évaluation et la prise de décision. Dans les trois premiers paragraphes nous montrerons la portée théorique et pratique des principaux résultats expérimentaux qui mettent en cause l'hypothèse de stabilité des préférences. Le premier des trois résultats discutés ci-dessous, le phénomène d'inversion des préférences, se rapporte à la manière dont les individus expriment leurs préférences. Le second, appellé "framing effect", est relatif à la façon dont les agents perçoivent leurs options de choix. Enfin, le troisième effet, s'applique à la manière dont les agents traitent l'information. Après cette présentation nous discuterons les arguments qui sont généralement invoqués à l'encontre de l'approche expérimentale en économie. Le dernier paragraphe abordera la question de la modélisation des préférences en tenant compte des résultats nouveaux issus de l'approche expérimentale.

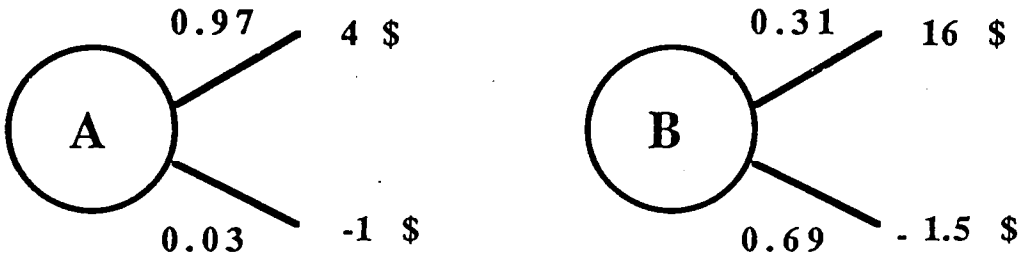
2. L'inversion des préférences (Preference reversal)

Nous commençons par présenter le résultat correspondant à ce type d'expériences, puis nous en donnerons diverses interprétations avant d'en montrer les implications pour la théorie économique.

2.1 Le résultat expérimental

Ce phénomène a été tout d'abord mis en évidence par Lichtenstein & Slovic (1971) et par Lindman (1971). Il s'agissait de montrer que le comportement face au

risque, obéït généralement à d'autres règles que celle que préconisent les économistes. Plus exactement, deux règles de choix, considérées comme identiques en termes de préférences, la maximisation de l'utilité espérée et la "volonté de payer" (offre d'achat), peuvent aboutir selon ces auteurs à des ordres de préférences distincts contrairement à ce que prétendent les économistes. Le test est le suivant : deux options sont présentées aux sujets de l'expérience. La première (appellée P-bet) a une probabilité élevée (proche de l'unité), de faire gagner une certaine somme. La seconde option (appellée $-bet) a une probabilité plus faible de gagner, mais offre un gain beaucoup plus élevé en cas de succès. Deux de ces options sont illustrées sur la figure ci-dessous.



Effet d'inversion des préférences

Dans une première phase de l'expérience, on demande aux candidats de choisir l'une de ces options, et dans une seconde phase on leur demande de fixer le prix minimum auquel ils sont disposés à céder chacune de ces options (ou alternativement, le prix maximum qu'ils sont disposés à payer pour leur acquisition). La plupart des gens choisissent l'option A de préférence à B, mais placent une valeur plus grande sur B. En d'autres termes on observe une inversion des préférences entre le choix et le jugement de valeur.

Ce résultat troublant a suscité bien des scepticismes et des critiques, de sorte que l'expérience à été réïtéré un grand nombre de fois en modifiant les paramètres (notamment les enjeux) et le dispositif expérimental. A la suite de Lichtenstein & Slovic (1971) et de Lindman (1971), l'expérience a été menée par

Grether & Plott (1979), Pommerehne, Schneider & Zweifel (1982), Reilly (1982), Slovic & Lichtenstein (1983), Berg, Dickhaut & 0'Brien (1985) et par Cox & Epstein (1989). L'étude de Lichtenstein & Slovic (1973) est particulièrement intéressante car elle montre l'existence de l'effet en-dehors du contexte expérimental, c'est-à-dire dans une situation mettant en jeu de vrais joueurs dans un Casino de Las Vegas.

2.2 Des interprétations divergentes

Selon Grether & Plott, cet effet révèle une incohérence fondamentale du comportement humain, qui ne semble obéir à aucune règle d'optimisation. D'un point de vue économique, la valeur la plus grande doit être attachée à l'option préférée. Il importe peu que l'ordre de préférence soit révélé par le choix ou par le jugement de valeur. Il faut que prix et préférences coincident. Pour Grether & Plott le phénomène d'inversion des préférences contredit l'axiome de transitivité des préférences. De ce fait, les principes de rationalité du comportement des agents, qui nous servent habituellement à expliquer les "lois du marché", ne s'appliquent pas. Des principes différents sont à la base des régularités que l'on observe dans le fonctionnement des marchés.

La conclusion de Grether et Plott n'a pas été unaniment acceptée. D'une part, les économistes proposent un diagnostic très différent de l'effet d'inversion, et de l'autre, les psychologues font appel à d'autres variables de comportement pour expliquer ce phénomène. Pour les économistes, étant donné l'importance de l'approche normative du comportement, l'axiome de transitivité reste le postulat-clé de la rationalité. Dès lors, ils ont tenté de démontrer que les résultats observés mettaient en cause d'autres propriétés que celle de transitivité. Pour les psychologues au contraire, davantage préoccupés par l'aspect positif que normatif de ces expériences, il s'agissait avant tout d'identifier les variables susceptibles d'être à l'origine des comportements observés.

Du côté des économistes, Holt (1986) et Karni & Safra (1987) ont montré que l'expérience menée par Grether et Plott ne permettait pas de conclure quant au postulat de rationalité réellement incriminé dans la théorie de l'utilité espérée. Ils suggèrent au contraire que l'effet d'inversion n'est pas en contradiction avec l'axiome de transitivité des choix, qui est à la base de toute théorie de la décision, mais qu'il infirme l'axiome d'indépendance, le postulat-clé de la théorie de l'utilité espérée. Par la suite Segal (1988) a également montré que le phénomène

d'inversion pouvait très bien s'analyser comme une réfutation de l'axiome de combinaison des loteries (compound lottery axiom), un autre axiome spécifique à l'hypothèse de la maximisation de l'utilité espérée. Ces conclusions, tout en offrant un mobile supplémentaire de rejet de la théorie de l'utilité espérée, permettent de valider les nouvelles constructions théoriques qui continuent à s'appuyer sur un axiome de transitivité (Cf. Willinger 1990, pour un survey). Toutes ces analyses avaient comme objectif de montrer que les procédures expérimentales ne permettaient pas de discriminer les causes du phénomène d'inversion. Toutefois, une étude expérimentale récente, menée par Cox & Epstein (1989), semble confirmer les conclusions pessimistes de Grether & Plott. Les deux auteurs montrent en effet, que le phénomène d'inversion contredit l'axiome d'antisymétrie, un axiome qui n'est pas spécifique à l'hypothèse de l'utilité espérée, et qui sous-tend un grand nombre de théories de la rationalité des choix. Certains économistes ont adopté une attitude plus positive. Ainsi, pour rendre compte du phénomène d'inversion comme négation de la transitivité, Loomes & Sugden (1982, 1983) ont développé la "théorie du regret" élaborée par Bell (1982). L'idée est que les agents évaluent leurs options non pas isolément, en référence à un système de préférence invariant et préexistant, mais relativement aux autres options présentes au moment du choix. Lorsqu'il compare deux options, l'agent tient compte pour chaque éventualité, du manque à gagner d'une option par rapport à l'autre. En d'autres termes il anticipe l'intensité de son regret d'avoir choisi une option plutôt qu'une autre. L'intérêt de cette théorie est qu'elle possède précisément la propriété d'intransitivité qui selon Grether & Plott est la cause du phénomène.

Les psychologues ont une attitude très différente de celle des économistes quant à l'interprétation du phénomène. Leurs explications se basent généralement sur la différence de mode de réponse entre jugement et choix. La différence de mode de réponse fait appel à des processus cognitifs différents qui conduisent à des décisions différentes (Lichtenstein & Slovic, 1971, 1973). La question "Que préférez-vous ?" appelle une réponse qualitativement différente que la question "Quelle est la valeur de chacune des options ?". Il n'y donc aucune raison a priori de retrouver le même ordre à partir de processus différents. Goldstein & Einhorn (1987) ont montré qu'il y avait non seulement des différences de mode de réponse (jugement ou choix), mais également des différences dans les modes d'expression (prix, ordre, désirabilité, etc...). Les expériences habituellement menées confondent mode de réponse et mode d'expression, puisque les jugements sont exprimés sur une échelle de valeur en termes de prix

de réservation, et les choix sur une échelle de valeur en termes de désirabilité. IL n'est donc pas possible de conclure quant à l'origine de l'effet (mode de réponse ou mode d'expression). En partant de ce constat, Goldstein & Einhorn (1987) montrent qu'il existe plusieurs types de phénomènes d'inversion, certains s'expliquant par des différences de modes de réponse et d'autres par des différences de modes d'expression.

2.3 Les implications du phénomène d'inversion

Que peut-on conclure de ces expériences et de la justification de leurs résultats? En premier lieu, il faut admettre que ces résultats démontrent l'existence de variables intervenant dans le processus de prise de décision habituellement ignorées de l'économiste. Cet oubli porte-il à conséquence ? On serait tenté de répondre que non. Le rôle de l'économiste n'est pas de prédire le comportement d'individus isolés. Ceci relève de la psychologie. Son but est de décrire et de prédire le comportement de groupes à partir d'une théorie élémentaire raisonable du comportement humain. Si l'on ne peut nier l'existence de biais et d'incohérences de comportement au plan individuel, il est fort possible que ces erreurs se compensent à un niveau agrégé, et qu'en moyenne le comportement des agents économiques soit cohérent. Après tout, on constate bien des régularités de comportement à l'échelle des marchés, et on les explique assez bien à partir de l'hypothèse que les agents maximisent leur satisfaction. Mais cela ne suffit pas pour démontrer que l'hypothèse est juste. Par ailleurs, l'argument de la compensation des erreurs au niveau agrégé, est malheureusement infirmé par l'expérience. Plusieurs expérimentateurs (Hershey, Kunreuther & Schoemaker (1982), Hershey & Schoemaker (1985), Delquié & de Neufville (1988)), ont montré que beaucoup d'"erreurs" de choix étaient systématiques. Il ne s'agit plus d'erreurs par conséquent, mais de biais de comportement. Dans ces expériences les sujets avaient toujours la même "tâche" (task) à effectuer (ajuster une variable pour rendre deux options équivalentes), ce qui infirme l'hypothèse de processus cognitifs différents. Au contraire, ces expériences tendent à démontrer l'inexistence d'"un système de valeur stable, préexistant dans la tête des agents", qu'il serait possible de dévoiler à partir d'un processus de révélation.

3. Le "Framing"

Contrairement aux effets engendrés par le mode de réponse, les "framing effects" sont liés à la manière dont les agents perçoivent les options. D'après la théorie économique standard, les préférences ne doivent pas être influencées par la manière dont les options de choix sont décrites. Par exemple, lorsqu'on doit choisir entre deux installations de sécurité, il importe peu que leurs caractéristiques soient décrites en termes de probabilité de panne ou en termes de fiabilité (probabilité que l'installation ne soit pas en panne). Cependant, plusieurs expériences ont montré que le "framing" des options exerçait une influence significative sur les choix. Ces expériences ont été largement discutées par Tversky & Kahneman (1986). L'une des plus intéressantes d'entre elles a été réalisée par McNeil & al. (1982).

3.1 L'expérience de McNeil & al. (1982)

Dans cette expérience, les sujets disposent d'une information statistique sur les thérapies du cancer du poumon. Les mêmes statistiques furent présentées à deux reprises, la première fois en termes de survie, et la deuxième fois en termes de décès. Dans chacun des cas on demandait aux personnes interrogées d'exprimer leurs préférences entre les thérapies.

Problème n°1 (survie)

Chirurgie : Sur 100 personnes opérées 90 survivent à l'opération, 68 sont en vie à la fin de la première année et 34 sont en vie après 5 ans.

Radiothérapie : Sur 100 personnes ayant suivi le traitement, toutes sont en vie à la fin du traitement, 77 sont en vie à la fin de la première année et 22 survivent après 5 ans.

Problème n°2 (décès)

Chirurgie : Sur 100 personnes opérées 10 meurent au cours de l'opération ou durant la phase post-opératoire, 32 meurent au bout de la première année et 66 meurent dans les 5 ans.

Radiothérapie : Sur 100 personnes ayant suivi le traitement, aucune n'est décédée en cours de traitement, 23 meurent au bout de la première année et 78 meurent dans les 5 ans.

Les résultats obtenus auprès de différents groupes de personnes, se répartissent

comme suit (N indique le nombre des réponses)

Problème n°1 : (N = 247) 18% sont favorables à la radiothérapie
Problème n°2 : (N = 336) 44% sont favorables à la radiothérapie

En d'autres termes, l'avantage de la radiothérapie par rapport à la chirurgie, devient plus important lorsqu'il est formulé en termes de réduction de décès immédiat de 10% à 0%, plutôt qu'en termes d'accroissement de la survie de 90% à 100%. Il faut bien noter que dans les deux cas les probabilités sont les mêmes (ce sont les probabilités complémentaires), et que seule la manière de les présenter change. Ce résultat était pertinent aussi bien pour des médecins confirmés que pour les étudiants et pour les patients.

Avant de tirer les conclusions de cette expérience, examinons les résultats de Tversky & Kahneman (1986) qui généralisent ce type d'effet.

3.2 Le "framing" des conséquences

Tversky & Kahneman ont réalisé plusieurs expériences destinée à mettre en évidence l'effet de "framing". L'une d'entre elles est la suivante. Dans chacun des problèmes suivants, les agents doivent efectuer un choix.

Problème n°1 (N = 126) Supposez que vous êtes de 300 $ plus riche qu'aujourd'hui. Que choisissez-vous ?
- un gain certain de 100$ (72%)
- 50% de chances de gagner 200$ et 50% de chances de ne rien gagner (28%)

Problème n°2 (N = 128) Supposez que vous êtes de 500 $ plus riche qu'aujourd'hui. Que choisissez-vous ?
- une perte certaine de 100$ (36%)
- 50% de chances de ne rien perdre$ et 50% de chances de perdre 200$ (64%)

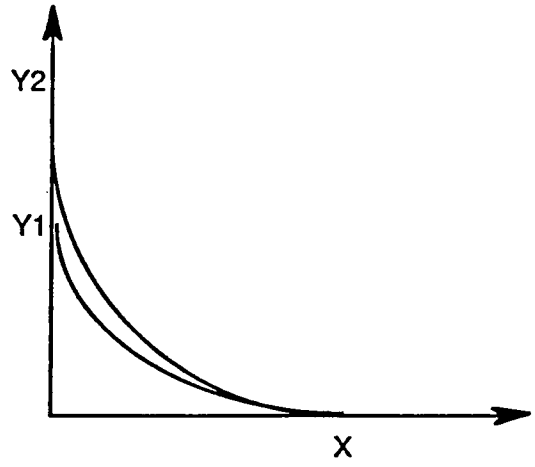
Les résultats de ce test révèlent plusieurs choses. Tout d'abord un résultat classique : la majorité des agents a une aversion à prendre des risques en présence de gains (problème 1) et au contraire une propension à prendre des

risques en présence de pertes (problèmes 2). Mais le résultat le plus intéressant est que dans les deux problèmes, les enjeux sont exactement les mêmes : 400$ avec certitude contre un jeu "50-50" d'avoir 500$ ou 300$. Il y a donc à nouveau "framing effect", cette fois-ci dans un cadre relativement neutre puisqu'il s'agit de gains et de pertes monétaires.

3.3 Les implications du "framing"

Le "framing" pose un problème majeur à l'analyse économique, dans la mesure où il révèle l'incohérence des choix lorsqu'on modifie la présentation des options. Il apparait en effet difficile dans ces circonstances, de faire des prédictions à partir de choix connus, sur les choix que feront les agents dans d'autres contextes. Si la théorie économique perd ainsi de son pouvoir prédictif, cela a de graves conséquences quant aux applications du calcul économique , en particulier pour l'analyse bénéfice-coût et l'analyse bénéfice-risque (Arrow, 1983). En effet, les méthodes d'évaluation économiques se basent sur l'observation des choix réalisés par les agents économiques, pour déduire ce que seraient leurs choix dans d'autres domaines ou circonstances, pour lesquels on ne dispose généralement d'aucune observation. L'hypothèse-clé à la base de ces extrapollations est celle de rationalité des agents, en particulier que leurs choix sont transitifs et leurs préférences invariantes. Une technique couramment utilisée en pratique, consiste à estimer les coûts ou les bénéfices d'un projet, à partir de comportements observés dans d'autres circonstances. Par exemple, dans le cas du risque de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, la valeur de la préservation peut s'exprimer en termes de gains en espérance de vie. Il existe en effet une relation directe entre espérance de vie et exposition au rayonnement ultra-violet. Connaissant le montant qu'un agent est disposé à payer en moyenne pour un acroissement de son espérance de vie (en calculant par exemple la différence de salaire entre les professions à "haut risque" et les professions à "faible risque", toutes choses égales par ailleurs), on peut en déduire la valeur de la protection de l'ozone stratosphérique, ou du moins une estimation du consentement à payer par la collectivité. Outre les approximations pratiques que l'on est obligé de faire pour obtenir ce genre d'estimations (cf. Ashford & Stone, 1988), l'enseignement tiré des expériences menées dans le domaine de la prise de décision, remet complètement en question la validité même de ce type de méthodes.

En effet, ce genre de raisonnement perd de son sens en présence de "framing". Knetsch & Sinden (1984) par exemple, ont montré que certaines méthodes considérées comme équivalentes du point de vue de l'analyse bénéfice-coût, pouvaient conduire à des estimations très différentes de la volonté de payer des agents. Sur le plan expérimental il existe un biais systématique entre la volonté de payer pour le maintien d'un droit et la compensation monétaire exigée pour la perte de ce droit. En général, la compensation demandée est supérieure à la volonté de payer. Ce résultat, qui n'est pas lié à l'effet de revenu dans le cas de l'expérience de Knetsch & Sinden, ne reflète pas nécessairement une irrationalité. Une perte a davantage d'impact psychologique qu'un gain de même montant (Kahneman & Tversky (1979). Les gens sont moins enclins à dépenser des revenus existants que des opportunités de revenus, c'est-à-dire des revenus dont ils ne disposent pas, mais qu'ils ont la possibilité d'obtenir. Les résultats de Knetsch & Sinden présentent également l'intérêt de donner un éclairage nouveau au paradoxe de Scitovsky (1941). D'après ce paradoxe d'économie publique, un mouvement de l'allocation I vers l'allocation II et un mouvement en sens inverse, peuvent être simultanément optimaux au sens de Pareto, c'est-à-dire que dans les des deux cas, selon le critère de Hicks-Kaldor, les bénéfices des gagnants permettent de compenser les pertes des perdants (au moyen d'une taxe par exemple). Selon Knetsch & Sinden ce type de paradoxe se traduit par l'absence de réversibilité des mouvements de long des courbes d'indifférence. Echanger X contre Y n'est pas équivalent à échanger Y contre X. Il existerait en réalité deux cartes d'indifférence, l'une décrivant les substitutions de Y vers X, et l'autre les substitutions de X vers Y (cf. Figure).



Courbes d'indifférence pour différents mouvements

4) Biais liés au traitement de l'information

Un certain nombre d'expériences ont montré que les agents exploitent de manière très insatisfaisante l'information dont ils disposent. Loin d'utiliser l'information rationellement, les agents semblent être souvent victimes d'illusions et d'erreurs de perception.

4.1 L'expérience de Ronen (1971)

Dans cette expérience, on propose aux participants plusieurs options ayant toutes le même résultat (en général un gain monétaire), mais caractérisées chacune par une probabilité de succès distincte. La probabilité de succès est en réalité une probabilité jointe de succès, c'est-à-dire qu'elle dépend du succès à chacune des étapes d'une séquence. Par exemple le succès d'une innovation technologique peut être considéré ex ante comme le cumul de plusieurs succès, celui de la recherche, celui du développement et celui de la commercialisation.

Lorsqu'on présente les options en termes de probabilité jointe de succès, les sujets choisissent en majorité celle qui possède la probabilité la plus élévée (ils maximisent les chances de succès). Au contraire, lorsqu'on leur présente une information plus détaillée, ils ont tendance à choisir les options dont la probabilité de succès est la plus forte à la première étape, même si la probabilité jointe de succès, est légèrement plus faible. On constate par conséquent que dans ce cas, les agents violent même l'axiome de dominance d'après lequel ils devraient toujours choisir l'option ayant la plus grande chance de succès. Une forte probabilité de succès au premier tour n'est pas une condition suffisante pour gagner la partie.

Selon Ronen ce comportement s'explique par la présence d'un effet de séquence. Les agents "actualisent" les sensations futures attendues. Ils préfèrent par conséquent une séquence temporelle du type - "plaisir-déplaisir" (ou "confort-inconfort moral", "facilité-difficulté") - à la séquence "déplaisir-plaisir" (ou "inconfort-confort moral", "difficulté-facilité"). Toutefois, cette explication bien que séduisante n'en demeure pas moins insuffisante. Tversky & Kahneman (1986) obtiennent également des violations de dominance en faisant simplement varier l'information disponible, mais sans que la variable temps intervienne dans l'expérience.

4.2 L'expérience de Tversky & Kahneman (1986)

Dans ce problème, la question était formulée de la façon suivante :

Supposez que vous soyez confrontés simultanément au couple de décisions ci-dessous. Examinez tout d'abord chacune des décisions, puis choisissez l'option préférée (N = 150).

Décision 1 : choisissez entre
A. un gain certain de 240 $ (84%)
B. 25% de chances de gagner 1000$ et 75% de chances de ne rien gagner (16%)

Décision 2 : choisissez entre
C. une perte certaine de 750 $ (13%)
D. 75% de chances de perdre 1000$ et 25% de chances de ne rien perdre (87%)

A priori ces résultats n'ont rien d'étonnant. Les agents ont une aversion au risque pour la première décision qui implique des gains, et une propension à prendre des risques pour la décision 2 qui entraîne des pertes. Ce résultat est classique. Ce qui l'est moins, c'est la violation de la dominance dans ce test. En effet, il était bien précisé aux participants que les deux décisions étaient simultanées. Par conséquent il faudrait en toute logique tenir compte de la combinaison des gains et de leurs probabilités, pour les deux décisions. Si on réalise cette combinaison pour les choix les plus fréquemment observés, on obtient les résultats suivants :

A+D : 25% de chances de gagner 240$ et 75% de chances de perdre 760$
B+C : 25% de chances de gagner 250$ et 75% de chances de perdre 750$

A l'évidence, B+C domine A+D. Pour Tversky & Kahneman (1986), les résultats de cette expérience apportent une preuve supplémentaire à l'hypothèse de l'absence d'invariance des préférences. En effet, lorsque les agents sont confrontés aux options A+D et B+C, ils choisissent sans hésiter B+C. Au contraire, lorsqu'on leur fournit plus d'information sur la structure de ces options il

choisissent le couple A&D. Comme dans le cas du "framing", en faisant simplement varier la quantité d'information relativement aux options, les préférences s'inversent. Ainsi, contrairement à la perception visuelle, ou à la compréhension du langage, en matière de risques, l'homme ne traduit pas spontantément les options de choix en termes canoniques, afin de les rendre aisément comparables.

Il existe d'autres sources de biais se rapportant à la manière dont les agents traitent l'information (Cf. Hogarth, 1980), en particulier le "biais de confirmation" (Cf. Wason, 1966), selon lequel la plupart des gens cherchent à confirmer leurs opinions et non à les infirmer, comme le voudrait la rigueur scientifique. Toutefois, les comportements en cause dans ces expériences dépassent largement le cadre strict de la prise de décision auquel nous nous sommes limités. Nous nous contenterons donc d'évaluer la portée des résultats évoqués jusque là.

5) La réalité de l'expérience

Les expériences que nous avons discutées ont fait l'objet de nombreuses critiques. Ces critiques peuvent se résumer à trois points. 1) les contradictions observées ne s'appliquent qu'à des choix insignifiants. Il s'agit de "curiosités de laboratoire", ne possédant pas d'équivalent dans le monde réel de la prise de décision; 2) Les expériences ne permettent aucun apprentissage, alors qu'en réalité les agents améliorent progressivement leurs décisions car il ont la possibilité d'apprendre par la pratique et de corriger leurs biais; 3) les mécanismes du marché ont des vertus correctrices à travers les "sanctions" pour les mauvaises décisions et les "récompense"s pour les bonnes décisions. En d'autres termes, les mécanismes d'incitation et l'expérience améliorent la qualité et la cohérence des décisions. Lorsque les enjeux en valent la peine, les agents consacrent davantage de temps à la réflexion, et font moins d'erreurs. Pour ces trois raisons, l'hypothèse selon laquelle les agents optimisent n'est pas réellement réfutée par ces expériences. Toutes ces critiques consistent finalement à dire que les expériences engendrent des artefacts, de sorte qu'on ne peut rien en tirer quant aux comportements réels.

Il est toujours possible de rétorquer à ces arguments, qu'il existe, malgré tout, des limites aux capacités cognitives des agents. Mais une telle proposition ne

remet pas en question l'hypothèse que le comportement d'optimisation est une bonne approximation des comportements économiques réels. Il existe néanmoins des raisons de douter des trois arguments précédents.

Prétendre qu'il s'agit de tests de laboratoire, sans valeur descriptive, pose de façon générale le problème de la représentativité du comportement expérimental, et peut-être de l'expérimentation scientifique toute entière. On ne peut donc considérer qu'il s'agit d'une critique spécifique à l'expérimentation en sciences économiques. Admettons cependant que les expériences ne sont pas représentatives. Il faut dès lors accepter le principe qu'aucun test n'est représentatif, ni même ceux qui confirment la théorie. Or, comme l'a fait très justement remarquer Thaler (1986), les économistes ont souvent cité des études expérimentales qui tendaient à confirmer leurs théories. C'est le cas par exemple de l'étude de Kagel et alii (1975), qui a montré, à partir d'expériences sur des rats et des pigeons, que les courbes de demande étaient décroissantes et que les courbes d'offre de travail étaient croissantes ! C'est également le cas pour la théorie des jeux appliquée à l'économie industrielle (Plott, 1982) ou à la théorie de la négociation et des enchères (Roth, 1988). Il faut donc ou bien accepter l'expérimentation comme méthode d'investigation à part entière ou bien la rejeter.

L'argument de l'apprentissage restreint a priori la portée des résultats expérimentaux aux situations non-répétitives impliquant des décisions non routinières. Toutefois, là encore on peut faire plusieurs observations. Premièrement, les situations répétitives supposent des environnements décisionnels stables. La question de l'intérêt théorique et expérimental de cette classe de décisions revient donc à se poser la question de l'intérêt d'étudier les environnements stables. Dans de tels environnements peut-on encore raisonner en termes de décision, pour un acte qui au terme d'un processus d'"essais-erreurs" est une simple répétition automatique ? Deuxièmement, à l'exception du cas idéalisé d'un environnement immuable, la temporalité de l'apprentissage est toujours limitée par celle de l'environnement décisionnel. Les expériences que nous avons mentionnées, appartiennent également à cette catégorie, avec la particularité d'avoir une durée très limitée. Troisièmement, même lorsque les temps d'apprentissage sont explicitement pris en considération, les biais ne disparaissent pas pour autant. Le problème est lié à plusieurs facteurs : les agents ont tendance à rechercher l'information qui confirme leurs opinions (biais de confirmation); le feedback qu'ils reçoivent en réponse à leurs décisions, n'est pas

nécessairement représentatif de l'environnement : "le serveur pense que les jeunes gens laissent peu de pourboire, en conséquence il leur consacrera moins d'attention qu'aux autres consommateurs; donc il recevra moins de pourboire de la part des jeunes; ceci peut même modifier la structure par âge de l'établissement dans lequel il travaille". Cet exemple, emprunté à Hogarth (1980), montre que l'apprentissage est loin d'être optimal, même s'il peut paraître efficace en apparence (le serveur maximise finalement son profit parce-que l'environnement a changé). Mais la répétition des succès, du fait de l'apprentissage, peut conduire à un "excès de confiance" (overconfidence) qui fausse l'évaluation et le jugement , et par suite aboutir à des choix "sous-optimaux" (Einhorn et Hogarth, 1978).

L'argument de l'insignifiance, voire l'inexistence, des stimuli a fait l'objet d'une analyse dans certaines expériences. Par exemple, dans l'expérience du phénomène d'inversion, les enjeux ont été augmentés de manière substancielle afin de motiver davantage les participants, c'est-à-dire stimuler leur attention et leur réflexion. L'idée sous-jacente est qu'il existe une relation "stimulus-réponse"; plus les enjeux sont élevés et "mieux" les agents vont optimiser. Certes en augmentant le montant des enjeux, la fréquence de certains biais tend à se réduire, mais statistiquement les biais de comportement observés restent significatifs. Rendre l'expérience plus attractive ne suffit pas à les éliminer. Cette conclusion est bien illustrée par les controverses entre économistes et psychologues sur le phénomène d'"inversion des préférences". Beaucoup d'efforts ont été consacrés à imaginer des mécanismes d'incitation, sous forme de payements (Pommerehne, Schneider & Zweifel 1982, Reilly 1982) et/ou de pénalités (Berg, Dickhaut & 0'Brien, 1985), avec l'espoir d'éliminer substanciellement, voire complètement, le phénomène. Le succès de ces tentatives a été très limité, de sorte que l'effet d'inversion est aujourd'hui de plus en plus considéré comme une "illusion cognitive" (Roth, 1988).

Reste enfin la question de la pertinence de ces biais au niveau macroscopique. Ces "irrationalités" peuvent-elles engendrer des effets significatifs à l'échelle du système économique, ou sont-elles négligeables à ce niveau d'agrégation ? Nous avons déjà abordé ce point à propos de la compensation au niveau agrégé des erreurs individuelles. Puisqu'il s'agit de biais et non pas d'erreurs, la compensation a peu de chances de se produire ! Mais existe-t-il une influence sensible sur le système économique ? A priori cette question est difficile à trancher d'un point de vue empirique. Il existe cependant

des réponses sur la plan théorique. Ackerlof et Yellen (1985) ont montré que dans le cas où une fraction de la population "maximise à peu près", même lorsque les conséquences de ce comportement sont négligeables au niveau individuel car insignifiantes, elles peuvent engendrer des conséquences de premier ordre au niveau aggrégé, c'est-à-dire une sous-optimalité au sens de Pareto du fait de pertes de bien-être ou de "pertes sèches".

5) Vers une alternative à l'hypothèse d'optimisation ?

Les sections précédentes ont montré que lorsqu'on désirait évaluer de façon empirique ou expérimentale la valeur que les agents attribuent à différentes situations ou objets, on se heurte à de sérieuses difficultés. Il existe en effet plusieurs sources de biais dans les jugements, qui peuvent fausser l'évaluation. Prenons le cas d'un individu auquel on demande d'évaluer un risque technologique, par exemple le risque d'accident nucléaire. Le processus d'évaluation subjectif de ce risque est le suivant. Dans un premier stade, celui de l'acquisition d'information, l'individu interrogé fait d'abord appel à sa mémoire ou aux informations qui lui sont présentées (par exemple des statistiques sur les accidents, des données sur la sécurité des installations, des avis d'experts, etc...). Dans un second stade (stade du traitement) il traite ces données en les comparant à des risques qui lui sont familiers (risque d'accident de voiture, risque d'incendie dans son voisinage, risque de décès par cancer, etc...). Enfin, dans un troisième temps (stade de l'expression), il exprime son jugement. A chacune de ces étapes, des éléments peuvent biaiser le jugement qui sera porté. Au premier stade, l'individu sera très influencé par la manière dont les informations lui sont présentées (framing); de même, il aura généralement tendance à attacher plus d'importance aux informations qui confirment son opinion initiale (biais de confirmation). Au stade du traitement de ces informations, le biais peut provenir par exemple d'une attitude conservatrice par rapport aux données nouvelles qui sont présentées, ou encore du type d'heuristique employée afin de réduire l'effort mental (par exemple, se fonder sur l'estimation d'un risque connu et ajuster cette estimation à la situation proposée). Enfin, au stade de l'expression du jugement, le biais peut provenir du mode de réponse (jugement, désirabilité, ...) ou du mode d'expression (en termes de coûts, de probabilité, etc...).

Le shéma ci-dessous, proposé par R. Hogarth (1980), est un schéma de référence plausible du processus de jugement qui permet d'identifier les

différentes sources possibles de biais dans le comportement.

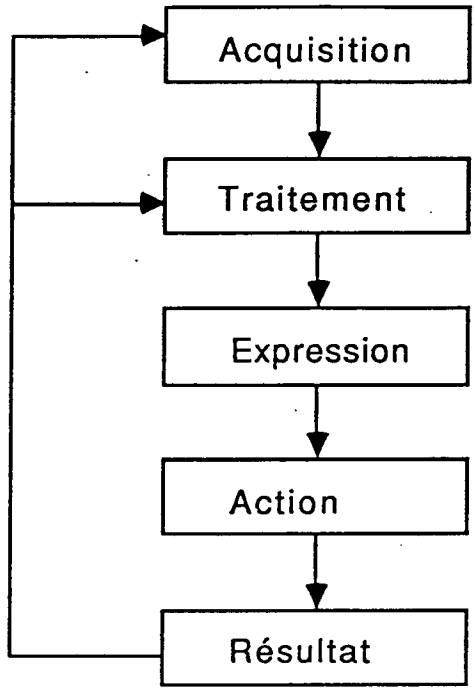


Figure 3 : Modèle conceptuel du processus de jugement

En plus des trois stades que nous avons évoqués ci-dessus, R. Hogarth intègre dans son schéma la possibilité d'effets de rétroaction (feed-back) des jugements sur la perception ou sur le traitement, engendrés par les résultats de l'action adoptée à la suite d'un jugement. Ce "feed-back" est à la base des phénomènes d'apprentissage. Un exemple de biais fréquent relatif au feed-back, est la confusion entre "cause" et "aléa". Les individus attribuent les résultats qu'ils observent non pas à des phénomènes du hasard mais à leurs actes. Ils peuvent ainsi être victime d'une "illusion de contrôle" sur leur environnement.

Ce schéma descriptif du comportement est malheureusement trop général pour servir de fondement à une théorie économique du comportement. Il a le mérite d'attirer l'attention sur un certain nombre de problèmes qui peuvent se poser dans l'application du calcul économique. Ainsi, lorsqu'on cherche à

mesurer la valeur d'un bien pour une population à partir d'un questionnaire, il est nécessaire d'identifier toutes les sources potentielles de biais et d'analyser le sens dans lequel ces biais peuvent jouer, afin de pouvoir les corriger le cas échéant. Par exemple, appréhender l'attitude face à un risque d'irréversibilité en termes de volonté de payer (valeur d'option) peut entrainer des conclusions contradictoires avec les choix effectifs des agents. Les agents peuvent être disposés à payer une forte somme pour préserver une espèce, et néanmoins faire des choix qui favorisent la disparition de cette même espèce. Par exemple, condamner le massacre des éléphants mais acheter des bijoux en ivoire, ou s'opposer à la capture d'animaux sauvages mais porter des vêtements de fourrure.

Mais le principal problème posé par les résultats expérimentaux et le modèle de Hogarth, est celui de l'invariance des préférences. Dans la mesure où les réponses varient selon le mode d'expression et le type de "framing", on est en droit de se poser la question de l'existence d'un système de préférences invariant chez les agents économiques. Or, si la propriété d'invariance n'est pas vérifiée cela n'a aucun sens de parler de valeur pour un bien. Comment, en effet, fonder une théorie de la valeur-utilité sur des préférences qui n'existent pas ? Sans aller jusqu'à nier l'existence des préférences, il faut reconnaître que les résultats expérimentaux discutés ici peuvent donner lieu à au moins deux interprétations. La première serait que les agents n'ont pas un comportement d'optimisation au sens habituel du terme, mais appliquent des règles empiriques simples qui leurs permettent d'aboutir rapidement et/ou facilement à une réponse ou à une décision. Ils utilisent alors des heuristiques du type "anchoring-and-adjustement" (cf. par exemple Dawes 1988), ou des "raisonnements approximatifs". Cette interprétation est en accord avec l'idée de "rationalité limitée" proposée par Simon (1956), et de ce fait elle ne contredit pas a priori l'hypothèse d'un comportement d'optimisation prenant en compte des contraintes supplémentaires (capacités cognitives limitées, coûts de l'effort mental, coûts relatifs à l'exploration du champs des possibles, etc...). La seconde interprétation consiste à dire que les préférences dépendent très fortement de l'environnement de la décision ou du contexte de l'évaluation. Les jugements et les choix sont influencés par des facteurs externes non pertinents à la prise de décision. Nous sommes en présence dans ce cas d'un phénomène comparable aux effets externes. De même que les effets externes modifient les contraintes de la décision (ensembles de budget, ensembles de consommation) et par conséquent le niveau de profit ou d'utilité, les effets discutés ici exercent une influence sur l'ordre de préférence des agents et de ce fait sur l'utilité. A la différence des effets externes toutefois, la

dépendance entre le choix et l'environnement de ce choix n'est pas imposée de l'extérieur (comme dans le cas "pollueur-pollué" par exemple), mais est "créée" par l'agent lui-même.

Quelle que soit l'interprétation retenue, il apparait que les questions relatives à la formation des préférences et aux processus de prise de décision, mériteraient une attention plus grande. Un parrallèle avec la théorie de la firme est tentant. Pendant longtemps la théorie économique a considéré le processus de production comme une "boîte noire", l'étude du processus lui-même étant réservée à l'ingénieur, alors que l'économiste devait se borner à l'étude des flux d'inputs et d'outputs. Depuis quelques années cette conception du rôle de l'économiste a profondément évolué, et il est aujourd'hui admis que la compréhension des phénomènes de progrès technique et d'innovation passe impérativement par l'étude des transformations des processus de production. Il est dès lors indispensable de dépasser le niveau de détail de la microéconomie traditionnelle afin de décrire ce qui se passe à l'intérieur de la boîte noire. Pour des raisons analogues, il nous semble nécessaire de faire un pas dans la même direction pour la théorie du consommateur. Les préférences ne sont pas données mais sont modelées par différents paramètres. Elles ne préexistent pas nécessairement à l'évaluation mais peuvent se former conjointement. Décider n'est pas synonyme de préférer. Pour comprendre ces propositions et en tenir compte, il est indispensable que l'économiste étudie ce qui se passe dans la "boîte noire" du décideur, afin de comprendre la "technologie de la décision", un domaine traditionnellement réservé au psychologue.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERLOF G. & YELLEN J. [1985] , "Can small deviations from rationality make significant differences to economic equilibria ?", *American Economic Review*, vol. 75, 1985, pp. 708-720.

ALLAIS M. [1953], "Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats de l'école américaine", *econometrica*, vol.21, n°4, 1953, 503-546.

ASHFORD N. A. & STONE R. F. [1988], "*Cost-benefit analysis in environmental decision-making*", MIT, Cambridge, 1988.

ARROW K.J. [1983], "Behavior under uncertainy and its implications for policy", in *"Foundations of Utility and Risk Theory with Applicationsl*, B. STIGUM & F. WENSTOP (eds), D. Reidel (Publ.), 1983, 19-32.

BELL D. [1982], "Regret in decision-making under uncertainty", *Operations Research*, 30, 1982, 961-981

BERG J. E., DICKHAUT J.W. & O'BRIEN J. R. [1985], "Preference reversals and arbitrage", in V.L. Smith (ed), *Research in Experimental Economics*, vol. 3, Greenwich : JAI Press, 1985.

COX J. C. & EPSTEIN S. [1989], "Preference reversals without the independence axiom", *american economic review*, 79, 1989, 408-426.

DAWES R. [1988], "*Rational choice in an uncertain world*", Harcourt Brace Jovanovich Publ., 1988.

DELQUIE P., DE NEUFVILLE R. [1988], *"Response-modes and inconsistencies in preference assesments"*, TPP, MIT, Cambridge, september 1988.

EINHORN W., HOGARTH [1978], "Confidence in judgement : persistence in the illusion of validity", *Psychological review*, 85, 1978, 395-516.

GOLDSTEIN W., EINHORN H. [1987], "Expression theory and the preference reversal phenomena", *psychological review*, 94, 1987, 236-254.

GRETHER D., PLOTT C. [1979], "Economic theory of choice and the preference reversal phenomenon", *american economic review*, 69, 1979, 623-638.

HERSHEY J., KUNREUTHER H.,SCHOEMAKER P. [1982], "Sources of bias in assessment procedures for utility functions", *Management science*, 28, 1982, 936-954.

HERSHEY J., SCHOEMAKER P. [1985], "Probability versus certainty equivalence methods in utility measurement : are they equivalent ?", *Management Science*, 31, 1985, 1213-1231.

HOLT C. A. [1986], "Preference reversals and the independence axiom", *american economic review*, 76, 1986, 508-514.

HOGARTH R. [1980], *"Judgement and choice"*, second edition, Wiley.

KAGEL J., RACHLIN H., GREEN L., BATTALIO R., BASMANN R., KLEMM W. [1975], "Experimental studies of consumer demand using laboratory animals", *Economic Inquiry*, 13, 1986, 22-38.

KAHNEMAN P., TVERSKY A. [1979], "Prospect theory : an analysis of decision under risk", *econometrica*, 47, 1979, 263-291.

KARNI E. & SAFRA Z. [1987], "Preference reversals and the observability of preferences by experimental methods", *econometrica*, 55,1987, 675-685.

KNETSCH J. L. , SINDEN J. A. [1984], "Willingness to pay and compensation demanded : experimental evidence of an unexpected disparity in measures of value", *Quarterly journal of economics*, 99, 1984, 507-21.

LICHTENSTEIN S., SLOVIC P. [1971], "Reversals of preferences between bids and choices in gambling decisions", *journal of experimental psychology*, 89, 1971, 46-55.

LICHTENSTEIN S., SLOVIC P. [1973], "Response-induced reversals of preferences in gambling : an extended replication in Las Vegas", *journal of experimental psychology*, 101, 1973, 16-20.

LINDMAN H. R. [1971], "Inconsistent preferences among gambles", *Journal of Experimental Psychology*, 89, 1971, 390-397.

LOOMES G., SUGDEN R. [1982], "Regret theory : an alternative of rationale choice under uncertainty", *Economic Journal*, 1982, 805-824.

LOOMES G., SUGDEN R. [1983], "A rationale for preference reversal", *Amereican economic review*, 1983, 428-432.

McNEIL B., PAUKER S., SOX H., TVERSKY A. [1982], "On elicitation of preferences for alternative therapies", *New England Journal of Medicine*, 306, 1982, 1259-1262.

POMMERENHE W.W., SCHNEIDER F. & ZWEIFEL P. [1982],"Economic theory of choice and the preference reversal phenomenon : a reexamination", *american economic review*, 72, 1982, 569-74.

PLOTT C. [1982], "Industrial organization theory and experimental economics", *Journal of economic literature*, 20, 1988, 1485-1527.

RACHLIN H., BATTALIO R., KAGEL J., GREEN L., [1981], "Maximization theory in behavioral psychology", *The Behavioral and Brain Sciences*, 4, 1981, 371-417.

REILLY R.J. [1982], "Preference reversal : further evidence and some suggested modifications in experimental design", *american economic review*, 72, 1982, 576-84.

RONEN J. [1971], "Some effects of sequential aggregation in accounting on decision-making", *Journal of Accounting research*, 9, 1971, 307-332.

ROTH A. [1988], "Laboratory experiments in economics : a methodological overview", *Economic Journal*, 98, 1988, 974-1031.

SAVAGE L.J. [1954], "*The foundations of statistics*", J. Wiley, New-York.

SCHUMPETER J. [1954], "*History of Economic Analysis*", New-York, Oxford University Press.

SCITOVSKY T. [1941], "A note on welfare propositions in economics", Review of economic studies, 9, 1941, 77-88.

SEGAL U. [1988], "Does the preference reversal phenomenon necessarily contradict the independence axiom ?", *american economic review*, 78, 1988, 233-36.

SLOVIC P. & LICHTENSTEIN S. [1983], "Preference reversals : a broader perspective", *american economic review*, 73, 1983, 596-605.

THALER R. [1986], "The psychology and economics conference handbook : comments on Simon, on Einhorn and Hogarth, and on Tversky and Kahneman", in *Rational choice : the contrast between economics and psychology*; R. HOGARTH & M. REDER eds., University of Chicago Press, 1986, 95-100.

TVERSKY A., KAHNEMAN D. [1986], "Rational choice and the framing of decisions", in *Rational choice : the contrast between economics and psychology*; R. HOGARTH & M. REDER eds., University of Chicago Press, 1986, 67-94.

VON NEUMAN J., MORGENSTERN O. [1947], "*Theory of games and economic behavior*", Princeton university press, 1947.

WASON P.C. [1960], "On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.

WILLINGER M. [1990], "La rénovation des fondements de l'utilité et du risque", *Revue Economique*, à paraître, janvier 1990.

MEMOIRE, AUTO-ORGANISATION ET CHOIX

par

Bernard ANCORI

Contrairement au postulat qui sous-tend l'ensemble de l'analyse théorique du choix au niveau microéconomique, l'article de M. Willinger vient de suggérer qu'il pourrait ne pas exister de système stable de préférences chez les agents : l'expérience montre ces derniers réagir de manière apparemment contradictoire, voire incohérente, aux diverses alternatives qui leur sont successivement proposées. Dans une telle situation, le théoricien n'a que deux possibilités : soit il fournit une explication *ad hoc* à chaque comportement infirmant localement une théorie à laquelle il continue d'adhérer globalement, soit il reformule entièrement les bases sur lesquelles s'appuie la théorie. Retoucher partiellement un cadre analytique dont l'essentiel paraît demeurer valide, ou tenter de produire un nouveau paradigme : deux attitudes mutuellement exclusives qui sont celles que T.S. Kuhn (1962) nous a appris jadis à considérer respectivement comme celles de la science ordinaire et de la science extraordinaire. Naturellement, le degré de rationalité propre à chacune de ces attitudes dépend étroitement du matériel épistémologique disponible pour une reconstruction plus ou moins radicale de la théorie : tant que ce matériel demeure relativement pauvre, la première attitude est la plus rationnelle puisqu'elle refuse légitimement de rejeter un acquis qu'aucun apport nouveau n'est assez consistant pour remplacer; par contre, dès lors qu'existent des éléments suffisamment solides pour offrir les matériaux d'une construction alternative, intégrant les exceptions ou anomalies inexpliquées par le paradigme précédent, il devient davantage rationnel d'adopter la seconde.

Bien que la première attitude continue d'informer majoritairement la littérature, il semble que la théorie du choix individuel se trouve aujourd'hui dans la seconde situation : une série de contributions récentes, initialement ancrées dans le domaine de la biologie mais de portée bien plus générale, viennent converger pour offrir à l'économiste les ingrédients d'une nouvelle approche du comportement de l'*homo oeconomicus*. Le présent article a pour ambition de présenter certaines de ces contributions, non pas sur le mode stérile d'un catalogue visant à une impossible exhaustivité mais plutôt sur celui de l'étayage progressif d'un modèle intégré du comportement rationnel de l'homme confronté à un choix. Fédérées par l'évidence selon laquelle tout choix contraint l'agent à se souvenir du passé autant qu'à imaginer le futur - mémoire et imagination se mêlant inextricablement pour former les déterminants même du choix de l'*homo cogitans* -, trois étapes seront ici distinguées afin de construire un tel modèle.

Première étape : l'invention de la mémoire

C'est sous ce titre à double sens - mémoire inventive autant u'inventée - que le mathématicien, médecin et philosophe I. Rosenfield a roposé très récemment de nouvelles vues sur le fonctionnement du cerveau umain, et du substrat neurophysiologique de ce fonctionnement. Ces vues ont nouvelles en ceci qu'elles contredisent la conception traditionnelle e la mémoire, associée à la théorie de la localisation fonctionnelle du erveau. Après avoir exposé les grandes lignes de cette théorie, nous ntionnerons certaines données expérimentales susceptibles de lui porter un démenti, puis nous attacherons à réinterpréter ces données ns la perspective ouverte par le "darwinisme neuronal" de G.M. Edelman - rspective dans laquelle s'inscrit explicitement la contribution propre I. Rosenfield.

Mémoire et théorie de la localisation fonctionnelle

De manière plus ou moins explicite, le cerveau humain est néralement conçu comme une mosaïque de zones (de centres) où seraient primées et déposées en permanence des images et symboles formant ce il est convenu d'appeler la mémoire. Ainsi, chacun de nous disposerait stamment d'un stock de souvenirs consistant en traces identifiables, ssées et enregistrées, de perceptions passées représentant elles-mêmes ant d'images exactes des événements survenus dans son environnement. st à partir de ce stock de souvenirs que s'effectuerait cette foncion ébrale distincte de la perception - la reconnaissance : à tout instant, re cerveau découperait le monde en données sensibles qu'il comparerait, r les reconnaître, aux images acquises précédemment et enregistrées. n qu'elle ne réponde pas à la question de savoir comment sont gravées *premières* images auxquelles comparer les nouvelles données sensibles - rs même qu'elle implique qu'il n'y ait pas de perception sans rentissage préalable - cette théorie bénéficie de deux types de tiens, l'un relativement ancien et l'autre très moderne.

Le soutien ancien est celui de P. Broca, qui montra en 1861 que la e de certains usages de la parole (certains troubles d'élocution) espondait à une petite lésion d'une certaine zone du cerveau gauche - lée depuis l'aire de Broca : plus précisément, à la suite de ces aux la perte de l'image auditive des mots apparut tout naturellement à l'altération d'un centre où serait localisée la mémoire des ements nécessaires au langage articulé. Par extension,

couvrit par la suite d'autres centres du langage, possédant une action spécifique sur la parole, et res cérébrales contrôlant la motricité de certaines parties du corps : les mains, les doigts, la , etc. (...) Au terme du XIXème siècle, de nombreux neurologues en avaient déduit que le cerveau constitué d'un ensemble de régions hautement spécialisées exerçant un contrôle sur la parole, rité motrice ou la vision. A la localisation et à la spécialisation fonctionnelle vint s'ajouter un ge de la mémoire en de nombreuses sous-unités spécialisées. Il y eut des centres de la mémoire se ant aux 'images visuelles des mots', aux 'images auditives des mots'; la perte de la mémoire peut s'expliquer par la disparition d'une image (ou d'un centre) mnésique spécifique, ou bien par acité du cerveau à 'consulter ses fichiers', due à une rupture des voies de conduction nerveuses. Sur le plan théorique, la plus importante conséquence de ces recherches fut la doctrine de la ation fonctionnelle." (I. Rosenfield, op. cit., p. 20).

La théorie de la localisation fonctionnelle considère donc comme établie l'existence de toute une série de relations entre certains lieux précis du cerveau et certaines grandes fonctions remplies par l'organisme. Une telle conception fut d'emblée à l'origine de brillantes études cliniques prédisant la localisation exacte de lésions cérébrales d'après les symptômes de dysfonctionnement présentés par les patients - et voyant leurs prédictions confirmées à l'autopsie. Ainsi, s'il est vrai que

" sans la croyance en des souvenirs constamment présents dans la mémoire, la théorie de la localisation fonctionnelle n'aurait pas été concevable" (I. Rosenfield, op. cit., p. 21),

il est tout aussi vrai que l'effet de ces études cliniques fut de renforcer et d'étendre une telle croyance. Remarquons immédiatement que ce concept de "mémoire" - sous-tendant une théorie de la localisation fonctionnelle qui vient à son tour le renforcer - connaît une extension très large : ce concept recouvre aussi bien le type de mémoire nécessaire pour (re)produire une suite de sons (articulés en une chaîne parlée dotée de signification) à partir de l'image auditive des mots, que la mémoire dont chacun a besoin pour retrouver son chemin dans une ville déjà visitée par lui. Bien que tel puisse être le cas, il ne s'agit donc pas forcément ici d'une mémoire mise en acte de façon délibérée et consciente. Il reste que, tous types confondus, cette mémoire est idéalement considérée comme parfaitement fidèle par la théorie de la localisation fonctionnelle - une fidélité *point par point* pourrait-on dire : une telle mémoire garde en stock l'image *exacte* d'un stimulus-événement perçu, et conserve indéfiniment cette image sans altération aucune. Soigneusement classée et enregistrée, celle-ci est donc prête à tout moment à être confrontée - par une fonction de reconnaissance présumée distincte de la fonction de perception - à l'image d'un stimulus-événement éventuellement candidat à être reconnu comme identique au précédent. Un stock de souvenirs spécifiques, présents en permanence dans notre cerveau de manière indépendante du contexte actuel de celui-ci, et immédiatement mobilisables au service de la fonction de reconnaissance : telle est la conception de la mémoire, inhérente à la théorie de la localisation fonctionnelle.

C'est une conception de ce genre qui fonde implicitement le postulat d'existence d'un système stable de préférences chez l'agent dont le comportement est analysé par la théorie microéconomique : l'ordre dans lequel sont classées les préférences d'un tel agent est supposé parfaitement indépendant du contexte dans lequel ce dernier se voit soumettre les termes du choix. En effet, dès lors qu'il est mis en demeure de choisir entre deux paniers de biens A et B et qu'il révèle sa préférence pour le panier A, cet agent est réputé se tenir à un tel choix dans l'avenir - en préférant toujours ce panier au panier B quand les deux lui sont simultanément présentés. L'adverbe "toujours" signifie en particulier ici "quel que soit le contexte dans lequel le choix entre A et B est soumis à l'agent", de sorte que tout se passe comme si celui-ci gardait en permanence en mémoire un ordre stable de préférences, dont ses choix successifs viendraient révéler - et immanquablement confirmer - la nature. Demeurant inchangé à travers les contextes divers présidant à l'expression du choix, ce système stable de préférences répond étroitement à la mémoire parfaitement fidèle de la théorie de la localisation fonctionnelle : il apporte toujours la même réponse à une question donnée, indépendamment du contexte dans lequel cette question est posée.

Pour être ainsi prêtées à la mémoire de l'*homo cogitans* qu'abrite l'*homo oeconomicus*, de telles propriétés évoquent fortement celles que nous tenons habituellement pour caractéristiques de la mémoire des ordinateurs. C'est la raison pour laquelle la théorie de la localisation fonctionnelle trouve un soutien très moderne dans le développement des activités liées à l'informatique - plus particulièrement, note I. Rosenfield (op. cit., p. 22), dans l'extension récente de la simulation par ordinateur. Un tel soutien apparaît si naturel qu'il demande à peine à être explicité. Avec P. Lévy (1987, p. 90), il suffit en effet d'étendre le contenu du concept de *calcul* au delà de son sens mathématique restreint d'ensembles d'opérations arithmétiques, en rassemblant sous ce terme toute opération de tri, de classement, de permutation, de combinaison, de comparaison, de substitution ou de transcodification, pour qu'il devienne évident que l'*homo computans* de la théorie économique représente la figure emblématique de ce que cet auteur appelle le *paradigme du calcul* (op. cit., pp. 88-118). A l'instar de l'ordinateur, notre *homo computans* est donc un automate, c'est-à-dire un dispositif transformant des messages d'entrée en messages de sortie suivant la structure logique imprimée à un algorithme de tri, de classement, etc.. Dans la mesure où l'observation montre des agents économiques réels se livrer très concrètement à de telles transformations, l'on peut légitimement se demander si la description théorique du comportement de l'*homo computans* ne traduit pas de manière entièrement fidèle l'ensemble des processus se déroulant dans les méandres du cerveau humain :

"En 1943, Mac Culloch et Pitts mettent en évidence l'isomorphie entre la dynamique des états d'un réseau de neurones idéalisés, ou formels, et le calcul des propositions dans le système de Russell. Ils démontrent en outre qu'un réseau de neurones formels (c'est-à-dire un modèle simplifié du cerveau) possède les mêmes capacités de calcul qu'une machine universelle de Turing pourvu qu'on lui adjoigne un ruban de longueur indéfinie et une tête de lecture-écriture. Cette condition semble raisonnable, puisque la plupart des hommes savent tracer des signes mnémotechniques sur différents supports et les relire. En bref, des automates physiques peuvent réaliser toutes les opérations intellectuelles descriptibles de façon finie et non ambiguë, et le cerveau pourrait bien être un de ces automates. Cela ouvre à la fois le programme d'une partie de la neurobiologie contemporaine et celui de l'intelligence artificielle. (P. Lévy, op. cit., p. 95).

Dans la suite de son article, la perspective de P. Lévy est clairement critique vis-à-vis de certains prolongements d'un tel néomécanisme, qui conçoit l'univers physique comme étant exclusivement composé d'automates se livrant tout uniment à des opérations de traitement de données sur le mode impliqué par le paradigme du calcul, et qui donne par là-même l'univers entier pour omnicalculant. Cependant, malgré sa visible réticence à l'égard de cette métaphysique computationnelle, cet auteur n'en souligne pas moins que

"Force est de constater que le débat scientifique et philosophique tend de plus en plus à se polariser autour des problèmes et dans le langage que le néomécanisme a réussi à imposer." (Ibid., p. 99).

Or ce type de problèmes, comme le langage utilisé par le néomécanisme, renvoient directement à la conception de la mémoire qui est associée à la théorie de la localisation fonctionnelle. Désormais soutenue par l'évidence des succès opératoires des outils construits sur son modèle comme par certaines interprétations cliniques de la pathologie de la mémoire, une telle conception n'en prête pas moins le flanc à la critique.

2. Contre la localisation fonctionnelle

Plus de soixante pages : un bon tiers de l'ouvrage de I. Rosenfield tient en son premier chapitre (pp. 27-93), consacré à une réinterprétation critique des données cliniques venant apparemment appuyer, depuis plus d'un siècle, la conception de la mémoire liée à la théorie de la localisation fonctionnelle. Il n'est certes pas question d'énumérer ici exhaustivement les éléments du long débat opposant les partisans de cette dernière (P. Broca [1861], D. Ferrier [1873], K. Wernicke [1874], L. Lichtheim [1885], J. Dejerine [1891]), ou les tenants de la modularité fonctionnelle (1) (J. C. Marshall et F. Newcombe [1966], E. Warrington [1970]), à d'autres auteurs, ayant défendu en ordre plus dispersé, qui une théorie holistique du fonctionnement du cerveau (M.J.P. Flourens [1840]), qui une approche mettant l'accent sur l'importance du contexte et de la signification pour l'activité de remémoration (A.A. Low [1930], A.R. Luria [1960]). En fait, de la lecture de ce chapitre ressortent essentiellement deux propositions liées : 1) la mémoire activée par le cerveau humain ne peut pas consister en traces mnésiques spécifiques, organisées en une collection d'images fixes que la fonction de reconnaissance permettrait de comparer à celles des objets nouvellement perçus; 2) la remémoration n'est pas indépendante du contexte dans lequel le cerveau est invité à (re)produire un souvenir : au contraire, elle dépend étroitement des aspects affectifs entourant aussi bien la "mise en mémoire" que "l'extraction du souvenir".

Pour se convaincre de la pertinence de ces deux propositions, il suffit d'envisager un corpus de données rassemblées autour de trois points. Le premier examine brièvement le cas de "l'homme qui ne savait pas lire ce qu'il avait écrit", rapporté en 1892 par J. Dejerine (cf. I. Rosenfield, pp. 42-66). Le deuxième évoque la polémique ayant opposé le neurologue anglais J. Hughlings-Jackson à S. Freud (ibid., pp. 69-80); les vues de ce dernier furent indirectement confirmées par les "flash-back" mnésiques mis en évidence par W. Penfield dès 1933 et dont l'exploitation analytique ne fut complétée qu'en 1982 par P. Gloor (ibid., pp. 152-156). Quant au troisième point, il rappelle les résultats expérimentaux obtenus par A.A. Low et A.R. Luria (ibid., pp. 83-87).

a) l'homme qui ne savait pas lire ce qu'il avait écrit

Bien qu'il considérât la théorie de la localisation fonctionnelle comme une affaire entendue, J. Dejerine s'opposa à la version radicale de cette doctrine, qui donnait chaque faculté de l'homme et de l'animal pour déterminée et contrôlée au niveau cérébral par une aire anatomiquement distincte. Plus précisément, il contesta la réalité du prétendu centre responsable de l'écriture mis en avant par S. Exner, en faisant remarquer que l'agraphie n'était jamais un symtôme isolé, mais se trouvait généralement associée à une alexie : selon lui, écrire et lire sont deux activités étroitement liées, car placées sous la dépendance d'un seul centre mnésique contenant les images visuelles des mots.

---

(1) La modularité fonctionnelle est une version moderne de la localisation, au sens où elle conçoit le cerveau comme étant composé d'unités fonctionnelles spécialisées appelées modules, pouvant ou non être localisées anatomiquement ; selon I. Rosenfield, ce point de vue est aujourd'hui très largement partagé par la plupart des psychologues et des spécialistes en neurosciences (op. cit., p. 83).

A l'appui de son affirmation, J. Dejerine [1891] cite le cas d'un malade devenu incapable de lire et d'écrire, et dont l'autopsie révéla qu'une lésion unique était à l'origine de cette double incapacité. Ce malade continuait cependant de pouvoir lire certaines graphies : son nom, par exemple, ou encore des nombres à un ou deux chiffres, qu'il pouvait également tracer sous la dictée - ce que Dejerine explique par les ressemblances de ces graphies avec des dessins. Un an plus tard, J. Dejerine présente le tableau clinique d'un homme qui écrit et parle correctement, mais se révèle incapable de lire. Comme le malade précédent, Oscar C. semble reconnaître à leurs formes certaines graphies : il identifie les lettres isolées en s'aidant du geste qui dessine leurs contours, dit du nombre 112 qui lui est présenté que c'est un 1, un 1 et un 2, et ne parvient à dire cent douze qu'en écrivant. Après quatre ans de cécité verbale pure, l'incapacité de lire manifestée par Oscar C. se complique d'agraphie et de paraphasie qui aboutissent finalement, durant les dix derniers jours de sa vie, à une perte totale de l'expression, parlée et écrite.

A l'autopsie, Dejerine découvre deux lésions, dont l'une d'apparition récente : la première n'avait pas atteint le "centre visuel des mots", de sorte que le patient pouvait écrire et évoquer les images des lettres en les traçant mécaniquement avec ses doigts; par contre, la seconde lésion aurait touché ce "centre visuel", d'où l'agraphie et la paraphasie observées (1). Selon Dejerine finalement, certaines formes de notation équivalent donc à des dessins, et demeurent ainsi reconnaissables quand les images mnésiques relatives au langage sont détruites ou inaccessibles à la suite d'une lésion cérébrale. Avec les nombres et les signatures, c'était de tels dessins que percevaient ses patients, et les lettres qu'ils reproduisaient l'étaient en tant que tracés graphiques. I. Rosenfield propose ici une autre explication :

"En fait, ces patients pouvaient lire des nombres, à l'exclusion des lettres et des mots, parce que les nombres d'un chiffre, comme une signature, sont toujours lus de la même manière, quel que soit le contexte. Un 3 est un trois dans les expressions 'trois pommes' ou 'trois pour cent de rabais'. Mais les chiffres trois du nombre 333333 sont lus chacun différemment ; trois cent mille, trente-trois mille, trois cents etc. La signification d'un chiffre dans le cas d'un nombre qui en comporte plusieurs dépend de son emplacement, c'est-à-dire de son contexte. Il ne faut pas oublier qu'Oscar pouvait lire le nombre 112 en épelant 'un 1, un 1 et un 2'." (op. cit., pp. 55-56).

---

(1) "En définitive, pour Dejerine, la perte de la lecture pouvait s'expliquer de deux façons ; soit par la destruction des 'images visuelles des mots' - les images engrammées dont il prétend qu'elles sont reproduites quand on écrit; soit par une déconnexion entre les centres de la vision et ceux du langage. Dans ce dernier cas, l'information visuelle n'atteint jamais le 'centre des images verbales', où les mots acquièrent un sens linguistique s'ajoutant à la forme purement visuelle (et non linguistique) issue des centres visuels du cerveau. Dans la première situation - lorsque les images visuelles des mots sont détruites -, le tableau clinique se caractérise à la fois par l'agraphie (puisqu'il n'y a aucune image à copier) et par l'alexie (pour la même raison, aucune image ne pouvant être confrontée à ce qui est lu); c'est ce que l'on observa dans le cas relaté en 1891 et lors des derniers jours d'Oscar C. C'est pourquoi l'agraphie se trouve toujours associée à une inaptitude à lire ; ces mêmes images visuelles des mots sont également indispensables à la lecture. Mais l'inverse n'est pas exact ; une alexie ne se trouve pas forcément associée à une agraphie. Dans ce cas, le problème est uniquement celui de la cécité verbale - le premier symptôme présenté par Oscar. Cela n'est pas dû à la destruction d'images mnésiques, mais à l'incapacité de les rappeler pour les confronter à ce qui est en train d'être lu; elles sont 'déconnectées' de l'information visuelle afférente." (I. Rosenfield, op. cit., p. 54).

Il en va de même pour les mots, bien que s'ajoute ici une complication supplémentaire par rapport aux nombres comportant plusieurs chiffres : alors que dans un tel nombre la signification d'un 3 n'est conditionnée que par son emplacement, et non par le chiffre 3 ou le chiffre 4 qui le précèdent ou le suivent éventuellement, le changement d'une seule lettre dans un mot peut modifier prononciation et signification de celui-ci, qui elle-même dépend de ce qui précède et de ce qui suit. En somme,

"Si nous n'étions pas en mesure d'apercevoir de quelle manière les lettres d'un mot (ou, plus simplement, les chiffres d'un nombre) sont reliées entre elles, elles ne voudraient plus rien dire, puisqu'en elles-mêmes elles ne véhiculent aucun sens. C'est leur impuissance à saisir cette organisation globale - dans laquelle des stimuli identiques, des lettres, changent constamment de signification - qui est caractéristique des patients souffrant de cécité verbale. Ceux-ci ne peuvent pas combiner les stimuli de manière à donner un sens aux symboles (...) La faculté de combiner diversement les stimuli conditionne la reconnaissance et, jusqu'à un certain point, doit être au principe de la mémoire. Un visage, nous le reconnaissons en organisant les stimuli selon des modalités comparables à celles dont nous usions dans le passé (non nécessairement identiques, puisque la personne a sans doute vieilli). Cette analogie d'organisation fait le lien entre le passé et le présent. Naturellement, certaines images peuvent paraître 'immuables' - tels les nombres d'un chiffre -, mais leur caractère immuable n'est qu'apparent, puisqu'elles changent de signification dans des nombres de plusieurs chiffres, tout comme les lettres changent de sens d'un mot à l'autre" (I. Rosenfield, op. cit., p. 56).

Là où, voyant Oscar C. reproduire les lettres une à une en les référant à divers objets matériels (le "A" à un chevalet, le "Z" à un serpent, le "P" à une boucle, etc.), Dejerine pensait qu'il les "dessinait", I. Rosenfield ajoute une précision qui modifie entièrement l'interprétation que l'on peut donner d'un tel geste : plutôt que de "dessiner" les lettres, Oscar les reproduisait de manière particulière :

"On ne reproduit pas un dessin ligne après ligne (à moins de ne pas en avoir une vue d'ensemble), mais on se fait une idée approximative du tout qu'il constitue ou des parties que l'on veut reproduire, sans s'embarrasser des détails exacts de l'original. Quand nous essayons de reproduire une image bidimensionnelle, nous cherchons d'instinct à en retrouver l'organisation. C'est seulement si nous ne parvenons pas à en extraire un sens que nous agirons comme Oscar, nous efforçant de reproduire servilement la longueur et l'emplacement de chaque ligne de l'original." (Ibid., p. 58).

De même pour l'inaptitude désormais totale d'Oscar (auparavant aussi mélomane que sa femme était musicienne) à lire des notes de musique, ou pour son incapacité à percevoir les couleurs dans la partie droite de son champ visuel : ce type d'opérations demande de percevoir des relation complexes entre éléments dont la signification change selon la relation perçue qui, elle-même, change de signification suivant le contexte, musical ou chromatique, dans lequel elle se trouve. Selon I. Rosenfield, ces symptômes traduisent un déficit portant sur l'organisation des éléments (et non une perte mnésique spécifique et localisée), carence également responsable de l'inaptitude à lire des lettres et des nombres de plusieurs chiffres. L'on voit donc ici se profiler une conception de la mémoire très différente de celle associée à la localisation fonctionnelle : capacité à reproduire une organisation plutôt qu'à convoquer des éléments spécifiques, la notion de mémoire y apparaît inséparable de celle de contexte. Pour l'instant, celui-ci n'est intervenu que dans la définition du contenu remémoré, mais nous allons voir qu'il est également opérant dans la situation de remémoration elle-même.

b) Hughlings-Jackson, Freud, Penfield et Gloor : l'importance du contexte pour la remémoration

Avec la description du cas de surdité verbale de Marie Bouquinet par C. Giraudeau (1882), et son interprétation ultérieure par F. Bateman (1890), il aurait dû être clair - mais les neurologues de l'époque ne le virent pas - que le contexte dans lequel avait (ou n'avait pas) lieu la remémoration était tout à fait crucial pour la capacité de produire cette dernière : le protocole des questions posées à cette patiente montre que ses difficultés à comprendre la parole s'estompent dès lors que cette parole et ces questions s'expriment dans un cadre qui lui est familier - ou qui lui est devenu tel au cours de l'entretien lui-même :

"Des questions ambiguës ne sont compréhensibles que dans le contexte des questions antérieures. Pour Marie Bouquinet, la difficulté semble se situer à ce niveau. Elle a beaucoup de peine à établir un contexte lui permettant de comprendre ce qu'on lui demande. La réitération permet de restaurer un contexte et de contraindre le patient à se concentrer sur la question posée, à l'exclusion de celles qui l'ont précédée. La plus grande promptitude que manifeste Marie Bouquinet dans certains cas souligne également à quel point le contexte conditionne la compréhension. Placées en tête de l'interrogatoire, certaines questions, qui portent sur son nom ou sur la durée de sa maladie, dépendent moins de ce qui a pu précéder (...) C'est pourquoi il semble peu probable que les troubles de la compréhension présentés par Marie Bouquinet soient dus à une disparition d'images mnésiques verbales; cela provient plutôt d'une incapacité à s'appuyer sur un contexte au sein duquel les mots et les phrases qu'elle entend retrouveraient un sens." (I. Rosenfield, op. cit., p. 41).

Le nom, mais aussi les jurons et certains mots tels que "oui" ou "non", ce sont là autant d'exemples de signifiants relativement indépendants de leur contexte d'émission, donc susceptibles d'être remémorés dans n'importe quel contexte : quel que soit ce dernier, mon nom reste le mien; un juron garde son sens indépendamment du contexte *précis* dans lequel il est proféré; le "oui" et le "non" expriment le consentement et le refus en n'importe quelle occasion. D'après I. Rosenfield, c'est la raison pour laquelle tous les cas cliniques rapportés jusqu'à présent montrent des patients, pourtant atteints de troubles graves de la mémoire, demeurés capables de reconnaître et d'émettre de tels signifiants :

"Des patients porteurs de lésions cérébrales sont souvent réduits à émettre quelques mots susceptibles d'être employés dans n'importe quelle circonstance, parce qu'ils sont incapables d'organiser une réponse verbale plus précise." (op. cit., p. 71).

Dès 1879, J. Hughlings-Jackson attirait l'attention sur l'importance du contexte pour l'activité cérébrale : selon lui, les stimuli ne sont pas imprimés dans le cerveau, mais résultent d'une activité cérébrale se rapportant à l'objet extérieur. Contrairement au dogme central de la théorie de la localisation fonctionnelle, il n'existe donc pas d'état de conscience spécifiquement lié aux objets :

"Un état interne n'a de sens qu'en relation avec un certain contexte; des activités cérébrales analogues peuvent avoir des significations très différentes. Pouvoir forger des significations originales ou nouvelles, en réorganisant des stimuli dans de nouveaux contextes, est le propre du langage en particulier, et de la fonction cérébrale en général. Et c'est bien cette capacité, et son importance clinique, que Hughlings-Jackson a mise en évidence dans sa description de ce qu'il appela, chez un patient aphasique, 'les degrés supérieurs de l'articulation.'" (I. Rosenfield, ibid., p. 70).

Selon Hughlings-Jackson en effet, il existerait des niveaux plus ou moins profonds d'activité cérébrale : s'il remarque bien, chez les patients porteurs de lésions cérébrales, la persistance d'une capacité à proférer des jurons, ou d'exprimer certains énoncés appropriés dans un contexte émotionnel particulier (1), c'est, selon lui, parce qu'il s'agit là de réponses primitives, persistant à un niveau plus profond chez ces patients. En somme, les réponses "spontanées" (liées aux niveaux les plus "profonds" de l'activité cérébrale) subsisteraient malgré les lésions, alors que les réponses "volontaires" (liées à des niveaux plus superficiels d'activité cérébrale) seraient détruites par ces mêmes lésions. I. Rosenfield s'inscrit en faux contre une telle conception :

"Cette distinction néglige l'indépendance contextuelle relative des jurons, qui s'opposent à plupart des expressions, dont le sens diffère selon le contexte (...) Des personnes porteuses de lésions cérébrales sont dans l'impossibilité de concevoir l'emploi de la plupart des mots, parce qu'il leur est difficile de relier les mots entre eux et de saisir les variation de sens qui surviennent nécessairement à chaque nouvelle phrase. Il n'y a pas eu perte de souvenirs, mais déficit portant sur la faculté de former des corrélations. Ne subsistent que les expressions ayant le moins possible recours à cette aptitude, c'est pourquoi on s'imagine que certains souvenirs ont été conservés, alors que manquent tous les autres mots. L'expression verbale est censée s'adapter au moment présent; et les souvenirs et les rappels sont probablement aussi l'expression adaptée de ce qu'on voit, entend et ressent à tout moment. Bien sûr, le déroulement des événements détermine en premier lieu ce qui est ou n'est pas approprié; cette capacité d'appréciation faisait défaut à Marie Bouquinet, tout comme à Oscar, qui était incapable de relier les lettres entre elles. Les travaux de Hughlings-Jackson montrent la place que tient la capacité d'organiser dans la production des souvenirs, mais aussi celle qu'occupe l'affectivité, bien qu'il ait supposé à tort que les 'souvenirs émotionnels' étaient un élément primitif de la personnalité. L'acte de jurer n'est pas primitif, mais simplement affranchi du contexte jusqu'à un certain point." (op. cit., pp. 72-73).

Il revient à Freud d'avoir montré toute l'importance du rôle joué par les émotions dans l'organisation de la mémoire. Chacun sait que le sens d'une expression donnée peut se différencier de ceux de la même expression, employée dans des énoncés antérieurs, uniquement du fait d'une intonation à présent différente dans la voix de l'énonciateur. De manière très générale, les affects ou émotions associées à un souvenir influent considérablement sur l'importance et la signification de celui-ci pour le sujet considéré :

"Si l'affectivité est absente, l'interlocuteur ne relève ni ne reconnaît le simple énoncé de l'épisode vécu. Il n'y a pas de mémoire sans affect. Les émotions sont indispensables à la constitution du souvenir, parce qu'elles le rattachent à un ensemble organisé et qu'elles le situent dans une séquence d'événements, de la même manière que les notions de temps et d'ordre, qui conditionnent la reconnaissance du souvenir en tant que tel, et non comme la pensée ou la vision d'un seul instant sans lien avec le passé." (I. Rosenfield, op. cit., pp. 73-74).

---

(1) Hughlings-Jackson cite l'exemple de l'une de ses patientes, qui était aphasique, et s'écria "au feu"! alors qu'un incendie s'était déclaré dans une salle voisine : "N'est-il pas absurde de croire que cette femme ne se souvenait que de l'expression *au feu!*". (cité par I. Rosenfield, op. cit., p. 71). Ainsi que l'ajoute immédiatement I. Rosenfield : "Elle était capable de crier au feu en raison de l'émotion qu'elle éprouvait devant un immeuble en flammes - dans cette situation, le mot exprimait ce qu'elle ressentait et voyait. Mais, deux jours plus tard, elle était sans doute incapable de parler calmement du feu qui avait ravagé le bâtiment; la lésion cérébrale la privait de l'usage de la pensée dans une situation nouvelle." (Ibid.).

Une preuve empirique de l'importance cruciale du contexte émotionnel pour la remémoration nous est fournie par un exemple bien connu : celui des témoins oculaires d'un acte criminel, incapables d'identifier après coup l'auteur de l'acte dès lors qu'ils ne l'ont pas "situé" comme étant un criminel au moment exact du déroulement de cet acte : s'il leur est initialement apparu hors de tout contexte criminel, ils ne peuvent se souvenir ensuite de lui comme étant inscrit dans un tel contexte. Plus généralement :

"Soulignant l'importance de cette question, Sigmund Freud observa que les individus ne se souviennent pas d'expériences passées qui ont été séparées de leur contexte émotionnel initial. Pour lui, l'expérience 'persiste, isolée pour ainsi dire, et n'est plus susceptible de reproduction dans le cours de l'activité intellectuelle. L'effet de cette isolation est identique à celui du refoulement avec amnésie.'" (I. Rosenfield, op. cit., p. 74).

Il est parfaitement inutile de s'attarder ici à commenter un principe qui se trouve au fondement même de l'efficacité opératoire de la pratique psychanalytique, dont le "succès" paraît reposer sur la réalité et la qualité de l'investissement affectif lié à ce qu'il est convenu d'appeler le "transfert". Nous ne discuterons pas davantage de l'affirmation de I. Rosenfield selon laquelle Freud aurait dû expliquer l'aspect fragmentaire de la mémoire des rêves à l'aide des notions de condensation et de déplacement uniquement parce qu'il était convaincu de l'existence de souvenirs fixes. En réalité, à condition de rejeter une telle conception de la mémoire, il serait possible, et davantage pertinent, d'expliquer différemment l'aspect fragmentaire de cette dernière : il ressortirait à l'absence relative de contexte durant le sommeil (op. cit., pp. 75 sq.). Plus immédiatement pertinent pour notre propos est le fait que les vues de S. Freud sur le rôle de l'affectivité dans le processus de remémoration furent indirectement confirmé en 1933 par les expériences du neurochirurgien W. Penfield, complétées un demi-siècle plus tard par celles de P. Gloor et son équipe.

Au cours d'une opération sur un patient entièrement conscient, W. Penfield stimula électriquement la surface du cerveau de celui-ci. A la surprise générale - celle de Penfield comme celle du patient -, le sujet perçut alors une sorte de "flash-back" mnésique. L'expérience s'avéra réitérable (même fréquemment) quand l'on replaçait l'électrode peu après l'avoir ôtée, et le phénomène s'interrompait dès lors que l'électrode était retirée. D'après la description donnée par Penfield, cette évocation de souvenir, déclenchée électriquement, était tout à fait aléatoire, et, dans la plupart des cas, l'événement remémoré n'était guère important : simplement, le sujet "se souvenait", sur un mode onirique, de scènes relativement quelconques qu'il se trouvait simultanément en mesure de commenter. W. Penfield pensait avoir découvert ainsi la preuve irréfutable de l'existence, dans la mémoire, de souvenirs permanents.

"En fait, ces souvenirs n'étaient souvent que l'observation d'autres personnes en train d'agir, et il était peu probable que le patient ait réellement pu être témoin de ces actes (...) En réalité, sur les cinq cent vingts patients qui reçurent une stimulation électrique au niveau des lobes temporaux, la zone du cerveau qui, selon Penfield, emmagasinait ces souvenirs, seulement quarante ont présenté ce qu'il a appelé une 'réponse vécue'. Des études ultérieures ont montré que ces réponses ne survenaient que lorsque les structures limbiques (généralement considérées comme indispensables aux expériences émotionnelles) étaient activées." (I. Rosenfield, op. cit., p. 153).

En 1982 en effet, P. Gloor répéta l'expérience de Penfield sur trente-cinq épileptiques, et conclut sans ambiguïté qu'à moins d'activer les structures limbiques de ces patients, le phénomène de "réponse vécue" ne survenait pas. Tout semble donc se passer comme si la stimulation électrique des centres limbiques permettait d'amener à un niveau conscient des percepts élaborés dans le néocortex. En somme, même après élaboration dans le néocortex temporal, ce qui est éprouvé par les sens paraît devoir être transmis aux structures limbiques pour que l'expérience ait un caractère immédiat. Tel que le rapporte I. Rosenfield (op. cit., p. 154), le passage suivant est souligné dans le texte de P. Gloor :

"La contribution limbique propre à ce processus pourrait être d'attribuer un rôle d'affect ou de motivation à un percept. Cette continuité limbique est probablement la condition préalable permettant à un percept d'être vécu ou évoqué consciemment; et cela pourrait impliquer que tout événement consciemment perçu possède une part de dimension affective, aussi petite soit-elle."

Cette observation rejoint l'affirmation de Freud, selon laquelle il est impossible de reconnaître des souvenirs dépourvus d'affect. Naturellement, la seule activation limbique est insuffisante à procurer une sensation pleine et entière de mémoire : nous savons que les évocations de souvenirs restent fragmentaires tant qu'elles ne sont pas délibérément organisées au sein d'un contexte. Les observations effectuées dans les années trente par A.A. Low, comme celles rapportées trente années plus tard par A.R. Luria, sont tout à fait significatives à cet égard.

c) Contexte et signification (cf. I. Rosenfield, op. cit., pp. 83-87)

Il ne s'agit plus ici de mettre en évidence l'importance des aspects affectifs du souvenir dans le processus de remémoration, mais de montrer, sous deux angles complémentaires, l'importance du contexte (en général) pour la signification : d'abord, en évoquant, avec A.A. Low, les modifications de compréhension et d'usage du langage entraînées, chez une personne porteuse d'une lésion cérébrale, par des changements de contexte; ensuite, en rapportant le cas, décrit par A.A. Luria, d'un patient doué d'une mémoire remarquable, qui créait des contextes artificiels afin de se souvenir de listes de mots aléatoires.

Le patient présenté par A.A. Low avait été victime d'un accident vasculaire cérébral entraînant une paralysie partielle et la perte de la parole. Quelques mois après cet accident, il était à nouveau capable de parler, tout en éprouvant certaines difficultés à trouver les mots et en manifestant un handicap de lecture bien particulier : il sautait de nombreux mots et combinaisons de mots dans une phrase ou un paragraphe qu'on lui donnait à lire. C'est afin de déterminer la nature et la cause de ce déficit précis, que A.A. Low le soumit alors à toute une batterie de tests, dont nous ne mentionnons ici que les trois les plus immédiatement significatifs. En premier lieu, sans pouvoir reconnaître vraiment ce qui était effectivement écrit dans une liste de mots renvoyant à des référents concrets, le patient parvenait à rendre la signification de ces mots (par exemple, pour *dad* il "lisait" *father*), ou "traduisait" la signification d'un mot écrit par une autre, voisine de la précédente (par exemple, il "lisait" *girl* pour *child*).

Deuxièmement, le patient manifestait une incapacité quasi-totale à lire de courts mots-outils : *at, to, as, in*, etc., alors que d'autres, plus longs, étaient lus par lui avec moins de difficulté : *beyond, above*, etc. Au vu de ces résultats, Low conclut que les capacités de son client étaient limitées parce que sa lecture était entièrement dépendante de la signification : c'est bien parce que les significations de *dad* et *father* sont voisines, de même que - dans une mesure peut-être moindre - celles de *girl* et *child*, que ce patient pouvait "lire" l'un de ces mot pour un autre; par ailleurs, il est clair que la longueur des mots-outils n'était nullement en cause dans sa plus ou moins grande capacité à les lire : selon Low, il lisait plus difficilement *at* que *beyond* parce que le premier possède un large éventail de significations : *at home, at ease, ar your service*, etc., et n'acquiert un sens spécifique que dans un contexte donné, alors que le second a une signification définie, indépendante du contexte. Une telle interprétation apparut encore plus pertinente quand Low soumit son patient à un troisième type de tests : il lui donna à lire des syllabes dépourvues de signification : *sto, fal, ser, tla*, etc., que le patient "lut" en les complétant ou les modifiant de manière que le résultat obtenu participât d'un réel contexte sémantique. C'est ainsi qu'il lut *story* à la place de *sto*, *far* à la place de *fal*, *serve* à la place de *ser*, *atlas* à la place de *tla*, etc. De même pour des phrases entières, dont il faisait une lecture fautive en essayant de donner un sens à des propositions imprimées qui n'en avaient aucun : *serve booksellers books* était lu *waiters sell books*, et *make, stop, listen* était lu *stop, look and listen*.

Il apparaît donc que ce qu'avait perdu ce patient du fait de la lésion cérébrale dont il était atteint, loin d'être des traces mnésiques spécifiques de mots qu'il aurait eu à confronter aux percepts nouveaux représentés par les signes écrits qui lui étaient donnés à lire, était une capacité (voire une appétence) à reconnaître des mots abstraits isolés dont la signification est étroitement dépendante de leur contexte : il "reconnaissait" bien, en un sens, certains mots concrets qu'il pouvait situer dans un champ sémantique familier *(father* pour *dad)*, "lisait" plus facilement les mots-outils de signification indépendante du contexte *(beyond)* que ceux qui ne prennent sens que dans un contexte précis *(at)*, et surtout s'efforçait spontanément d'inscrire les mots et phrases dépourvus de sens, qui lui étaient donnés à lire, dans le contexte sémantique lui paraissant en l'occurrence le plus adéquat.

Les enseignements de la description du patient de A.R. Luria vont tout à fait dans le même sens : ce patient construisait délibérément un contexte artificiel pour se souvenir de listes de mots aléatoires. Plus précisément, il utilisait le support du plan fictif d'une petite ville pour ce faire, situant chaque mot à un emplacement différent de cette ville, et percevant alors la liste comme étant une partie du plan. Dans ces conditions, oublier un mot n'est pas un déficit de la mémoire, mais un déficit de la perception. Ainsi, le patient oublie le mot *crayon* parce qu'il l'a placé près de la barrière qui se trouve an bas de la rue : l'image du crayon s'est confondue avec celle de la barrière, si bien qu'il est passé devant sans la remarquer. De même pour le mot *oeuf*, qu'il a commis l'erreur de placer sur un mur blanc, et qui s'est fondu dans l'arrière plan : comment aurait-il pu repérer un oeuf blanc sur un mur blanc?

L'évocation d'un souvenir apparaît ici comme un type de perception, de sorte que chaque contexte perçu modifie la nature de ce qui est évoqué. De manière plus générale, le réexamen des données cliniques effectué par I. Rosenfield débouche sur une conception de la mémoire très différente de celle associée à la théorie de la localisation fonctionnelle, à laquelle elle s'oppose fondamentalement sur quatre points liés. Premièrement, la perception et la reconnaissance ne sont pas conçues ici comme relevant de deux fonctions cérébrales indépendantes - ainsi que c'était le cas avec la théorie de la localisation fonctionnelle -, mais comme deux aspects différents d'une seule et même fonction : c'est par un geste unique que le sujet humain perçoit et reconnaît. Deuxièmement, ce geste met en oeuvre une capacité d'organiser les stimuli perçus en éléments d'information cohérents, et non une aptitude à confronter chacun de ces stimuli à une trace mnésique spécifique, enregistrée et stockée en permanence dans notre cerveau. Troisièmement, la performance du sujet en situation de remémoration n'est jamais indépendante du contexte précis dans lequel elle est produite - contrairement à la mémoire telle qu'elle est conçue depuis P. Broca.

Il est clair que ces trois premiers points sont étroitement liés entre eux : c'est bien parce que des souvenirs ne peuvent à la fois être fixes et varier en fonction du contexte que I. Rosenfield est conduit à abandonner la notion de mémoire permanente, et c'est un tel abandon qui l'incite à attribuer reconnaissance et perception à une fonction cérébrale unique. De la combinaison de ces trois points émerge alors une quatrième différence, opposant à l'aspect rigide de la mémoire absolument exacte associée à la théorie de la localisation fonctionnelle - une mémoire qui ne nous permettrait guère de survivre dans un monde en perpétuel changement, fait remarquer I. Rosenfield (p. 79) - le caractère essentiellement dynamique de la mémoire telle que la conçoit ce dernier. Selon lui en effet, loin d'être immuables, les souvenirs doivent être considérés comme des reconstitutions opérées sur le passé et en perpétuel remaniement, qui nous donnent un sentiment de continuité, la sensation d'exister dans le passé, le présent et le futur : plutôt que des unités discrètes, se perpétuant à travers le temps, les souvenirs constituent un système dynamique - au sens le plus fort de ce terme, puisque ce système ne se perpétue qu'en évoluant. De fait, la mémoire ainsi conçue procède par généralisations, en mobilisant des catégories, elles-mêmes directement à l'origine du sentiment de continuité précité - que des souvenirs spécifiques seraient impuissants à suggérer. Ayant toujours lieu dans le contexte de l'instant même, *hic et nunc*, la remémoration consiste en la mise en oeuvre de processus opératoires visant à intégrer continuellement de nouveaux stimuli à des catégories préexistantes qui s'en trouvent elles-mêmes plus ou moins profondément modifiées et remaniées : produite par l'imagination, une telle reconstitution est une vision du passé adaptée au moment présent.

Telle est la conception qui se dégage globalement des éléments *négatifs* de preuve issus du réexamen par I. Rosenfield d'expériences ou de données cliniques jusque là destinées à conforter la conception associée à la théorie de la localisation fonctionnelle. Après cette réfutation d'une mémoire pour ainsi dire *inventée*, il reste à apporter les preuves *positives* militant en faveur de la mémoire *inventive* dont cet auteur veut promouvoir la notion.

3. Darwinisme neuronal et mémoire inventive

Ce n'est certes pas un hasard si c'est *aussi* en raison de l'inadéquation de la notion de mémoire exacte et fixe à un monde en perpétuel changement que I. Rosenfield rejette une telle notion : ce rejet traduit l'influence de la problématique darwinienne de l'évolution sur sa conception de la mémoire humaine. En fait, la problématique évolutionniste se trouve au fondement même de cette conception, et ceci de deux manières complémentaires. En premier lieu, c'est en contrastant l'aptitude manifeste de notre cerveau à créer continuellement de nouveaux processus opératoires avec l'incapacité avérée des automates à nous imiter sur ce point, que I. Rosenfield souligne les limite des tentatives les plus récemment effectuées en ce domaine par l'informatique. En second lieu, cet auteur met une telle aptitude en relation très étroite avec la nécessité, continuellement éprouvée par notre organisme, de s'adapter à un environnement changeant : selon I. Rosenfield, reconnaître en percevant, c'est percevoir ce qui peut être utile à notre survie dans l'environnement (le contexte) actuel, en organisant ce perçu de manière cohérente avec nos expériences passées. Examinons brièvement le premier de ces deux aspects complémentaires, pour développer davantage le second - qui débouche directement sur la théorie rosenfieldienne de la mémoire.

a) Limites de la reconnaissance automatique

Après avoir montré, dans un très court deuxième chapitre ("Motricité du langage et reconnaissance de la parole", pp. 95-108), que la signification va toujours du général au particulier lors d'un processus de perception et d'apprentissage (notamment celui de la parole par l'enfant), et que la perception des stimuli dépend de la catégorie que nous leur attribuons et de leur organisation en fonction des autres stimuli - et non de la structure propre à chaque stimulus (catégorisation *versus* localisation) -, I. Rosenfield consacre entièrement son chapitre trois (pp. 109-145) à la reconnaissance automatique des formes et à ses limites. Selon lui, tant en ce qui concerne les "machines de vision" construites par D. Marr que ce qu'il appelle un PDP ("parallel distributed processor"), la limite principale de l'approche informatique en ce domaine consiste à faire travailler les processus opératoires accomplissant une tâche donnée sur un mode en lui-même invariable. De fait, s'il résoud certaines difficultés créées par la notion de mémoire fixe et prend en compte l'importance du contexte, le modèle de D. Marr continue de traiter perception et reconnaissance comme des processus dissociés se déroulant toujours de la même manière (op. cit., pp. 110-133). Quant au PDP, fonctionnant sur un modèle de mémoire associative suscitant aujourd'hui beaucoup d'espoirs chez les promoteurs des "machines neuronales" (Cf. L. Personnaz, G. Dreyfus et I. Guyon [1988]), ils sont capables de généraliser (de classer un élément inconnu dans une catégorie connue), mais ceci uniquement à l'intérieur du cadre prédéfini par le programmeur :

"Si, par exemple, on entre le code d'une fleur qu'il n'a jamais *appris*, il associera, malgré tout, une couleur à cette fleur. Mais cela n'a rien de vraiment surprenant, puisque le programmeur codera la nouvelle fleur de la même manière que les autres, dont les codes auront déjà été appris. Il s'agit d'une généralisation préfabriquée. Les schémas d'activité, qui se chevauchent et qui permettent à la machine d'associer une couleur à une fleur inconnue, dépendent des codes du programmeur et ne sont pas dans la nature des fleurs ou des couleurs." (I. Rosenfield, op. cit., p. 136).

Le type de mémoire associative utilisé par le PDP ou la machine neuronale ne fonctionne donc pas dans les conditions qui sont celles des processus de perception-reconnaissance formant ce qu'il est convenu d'appeler la mémoire de l'organisme humain. Ici,

"la plupart des stimuli ne sont pas organisés en groupes ordonnés d'information, tels que les mots ou le langage en général. Le cerveau doit d'abord organiser les stimuli en ensembles significatifs. Trouver des sous-traits communs entre eux et observer leurs relations contextuelles ne suffit pas à produire de nouvelles catégories, qui dépendent de différentes combinaisons de stimuli ne présentant par elles-mêmes aucun sens pour l'organisme, mais qui l'aideront à affronter l'environnement. En fait, il est impossible de prévoir à quoi serviront les stimuli ou leurs combinaisons - cela représente une des restrictions de toute machine programmée. Les réseaux du PDP généralisent à partir d'échantillons d'information déjà existants. Mais, pour un organisme, il est tout aussi impossible de connaître à l'avance la composition de l'information. Le cerveau doit dans la mesure du possible essayer des combinaisons de stimuli afférents, puis sélectionner celles qui aideront l'organisme à se rattacher à son environnement. D'où l'importance fondamentale du contexte présent pour déterminer la signification d'un stimulus ou d'un groupe de stimuli. En fait, les stimulations issues du PDP sont réellement fondées sur les principes de la localisation et sur la confrontation entre stimuli et mémoire fixe. Les généralisations réalisées par ces dispositifs ne sont rien de plus qu'un chevauchement de schémas en codes prédéterminés. Une réelle généralisation crée de nouvelles catégories d'informations; et, du point de vue d'un organisme, cette élaboration est la conséquence d'éléments imprévus issus de l'environnement." (I. Rosenfield, ibid., pp. 136-137).

En somme, alors que la mémoire de l'ordinateur traditionnel permet de reconnaître, en confrontant un stimulus perçu à un stimulus préalablement enregistré par lui, mais non de généraliser (de "reconnaître" et de classer un stimulus qu'il n'a jamais "vu"), la mémoire associative du PDP ou de la machine neuronale permet de généraliser, mais ceci toujours de la même manière, pré-établie. Au sens des catégories de l'apprentissage définies par G. Bateson (1977, pp. 253-282), le premier est capable d'apprendre, et le second d'apprendre à apprendre, mais aucune machine de ce type ne manifeste cette aptitude apparemment propre au cerveau humain : apprendre à appprendre à apprendre. A suivre I. Rosenfield, c'est pourtant sur ce troisième niveau hiérarchique d'apprentissage et de fonctionnement de la mémoire humaine qu'il faut faire porter notre effort de compréhension de celle-ci. Pour notre survie, il est nécessaire que cette dernière nous permette de décider, selon le contexte, que tel cercle représente le soleil, une roue, un plateau de table, ou autre chose encore que nous ne tardons pas à désigner d'un nouveau nom, *absent jusque-là de tout lexique* - ce dont aucun ordinateur n'est capable. C'est de cette capacité qu'il nous faut rendre compte dans une théorie pertinente de la mémoire humaine contribuant à fonder

"notre faculté d'adaptation à des environnements aussi différents que celui du troglodyte il y a trente mille ans et le monde de l'informatique." (op. cit., p. 119).

Nous reviendrons de manière plus approfondie sur ce point dans la troisième étape de notre construction. Pour l'instant, il convient plutôt d'exposer la théorie du "darwinisme neuronal" de G.M. Edelman, dont I. Rosenfield s'inspire très largement - et le nom même de cette théorie, allié aux considérations précédentes, indique assez les raisons d'une telle démarche - pour construire sa propre théorie de la mémoire.

b) Darwinisme neuronal et mémoire inventive

C'est en combinant la théorie darwinienne de l'évolution avec ses propres travaux sur le système immunitaire humain - travaux pour lesquels il reçut le prix Nobel en 1972 - que G.M. Edelman fut conduit à formuler une explication inédite du fonctionnement de notre cerveau (1). Cette explication est centrée sur l'idée selon laquelle le cerveau fonctionnerait comme un système sélectif - ce que nous appelons apprentissage serait une forme de sélection -, et elle repose sur trois postulats : 1) au cours du développement cérébral de l'embryon, se formerait entre les neurones un schéma de connexions extrêmement variable et individualisé; 2) après la naissance, certaines combinaisons de connexions de ce schéma, plutôt que d'autres, seraient sélectionnées en réponse aux stimulations sensorielles reçues par le cerveau; 3) cette sélection surviendrait plus spécifiquement au niveau de groupes de neurones reliés en couches - au niveau de "cartes" dialoguant entre elles afin de constituer des catégories de choses et d'événements. (Cf. I. Rosenfield, op. cit., p. 159).

Loin de tout déterminisme génétique, qui attribuerait comportement et souplesse d'adaptation à un apprentissage produisant des schémas d'organisation cérébraux en répondant aux stimuli externes à la manière de programmes fournissant des instructions à des ordinateurs, il s'agit d'expliquer la pensée et l'action en tant que réponses efficaces et infiniment variées aux conditions inattendues présentées par le milieu : le fond du problème consiste en l'ampleur de la variabilité de la structure du cerveau, suffisante, malgré une série limitée de gènes, pour permettre à l'organisme de s'adapter à un environnement imprévisible. Selon G.M. Edelman, ceci n'est possible que parce qu'au cours du développement embryonnaire la différenciation cellulaire n'est pas uniquement déterminée par les mécanismes génétiques, mais dépend également de l'endroit où chaque cellule se trouve au début du processus de différenciation ainsi que des positions qu'elle occupait auparavant. L'inévitable variation de ses formes et mouvements selon les individus rend la position d'une cellule donnée à un moment donné impossible à prévoir exactement : une différenciation complètement déterminée par les gènes impliquerait des conséquences désastreuses pour l'organisme dès lors qu'une seule cellule serait mal située.

---

(1) Contrairement à la théorie émise en 1940 par L. Pauling, selon laquelle la présence d'une bactérie dans l'organisme déterminerait la nature de l'anticorps fabriqué, G.M. Edelman montra en 1969 que tous les animaux naissaient avec un répertoire complet d'anticorps ; au lieu de considérer l'organisme comme un système apprenant à combattre un germe spécifique par la fabrication d'un anticorps spécifique, il faut donc le concevoir comme doté d'emblée d'une molécule dont les éléments sont susceptibles de se modifier en vue de produire les millions de types d'anticorps différents nécessaires à la protection du corps face aux organismes étrangers. La présence de la bactérie ne détermine pas la nature de l'anticorps fabriqué - il existe déjà dans l'organisme - mais seulement sa quantité. Tout se passe comme si la bactérie ou le virus, une fois inoculés, *sélectionnaient* l'anticorps approprié - qui est différent pour chaque individu (Cf. I. Rosenfield, op. cit., pp. 157-158). A la page précédente, Rosenfield rappelle l'observation de Darwin soulignant qu'il n'existe pas, dans le monde de la biologie, d'animal typique ou de plante typique, mais seulement des êtres singuliers dont les communes qualités sont des abstractions que nous inventons en négligeant les variations interindividuelles. Or, c'est à partir des variations survenues dans la population que la sélection peut s'opérer ; c'est la variation qui est réelle et non la moyenne (ibid., p. 156).

A rebours de la rigidité architecturale associée à la seule détermination génétique, Edelman envisage donc un certain degré de flexibilité en ce qui concerne les schémas d'organisation cellulaire. Ces derniers résultent de processus façonnant les groupes cellulaires en structures aptes à des fonctions plus complexes et dont la forme est déterminée par les signaux en provenance d'autres groupes. Des limites se créent, au fur et à mesure que les tissus se développent dans l'embryon, et déterminent les différentes zones fonctionnelles de l'organisme grâce à des colles intercellulaires appelées "molécules d'adhérence cellulaire" ou CAM. Il existe différents types de CAM, dont la structure moléculaire est déterminée par des gènes précis, mais dont la quantité exacte et le degré d'adhésivité (qui varie continuellement au cours du développement embryonnaire) dépendent des localisations actuelle et passée des cellules qui les portent. Les frontières se forment entre groupes de cellules agglutinées par différentes CAM, et ces cellules se différencient une fois ces limites constituées. Au fur et à mesure de cette différenciation, de nouvelles frontières apparaissent, puis de nouvelles modifications sont induites par les signaux émis par les groupes cellulaires en direction des gènes activant les CAM et de ceux responsables de la différenciation. Selon les étapes par lesquelles sont passés deux groupes cellulaires ainsi constitués, les signaux échangés entre eux déterminent la formation ultérieure de types cellulaires extrêmement variés de part et d'autre de la frontière. Il apparaît donc finalement que

"La fonction de cette limite située entre les groupes à CAM différents dépend donc du contexte : l'environnement des cellules et leur passé. De plus, les règles qui gouvernent la réponse des CAM sont généralement les mêmes pour les neurones du cerveau et pour d'autres structures corporelles. Parce que les frontières des groupes cellulaires dépendent de la dynamique des mouvements, il y aura des variations individuelles qui ne seront pas simplement déterminées par les gènes, et dont la diversité garantira une structure propre à chaque cerveau. Cependant, la structure d'ensemble qui en résulte et les conséquences similaires du développement embryonnaire pourraient expliquer qu'individuellement les cerveaux des membres d'une espèce se ressemblent." (I. Rosenfield, ibid., p. 163).

A l'infinie diversité potentielle du contexte répond donc l'infinie diversité potentielle des individus de l'espèce. C'est pourquoi il est impossible de prévoir dans le détail la morphologie définitive d'un animal à partir de la connaissance de la totalité de son patrimoine génétique, et c'est aussi ce qui permet de comprendre que deux cerveaux ne peuvent être absolument identiques : même avec un patrimoine génétique commun, comme c'est le cas des vrais jumeaux, il faudrait pour cela que le contexte et le développement cellulaire de chacun déterminent des mécanismes de CAM strictement identiques, ce qui est pratiquement impossible. Au contraire, ces mécanismes sont vecteurs de diversité parmi les fonctions cérébrales des différents individus, et ceci, ajoute Edelman, par le biais d'un processus de sélection des groupes de neurones. Cette sélection ne joue pas de la même manière avant et après la naissance. En effet, nous avons vu qu'au stade embryonnaire, la sélection portait sur le schéma d'organisation en groupes neuronaux distincts : l'unité de sélection correspondant à un jeu de neurones interconnectés fonctionnant simultanément, les changements survenant dans la dynamique des CAM déterminent la variété des groupes, dont chacun répondra différemment à un même stimulus capté par les récepteurs sensoriels de la lumière, du toucher et du son, situés au niveau de l'oeil, de la peau et de l'oreille.

Après la naissance, la sélection intéresse le degré des connexions entre neurones et non plus leur schéma d'organisation, bien qu'elle apporte un degré de finesse supplémentaire à la constitution globale de celui-ci. En fait, un vaste répertoire de différents groupes neuronaux ayant été créé, les modifications d'intensité des connexions neuronales déterminent à présent les circuits que les signaux neuronaux emprunteront. Tel groupe, répondant plus activement que tel autre à un stimulus en provenance de l'environnement, verra les jonctions synaptiques entre ses éléments s'en trouver renforcées : tout se passe comme si le stimulus *sélectionnait* des variantes particulières au sein de la population de groupes neuronaux :

"En effet, la réponse d'un groupe est susceptible d'être amplifiée. Comme ses connexions sont renforcées, il lui est possible de modifier l'intensité de ses liaisons avec d'autres groupes et, en entrant en compétition avec eux, d'intégrer leurs neurones dans sa propre activité de réponse. Le renforcement des zones synaptiques crée ce qu'Edelman appelle un répertoire secondaire, constitué de groupes neuronaux qui répondent mieux à certains stimuli parce qu'ils ont été sélectionnés et leurs connexions renforcées."(I. Rosenfield, op. cit., p. 166).

Reste que les stimuli ne sont pas organisés d'emblée en éléments cohérents d'information. Ceux qui intéressent plus précisément les fonctions cérébrales supérieures, telle la fonction nous permettant de ranger deux tulipes concrètes différentes dans la même classe abstraite "tulipe", doivent être oganisés afin de présenter un sens pour l'organisme. Selon Edelman, c'est le rôle de cartes cérébrales constituées de groupes neuronaux que de réaliser une telle organisation :

"Une carte rassemble plusieurs de ces groupes disposés dans le cerveau, de manière à préserver le schéma des relations qui unissent soit une couche de récepteurs sensoriels (tels que ceux de la surface cutanée de la main) et une couche de tissu nerveux cérébral recevant les stimuli sensoriels, soit deux couches de tissu nerveux entre elles. Les groupes sont disposés en cartes 'interactives' pour créer des catégories d'objets ou d'événements. On trouve divers types de cartes dans différentes zones du cerveau, et l'étude de leurs interactions - appelées réintroductions - représente ce que la théorie d'Edelman a d'essentiel et de définitif." (Ibid., p. 167)

Ces cartes trient les stimuli afférents en fonction de leurs similitudes et en combinant leurs propriétés : elles organisent les stimuli en schémas aidant l'organisme à faire face à son environnement. Leur existence chez l'animal est connue depuis 1870, date à laquelle on observa chez le chien l'activation de certaines régions du corps suite au contact de zones cérébrales distinctes. Mais l'on supposait communément qu'elles étaient permanentes et plus ou moins identiques chez tous les membres d'une espèce. Or, puisque l'environnement est variable, il faut au contraire que ces cartes le soient également, afin de pouvoir remplir la fonction que leur assigne Edelman. De fait, M. Merzenich découvrit en 1983

"qu'il existait des variations considérables parmi les cartes sensorielles des cerveaux de singes normaux et que, pour un singe donné, elles se modifiaient dans le temps. On mit également en évidence d'importants écarts d'un singe à l'autre pour les cartes homologues. Des expériences ultérieures montrèrent qu'un réarrangement, même sur de très courtes périodes, faisait suite à la lésion d'un nerf dans le territoire sensitif de l'un des doigts du singe. La recherche de Merzenich confirme pleinement la conception d'Edelman, pour qui les différentes combinaisons de groupes neuronaux sont sélectionnées à partir de la compétition qu'induisent les afférences sensorielles." (Ibid., pp. 167-168).

Selon Edelman, il doit exister une interaction permanente (ou "réintroduction") entre les différentes cartes recevant l'information qui parvient au cerveau, pour qu'il y ait catégorisation : des expériences récentes montrent par exemple que la localisation des objets dans l'espace s'obtient par l'interaction d'un grand nombre de cartes sensorielles classant et combinant les stimuli sonores, visuels, etc, et débouchant sur un schéma d'activité qui déclenche une réponse motrice. C'est ainsi que le cerveau crée ses catégories et ses généralisations, et remodèle celles-ci si nécessaire - l'organisation de cette cartographie n'étant pas immuable, mais susceptible de se réarranger en cas de besoin :

"Le cerveau possède de nombreux types de cartes, et il en constitue beaucoup d'autres à l'origine de multiples catégories destinées aux afférences. L'objectif des cartes est la création de catégories perceptives qui permettront à l'animal d'agir de manière appropriée. Les environnements auxquels il est confronté se modifient nécessairement, et cette modification affecte les catégories perceptives. Mais telle est précisément la fonction qu'opèrent ces multiples cartographies : interagir au moyen de cartes réorganisant constamment l'information. Et en rapportant les schémas opératoires *(mappings)* formés plus fréquemment aux cartes sensorielles primaires, qui entretiennent une relation continue avec les stimuli externes, le cerveau peut efficacement suivre les progrès de ses divers regroupements d'entrées sensorielles. " (I. Rosenfield, op. cit., p. 170).

Ce darwinisme neuronal fournit des preuves *positives* en faveur de la théorie rosenfieldienne de la mémoire humaine. Selon I. Rosenfield en effet, l'explication de G.M. Edelman constitue le fondement biologique d'une nouvelle psychologie, de sorte qu'il est possible d'étendre aux fonctions cérébrales supérieures, gouvernant les représentations mentales et leur expression par le langage articulé, les résultats obtenus sur des formes moins sophistiquées de perception-reconnaissance et d'expression (1). En définitive, ce que nous percevons ne résulte pas d'une analyse de données, mais de ce que nous avons perçu et vécu dans le passé ou à l'instant même : nos premiers contacts avec le monde extérieur nous incitent à mettre à l'épreuve différentes façons d'organiser nos sensations, et celles qui permettent un comportement rationnel ou utile sont renforcées par la suite. Expériences, sentiments et pensées diffèrent radicalement d'une personne à l'autre. Inexplicables en termes de processus aussi immuables que le traitement de données, ces variations relèvent de constructions de combinaisons toujours singulières organisant les divers stimuli en provenance d'un environnement en perpétuel changement : nous devons être capables de faire face à ce dernier, non au moyen d'images invariables mémorisées à l'avance, mais d'une manière qui prenne en compte le nouveau et l'inattendu aussi bien que le caractère individuel de nos expériences passées. Nous ne nous servons donc pas d'images enregistrées, mais de processus opératoires permettant de comprendre le monde et de le transformer. Mobilisée par notre confrontation à un environnement variable, la mémoire est davantage invention de catégories dans lesquelles ranger le perçu actuel que mise en correspondance d'images anciennes avec des stimuli d'emblée organisés.

---

(1) Extension d'autant plus justifiée que les performances réalisées par "Darwin II", un automate construit par G.M. Edelman et G. Reeke Jr. en conformité avec les principes du darwinisme neuronal, vont au-delà de celles obtenues par l'approche informatique traditionnelle ou par le PDP : fondé sur les principes de sélection évoqués ici, et destiné à simuler l'activité de cartographie du cerveau, Darwin II est apparemment capable d'abstraire (d'organiser des stimuli en catégories) *sans que lui soient fournies d'instructions spécifiques* (Cf. I. Rosenfield, op. cit., pp. 171-176 et pp. 195-196).

Tel qu'il est décrit par I. Rosenfield, le mode de fonctionnement de la mémoire humaine se révèle donc propre à expliquer rationnellement certaines incohérences apparentes d'un agent économique concret qui semble dépourvu de tout système de préférences stables. En réalité, l'ensemble des comportements observés lors de ces tests (inversion des préférences, "framing effect" et biais liés au traitement de l'information) ne sont incohérents que dans le cadre dessiné par la théorie de la localisation fonctionnelle et l'assimilation correspondante de notre mémoire à un fichier informatique, consulté selon des procédures prédéterminées et immuables. Au contraire, dès lors que le fonctionnement de la mémoire est conçu comme la mise en acte de processus opératoires dont les contenus varient en redéfinissant continuellement les catégories (et les combinaisons de catégories) dans lesquelles il convient de ranger les stimuli perçus, de tels comportements deviennent parfaitement cohérents : si la dimension d'invention dont est toujours empreinte la mémoire, qui reconnaît en percevant, dépend étroitement et simultanément du contexte actuel et de l'expérience passée, il n'est guère étonnant que les agents inversent leurs préférences entre choix et jugement de valeur, ni qu'ils lient leurs réponses à la manière dont ils perçoivent les options, ni enfin qu'ils utilisent l'information d'une manière biaisée - eu égard à la stricte rationalité économique.

En effet, le résultat apparemment troublant selon lequel le même agent préfère une option A à une option B tout en valorisant davantage B que A en termes monétaires, loin de refléter l'incohérence dénoncée par Grether et Plott, trouve une double explication : celle développée par Loomes et Sudgen sur la base de la "théorie du regret" introduite par Bell, qui fait explicitement appel à l'importance du contexte pour le choix en avançant que les agents évaluent leurs options en références aux autres options présentes au moment de choisir; celle proposée par les psychologues, tout aussi rationnelle que la précédente qu'elle vient compléter, selon laquelle les processus cognitifs et les modes d'expression, mobilisés par une question posée en termes de jugement, diffèrent de ceux qu'active un autre type de question, posée en termes de valeur - ordonner n'est pas mesurer, et la désirabilité ne s'exprime pas nécessairement par un prix de réservation. Il en va de même pour le "framing effect" : bien que la probabilité de panne d'un équipement soit mathématiquement complémentaire (à l'unité) de celle que ce même équipement ne tombe pas en panne, il est clair que ces deux événements contraires n'évoquent nullement le même contexte émotionnel, ou affectif, chez l'agent. Il n'y a donc aucune raison que ce dernier classe les événements qui lui sont présentés dans un contexte "positif" de la même manière que lorsque les différentes options offertes s'inscrivent pour lui dans un contexte "négatif". Il serait facile de montrer que le même type de phénomènes est à l'oeuvre dans la troisième catégorie d'expériences mentionnées dans l'article de M. Villinger - notamment dans le biais de confirmation.

Pour l'économiste, le premier intérêt de la théorie rosenfieldienne de la mémoire est donc qu'elle offre un cadre rationnel d'explication à certains comportements apparemment incohérents des agents. Pour n'être pas mince, cet intérêt n'est pas le seul, car la contribution de I. Rosenfield évoque irrésistiblement un autre type de modèle : celui de l'auto-organisation, proposé naguère par cet autre biologiste qu'est H. Atlan.

Deuxième étape : l'auto-organisation d'après H. Atlan

Convergence née de leur commune familiarité avec un même ensemble de disciplines? A l'instar de I. Rosenfield, H. Atlan fonde sa recherche sur l'insatisfaction qu'il éprouve face à l'utilisation de la notion de programme dans l'étude des êtres vivants, mais ne dénie pas pour autant toute pertinence aux simulations du fonctionnement de ces mêmes êtres par des automates. Tous deux demandent néanmoins à de tels automates d'être capables de modifier par eux-mêmes (sans instructions préalablement fournies par un programmeur, c'est-à-dire sans programme explicite) leurs processus d'apprentissage, afin de pouvoir prétendre imiter le vivant - notamment cet type particulier de vivant que représente l'être humain. Rapportée à ce dernier, la nébuleuse de notions associées au concept d'information (mémoire, perception, décision, apprentissage, etc.) doit en effet rendre compte de l'aptitude, manifestée par notre cerveau, à accéder au troisième niveau hiérarchique défini jadis par G. Bateson dans sa typologie des catégories de l'apprentissage (cf. *supra*) : c'est bien parce que Darwin II semble capable de telles performances que I. Rosenfield le distingue de tous les automates construits auparavant, et, nous allons le voir, c'est à la réalisation de performances de cet ordre que H. Atlan appelait depuis longtemps (1).

D'après H. Atlan en effet, les organisations biologiques, étant dynamiques et non totalement maîtrisées par l'homme (parce que non construites par lui), constituent une sorte de compromis entre deux extrêmes :

"un ordre répétitif parfaitement symétrique dont les cristaux sont les modèles physiques les plus classiques, et une variété infiniment complexe et imprévisible dans ses détails, comme celle des formes évanescentes de la fumée." (1979, p. 5).

Il s'agit de comprendre ce type d'organisations et, plus largement, les systèmes non construits (naturels ou sociaux), en évitant deux obstacles : d'abord celui du vitalisme, pétition de principe niant que le phénomène de la vie soit explicable en termes physico-chimiques et mécanicistes - une attitude purement négative et stérilisante, selon H. Atlan; ensuite, celui que constitue la notion téléonomique de programme, introduite par J. Monod (1970) afin d'éviter le finalisme implicitement présent dans le discours des biologistes jusqu'au début des années soixante, mais qui ne fait que déplacer le problème, sans le résoudre (H. Atlan, 1979, pp. 14-18). En réalité, les questions posées par la biologie moléculaire, comme les métaphores cybernétiques appliquées à la biologie, témoignent d'un langage nouveau et appellent des réponses impliquant

"*non pas une réduction du vivant au physico-chimique, mais un élargissement de celui-ci* à une biophysique des systèmes organisés, applicable à la fois à des machines artificielles et naturelles." (Ibid., pp. 23-24, italiques de l'auteur).

---

(1) A notre connaissance, la première présentation française de son modèle d'auto-organisation fut donnée par H. Atlan en 1972, dans un ouvrage rassemblant une série de conférences prononcées l'année précédente en Israël. Le modèle fut repris ensuite dans une publication destinée à un plus large public (H. Atlan, 1979), puis amélioré ou complété sur certains points (par exemple dans H. Atlan, 1986a). Pour une bibliographie relativement récente sur la question, voir H. Atlan (1986b, p. 367, note 2,30).

C'est en ce sens que vont tous les travaux sur la logique de l'auto-organisation appliquée aux êtres vivants. Dans un tel cadre, le postulat fondamental sur lequel s'appuie cette logique est que les performances les plus extraordinaires des organismes vivants sont le résultat de principes cybernétiques particuliers qu'il s'agit de découvrir et de préciser :

"En tant que principes *particuliers*, ils doivent rendre compte du caractère propre aux organismes vivants que présentent ces performances. Mais en tant que principes *cybernétiques*, ils sont postulés en continuité avec les autres domaines de la cybernétique, les mieux connus, ceux qui s'appliquent aux automates artificiels. Les conséquences de ce postulat sont doubles : a) la spécificité des organismes vivants est rattachée à des principes d'organisation plutôt qu'à des propriétés vitales irréductibles; b) ces principes une fois découverts, rien ne devrait empêcher de les appliquer à des automates artificiels dont les performances deviendraient alors égales à celles des organismes vivants. C'est dans cette perspective que les recherches formelles sur la logique de systèmes auto-organisateurs, qui sont à la fois hypothétiques, en ce sens que personne n'en a jamais réalisé, et pourtant bien réels, en ce sens que la nature en fournit abondamment, peuvent présenter un intérêt." (Ibid., p. 24, italiques de l'auteur).

La dernière phrase de cette citation de H. Atlan est rendue passablement obsolète par l'existence de Darwin II, dont la mémoire fonctionne sur un mode à ce point proche du nôtre qu'elle crée comme la mémoire humaine les catégories à l'intérieur desquelles elle range les objets offerts à sa perception - faisant ainsi de chaque souvenir une nouvelle création, souligne I. Rosenfield (1989, p. 174). Mais l'ensemble de cette même citation montre bien que c'est précisément ce type de performance qu'attendait H. Atlan de l'application à des automates artificiels des principes cybernétiques particuliers qu'il voulait découvrir. Par exemple, la notion de "répertoire secondaire" introduite par G.M. Edelman constitue bien l'un de ces principes, puisque le renforcement des zones synaptiques, par lequel un tel répertoire est créé, représente un cas évident de rétroaction positive. Entre H. Atlan et I. Rosenfield, s'autorisant de G.M. Edelman pour proposer d'étendre la théorie de ce dernier aux fonctions mentales supérieures (ibid., p. 178), la jonction conceptuelle présente dès lors l'aspect quasi-inéluctable de la réunion d'apports complémentaires à des projets analogues issus de présupposés identiques : au sein de cette problématique commune, l'un (Rosenfield) élabore, à partir d'un substrat neurophysiologique, une conception très globale de la nature et du fonctionnement de la mémoire du vivant en tant que système capable de se réorganiser constamment sous la pression de stimuli contextualisés, tandis que l'autre (Atlan) fournit un formalisme rigoureux à la notion d'auto-organisation d'un système perturbé par un "bruit" aléatoire, en provenance de son environnement et déclenchant un

"processus d'augmentation de complexité à la fois structurale et fonctionnelle résultant d'une succession de désorganisations rattrapées, suivies chaque fois d'un rétablissement à un niveau de variété plus grande et de redondance plus faible." (H. Atlan, 1979, p. 49).

La parenté conceptuelle de cette définition d'un processus auto-organisateur avec la conception rosenfieldienne de la mémoire se laisse d'emblée entrevoir au plan global. Néanmoins, c'est au niveau du *détail* de chacun de ces modèles que les correspondances existant entre eux nous paraissent les plus fructueuses. Il convient donc d'exposer à un niveau relativement fin l'articulation interne du modèle de H. Atlan, exposition qui nous permettra de préciser ensuite la signification de l'information.

1. L'auto-organisation selon H. Atlan

Chaque terme de la définition générale de l'auto-organisation, donnée, à la page précédente, prend un sens particulier dans le texte de H. Atlan, qui emprunte les notions de complexité, structure, fonction, organisation, variété et redondance à la théorie des systèmes, à la cybernétique, à la théorie de l'information, pour les réinterpréter dans le cadre du paradigme auto-organisationnel qu'il veut promouvoir. Il importe donc de bien saisir leurs significations précises dans un tel cadre. A cette fin, il nous semble indiqué de partir d'une expression exprimant formellement la propriété auto-organisatrice présentée par certains systèmes, puis d'interpréter une telle formule.

Soient H : la quantité d'information contenue dans un message
R : le degré de redondance de ce message
Hmax : la quantité maximale d'information contenue dans ce message, correspondant à R = 0.

Par définition,

$$R = \frac{Hmax - H}{Hmax}, \text{ d'où } H = Hmax\,(1 - R),$$

La quantité H est supposée varier dans le temps sous l'effet de facteurs aléatoires :

$$\frac{dH}{dt} = f(t) = \frac{d(Hmax - R\,.\,Hmax)}{dt} = \frac{dHmax}{dt} - \frac{d(R\,.\,Hmax)}{dt}, \text{ d'où}$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dHmax}{dt} - R\,.\,\frac{dHmax}{dt} - Hmax\,.\,\frac{dR}{dt}$$

Finalement :

$$\frac{dH}{dt} = -Hmax\,.\,\frac{dR}{dt} + (1 - R)\,.\,\frac{dHmax}{dt}$$

qui est la formule que nous avons à interpréter. Selon H. Atlan, nous devons pour cela retourner à C. Shannon, et plus particulièrement au théorème établi par ce dernier, selon lequel

"la quantité d'information d'un message transmis dans une voie de communication perturbée par du bruit ne peut que décroître d'une quantité égale à l'ambiguïté introduite par ce bruit entre l'entrée et la sortie de la voie. Des codes correcteurs d'erreurs, introduisant une certaine redondance dans le message, peuvent diminuer cette ambiguïté de telle sorte qu'à la limite la quantité d'information transmise sera égale à la quantité émise; mais en aucun cas elle ne pourra être supérieure." (1979, pp. 44-45).

Ainsi appliqué à un message composé d'une suite de symboles et transmis dans une voie de communication perturbée par du bruit, ce théorème (1) exclut toute possibilité d'un rôle organisationnel de ce dernier. Qu'en est-il si l'on étend le formalisme de Shannon à la théorie des systèmes organisés, en mesurant par la quantité d'information correspondante le degré d'organisation d'un tel système? A priori, une telle extension paraît d'autant plus légitime que le théorème de la voie avec bruit est d'application très générale, au double sens où : 1) il porte sur toute suite de symboles composant un message comme autant de parties de celui-ci; 2) sa validité ne dépend en aucune manière de la nature physique de la voie de transmission considérée. Bien qu'il ait notoirement été établi par Shannon afin de résoudre certains problèmes de télécommunications, ce théorème semble donc s'inscrire tout naturellement dans une théorie de l'organisation des systèmes généraux, en s'appliquant au cas particulier dans lequel la voie de transmission considérée s'établit entre le système considéré et l'observateur de celui-ci - un cadre dans lequel rien ne s'oppose à l'assimilation de toute suite d'éléments de ce système à un message émis par une source en direction d'un destinataire-observateur, ni à la caractérisation mathématique de cette suite à l'aide de la célèbre formule de Shannon.

Néanmoins, nous allons voir qu'au contraire de ce qui se passe au niveau d'une voie élémentaire de transmission - le niveau considéré par Shannon dans son théorème - où, en l'absence de codes correcteurs d'erreurs, le bruit a pour effet inévitable de *réduire* la quantité d'information transmise, au niveau de la voie établie entre le système et l'observateur considérant l'ensemble de ce dernier, l'ambiguïté introduite par des facteurs de bruit peut être *génératrice* d'information. Pour le montrer, commençons par relier de manière plus précise la complexité (ou le degré d'organisation) d'un système à la quantité totale d'information contenue dans un message. Cette quantité mesure, sur un grand nombre de messages écrits dans une langue donné avec un alphabet donné, la quantité d'information moyenne par symbole de cet alphabet multipliée par le nombre de symboles du message. Or, la quantité moyenne d'information par symbole est celle que mesure la formule de Shannon :

$$H(x) = -\sum_{1}^{n} p(i) \cdot \log_2 p(i)$$

où i est l'indice des n différents symboles : x_1, x_2, x_3, ..., x_n utilisés dans le message x

et où p(i) est la probabilité d'apparition du symbole x_i

(1) Dans leur célèbre ouvrage, W. Weaver et C. E. Shannon (1949) l'appellent "théorème fondamental pour un canal discret avec bruit". Les éléments de théorie de l'information contenus dans les quatre chapitres formant la première partie de H. Atlan (1972) constituent la présentation la plus pédagogique que nous connaissions de la théorie shannonienne. La signification de cette théorie y est discutée, après l'énoncé et la démonstration de chacun de ses principaux résultats, de manière beaucoup plus complète que dans H. Atlan (1979). L'exposition et la discussion du "théorème de la voie avec bruit" font l'objet du chapitre IV de cet ouvrage (cf. H. Atlan, 1972, pp. 41-61).

Etendons ce formalisme à un système composé de parties. La quantité d'information d'un tel système est alors définie

"à partir des probabilités que l'on peut affecter à chaque sorte de ses composants, sur un ensemble de systèmes supposés statistiquement homogènes les uns aux autres; ou encore à partir de l'ensemble des combinaisons qu'il est possible de réaliser avec ses composants, qui constitue l'ensemble des états possibles du système. Dans tous les cas, la quantité d'information d'un système mesure le degré d'improbabilité que l'assemblage des différents composants soit le résultat du hasard. Plus un système est composé d'un grand nombre d'éléments différents, plus sa quantité d'information est grande car plus grande est l'improbabilité de le constituer *tel qu'il est* en assemblant au hasard ses constituants. C'est pourquoi cette grandeur a pu être proposée comme une mesure de la complexité d'un système, en ce qu'elle est une mesure du degré de variété des éléments qui le constituent." (H. Atlan, 1979, p. 45, italiques de l'auteur).

Bien qu'une telle mesure soit insatisfaisante, en raison du caractère statique et uniquement structural de la complexité qu'elle envisage en se bornant à l'assemblage des éléments du système en cause alors qu'il conviendrait de prendre également en compte la complexité fonctionnelle et dynamique due aux interactions entre ces éléments, elle met clairement en évidence le lien entre quantité d'information contenue dans un message et dans un système organisé. Appelons S un tel système, et supposons qu'il comporte deux sous-systèmes A et B reliés par une voie de communication transmettant un flux d'information de A vers B. Pour que S possède réellement le caractère d'ensemble *organisé* propre à un système, il faut que cette transmission d'information soit telle qu'elle ne se corresponde à aucun des deux cas suivants : 1) une absence totale de contrainte de A sur B, au sens où toute l'information émise par A serait perdue lors de sa transmission vers B; 2) l'existence d'une contrainte totale de A sur B, au sens où cette transmission s'effectuerait sans aucune perte d'information. En effet, le premier cas serait celui d'une indépendance totale de la structure de B par rapport à celle de A : lors de la transmission de A vers B, l'ambiguïté serait ici égale à la quantité totale d'information de A, et la quantité d'information de l'ensemble A et B s'obtiendrait en additionnant celle de A à celle de B. Dans la mesure où l'existence même du système S dépend de l'établissement effectif d'une relation entre A et B par l'intermédiaire de la voie de communication les reliant, la situation décrite à l'instant impliquerait la destruction de S en tant que système. Dans le second cas, B ne serait qu'une simple copie de A, et la quantité d'information de l'ensemble A et B serait égale à celle de A (ou à celle de B) : au lieu du système S, nous n'aurions alors qu'un sous-système répliqué.

De fait, la notion de système organisé n'a de sens que pour les situations intermédiaires entre les deux cas extrêmes que nous venons d'évoquer : une situation telle que la structure de A exerce une réelle contrainte sur celle de B, sans que cette contrainte ne soit totale pour autant. En d'autres termes, la notion d'organisation du système S suppose qu'il y ait transmission d'une quantité d'information non nulle entre A et B (on n'est pas dans le premier cas), *et* que cette transmission s'effectue avec une ambiguïté non nulle (on n'est pas dans le second cas). Cette double condition étant satisfaite, on peut montrer que l'ambiguïté joue des rôles diamétralement opposés selon que l'on se place au niveau de la voie élémentaire de transmission de l'information (entre A et B) ou à celui du système S considéré dans son ensemble.

Il est en effet évident que le théorème shannonien de la voie avec bruit s'applique bien *au niveau de la voie élémentaire* de transmission d'information considérée ici : l'ambiguïté mesure ici l'incertitude qui subsiste au sujet du sous-système B quand l'on connaît le sous-système A, de sorte qu'elle traduit le manque de contrainte exercé par A sur B - un manque qui serait maximal si A et B étaient parfaitement indépendants, et nul si B n'était qu'une copie strictement conforme de A. En somme, assimilée à l'exercice d'une contrainte d'un sous-système sur un autre par H. Atlan, la transmission d'information de A vers B renvoie au sens philosophique premier du verbe "informer" - du latin *informare* qui signifie "donner une forme, mettre en une forme". Par définition, plus l'incertitude subsistant sur B sachant A est grande (plus l'ambiguïté est élevée), moins est importante la quantité d'information transmise dans la voie : puisque l'ambiguïté joue ce rôle négatif sur la quantité d'information transmise au niveau de la voie élémentaire entre A et B, nous pouvons convenir de l'associer ici à un signe algébrique négatif.

C'est exactement l'inverse qui prévaut *au niveau du système considéré dans son ensemble* - à celui de la voie de transmission d'information établie *entre* le système et l'observateur et non plus *à l'intérieur même* du système. Car à ce niveau la contrainte exercée par A sur B joue un rôle opposé au précédent : si cette contrainte était totale (ambiguïté nulle), la connaissance de B sachant A n'apporterait aucune information supplémentaire à l'observateur, puisqu'aux yeux de celui-ci le second sous-système ne constituerait qu'une copie à l'identique du premier; si cette contrainte était au contraire nulle (ambiguïté maximale), la connaissance de B sachant A apporterait à l'observateur une quantité supplémentaire d'information strictement égale à la quantité d'information contenue dans B. Dans le cas d'un véritable système organisé, où nous imposons à la contrainte de n'être ni totale ni nulle, il subsiste ainsi toujours une certaine ambiguïté sur B quand l'observateur ne connaît que A. Mais ici, cette incertitude restante, mesurée par la quantité d'information de B indépendamment de A, ne représente plus de l'information perdue : la quantité d'information transmise à l'observateur considérant successivement A et B est égale à la somme de la quantité d'information de A et de celle que lui apporte l'observation de B *bien qu'il connaisse déjà A*. Loin de traduire une *perte* d'information, la différence entre A et B est *productive* d'information pour l'observateur du système dont elle augmente la variété. Nous devons donc donner ici un signe algébrique positif à l'ambiguïté (1).

Ce rôle bivalent du bruit, H. Atlan le marque par les concepts d'ambiguïté destructrice (< 0) et d'ambiguïté-autonomie (> 0), et c'est en termes de ces concepts que nous devons interpréter l'expression formelle, donnée plus haut, de la propriété auto-organisatrice de certains systèmes, car chaque élément de la somme figurant le membre de droite de cette expression correspond à l'un des rôles opposés de l'ambiguïté, mis en évidence à l'instant.

---

(1) Remarquons qu'une telle interprétation n'est nullement contradictoire avec la conception shannonienne de l'information ; s'il est vrai que la quantité d'information de A n'est jamais augmentée quand elle est transmise à B (théorème de la voie avec bruit), il est également vrai que la quantité d'information de A *et* B, transmise à l'observateur, croît nécessairement avec le degré d'autonomie de B par rapport à A, puisque la redondance de l'ensemble diminue d'autant.

Rappelons cette expression formelle, dans laquelle l'organisation du système concerné est définie par un caractère structural, mesuré par la quantité H, et par un caractère fonctionnel, exprimé par dH/dt :

$$dH/dt = - Hmax \cdot dR/dt + (1 - R) \cdot dHmax/dt$$

Considérons le membre de droite. Son premier terme, - Hmax . dR/dt, mesure la variation de la redondance du système au cours du temps. Si cette redondance est initialement suffisamment élevée (1), elle diminuera sous l'effet de l'ambiguïté-autonomie : dR/dt < 0. Puisque Hmax est toujours positif, le produit - Hmax . dR/dt sera positif, ce qui se traduira au cours du temps par un accroissement de H, qui mesure la quantité d'information contenue dans le système. Ainsi, ce premier terme rend compte d'un processus de différenciation des sous-systèmes, ou d'augmentation de la complexité structurale et fonctionnelle du système, en mesurant l'augmentation de variété de ce dernier : agissant à l'intérieur du système, le "bruit" exerce donc un effet positif sur la voie établie entre le système et l'observateur. Quant au second membre de l'expression ci-dessus, (1 - R) . dHmax/dt, il mesure la variation de Hmax au cours du temps, c'est-à-dire la variation instantanée par rapport à l'état de complexité maximale que peut atteindre le système sans tenir compte de son degré de redondance. Selon H. Atlan, le processus de désorganisation par rapport à un état donné (instantané) d'organisation, sous l'effet de l'ambiguïté destructrice, s'exprime par une fonction décroissante de Hmax de telle sorte que dHmax/dt et le second terme tout entier sont négatifs, contribuant à une diminution de la quantité d'information H du système. En somme, le "bruit" agit ici directement sur la voie de transmission du système à l'observateur en réduisant la quantité d'information véhiculée par elle : l'effet de l'ambiguïté destructrice est donc bien négatif du point de vue de l'observateur.

En définitive, l'organisation fonctionnelle d'un système peut être décrite par le taux de variation dH/dt, obtenu en additionnant deux fonctions du temps, dont l'une exprime le taux de décroissance de la redondance du système, et l'autre le taux de décroissance de la quantité d'information maximale de ce dernier. Sous certaines conditions de redondance structurale initiale et de fiabilité du système, celui-ci se révèle capable d'intégrer à sa propre organisation tout "bruit" provoqué en son sein par des facteurs aléatoires en provenance de son environnement. La diminution consécutive de la redondance du système, et l'augmentation corrélative de sa complexité, traduisent alors le caractère auto-organisateur de ce système. L'auto-organisation n'est donc pas conçue ici comme un état, mais comme un processus ininterrompu de désorganisation-réorganisation.

---

(1) Il faut que le système présente une redondance initiale suffisamment élevée pour que le rôle bivalent du bruit puisse exister. Imaginons en effet qu'il n'existe qu'une seule voie élémentaire de transmission de l'information entre deux seuls sous-systèmes A et B ; l'éventuelle autonomie de B par rapport à A est alors synonyme d'un mauvais fonctionnement du système, et implique en pratique la destruction de celui-ci; du point de vue du système, la quantité d'information de B en tant qu'indépendant de A perd toute signification dans une telle situation. Il faut donc qu'il existe un nombre minimal de sous-systèmes et de voies pour que l'indépendance, même totale, de l'un (par exemple B) par rapport à un autre (par exemple A), ne signifie pas disparition du système ; en d'autres termes, ce dernier doit présenter une redondance initiale suffisamment élevée pour que l'ambiguïté-autonomie ait un sens.

Deux paramètres importants interviennent dans les deux fonctions du temps, dont résulte par sommation le taux dH/dt qui décrit l'organisation fonctionnelle du système : la redondance structurale initiale Ro, et la fiabilité, caractère fonctionnel exprimant l'efficacité de l'organisation dans sa résistance aux changements aléatoires. Plus précisément, si la fiabilité du système dépend de la redondance de celui-ci, elle ne s'y réduit pas. Nous avons vu en effet que la redondance initiale d'un système doit avoir une valeur minimale pour que ce dernier présente des propriétés auto-organisatrices consistant en une augmentation de complexité par destruction de redondance. Dans ces conditions, absolument nécessaires pour que la courbe de variation H(t) ait une partie initiale croissante,

"la fiabilité mesurera aussi la *durée* de cette phase ascendante, soit le temps tm au bout duquel le maximum est atteint, d'autant plus long que la fiabilité est grande." (H. Atlan, 1979, p. 52, italiques de l'auteur),

On obtient ainsi une courbe représentative de l'évolution de la quantité d'information du système au cours du temps. Jusqu'à la date tm, l'ambiguïté-autonomie l'emporte sur l'ambiguïté destructrice, de sorte qu'au total dH/dt > 0, et c'est l'inverse qui se produit ensuite. Le profil d'une telle courbe est typique des organismes vivants : croissance et maturation (dH/dt > 0 pour t < tm) puis, après un maximum (dH/dt = 0 pour t = tm), vieillissement et mort (dH/dt < 0 pour t > tm) :

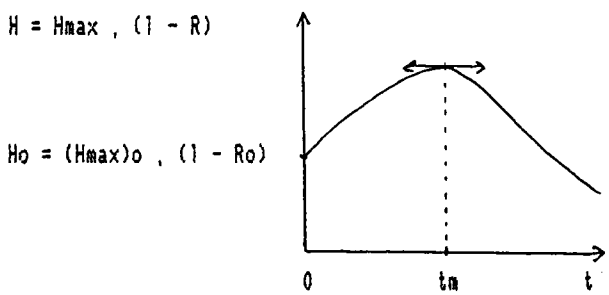


figure 1. - L'évolution de la quantité d'information d'un système auto-organisateur au cours du temps

On remarquera que ce sont toujours des facteurs *aléatoires* en provenance de l'environnement du système qui nourrissent le développement de celui-ci et le mènent ensuite à la mort. Ces facteurs sont aléatoires en ce sens que, au moment où ils provoquent au sein du système le "bruit" dont l'effet est successivement organisateur (t < tm) et désorganisateur (t > tm), ils ne correspondent à aucun programme préétabli contenu dans l'environnement et destiné à organiser ou à désorganiser le système. Nous avons affaire ici à un bruit inintentionnel (dont l'occurrence est a priori dépourvue de sens) mais dont l'effet consiste, dans la partie croissante de H(t), à *créer de l'information* en augmentant le degré d'organisation du système par un accroissement du degré de différenciation des sous-systèmes composant ce dernier. Laissé en suspens par la théorie strictement shannonienne de l'information, le problème de la création de celle-ci est donc pensable en termes de l'élargissement de cette théorie que constitue le paradigme auto-organisationnel proposé par H. Atlan.

En effet, la possibilité d'un accroissement de la quantité d'information transmise du système à l'observateur, sous l'effet d'un bruit créateur d'ambiguïté, s'inscrit dans le prolongement direct du formalisme shannonien : sans contredire le théorème de la voie avec bruit, ce prolongement voit le changement de signe de la fonction ambiguïté résulter d'un simple *changement de point de vue* sur le rôle joué par l'ambiguïté vis-à-vis du système. De sorte que ce changement de signe possède deux implications tout à fait fondamentales pour la théorie de l'information. La première tient à *la prise en compte explicite de l'observateur* dans la définition même des systèmes non consciemment et délibérément construits par l'homme en tant que sujet individuel - tels les systèmes sociaux, économiques, symboliques, etc. : c'est bien en considérant alternativement le système de l'intérieur (du point de vue de la transmission entre les sous-sytèmes A et B) et de l'extérieur (du point de vue de la transmission entre le système S et l'observateur), que nous avons pu opposer une ambiguïté destructrice (premier point de vue) à une ambiguïté-autonomie (second point de vue). La seconde implication est une conséquence de la précédente, dont elle donne une interprétation propre à en étendre la portée, puisqu'elle consiste à considérer ces points de vue différents comme des *niveaux d'organisation différents* à l'intérieur de tout système intégré en niveaux hiérarchisés :

"l'introduction de la position de l'observateur ne constitue pas *seulement* une étape logique du raisonnement ; *cet observateur, extérieur* au système, *c'est en fait, dans un système hiérarchisé, le niveau d'organisation supérieur* (englobant) par rapport aux systèmes éléments qui le constituent; c'est l'organe par rapport à la cellule, l'organisme par rapport à l'organe, etc. C'est par rapport à lui que les effets du bruit sur une voie à l'intérieur du système peuvent, dans certaines conditions, être positifs. Autrement dit ; pour la cellule qui regarde les voies de communications qui la constituent, le bruit est négatif. Mais pour l'organe qui regarde la cellule, le bruit dans les voies à l'intérieur de la cellule est positif (tant qu'il ne tue pas la cellule) en ce qu'il augmente le degré de variété, donc les performances régulatrices, de ses cellules." (H. Atlan, 1979, p. 70, italiques de l'auteur.)

Plus généralement, il faut donc s'attendre que l'ambiguïté associée à un bruit donné, provoqué par un facteur aléatoire provenant de l'environnement d'un système auto-organisateur que ce facteur vient perturber, exerce des effets diamétralement opposés sur un niveau hiérarchique donné d'un tel système, et sur le niveau immédiatement englobant comme sur le niveau englobé de ce niveau hiérarchique donné. Nous débouchons ainsi sur la question cruciale de la *signification* de l'information dans un système hiérarchisé, signification dont les développements précédents suggèrent qu'elle change suivant le niveau hiérarchique considéré à l'intérieur du système.

2. Signification de l'information dans un système hiérarchisé

Afin de mettre progressivement en place les éléments permettant de comprendre une telle signification, nous procéderons ici en cinq temps : la différence entre le principe d'ordre par le bruit de Von Foerster et celui du bruit organisationnel de H. Atlan (a) nous permettra d'établir une distinction claire entre le concept de complication et celui de complexité (b). Afin d'illustrer ce dernier, nous donnerons ensuite trois mesures de complexité (c), puis une première approche de la notion de signification (d). Enfin, nous préciserons le sens que revêt cette notion dans le cadre d'un système hiérarchisé (e).

a) Ordre par le bruit *versus* bruit organisationnel

H. Von Foerster (1960) propose le modèle qualitatif d'un principe d'ordre par le bruit, dans lequel l'ordre d'un système est considéré comme une répétition (ou une redondance) qui *augmente* suite à la perturbation de ce système par un "bruit". Ce modèle est celui de cubes aimantés dont la disposition initiale au sein d'un récipient est celle d'un amas informe, et qui sont agités de manière aléatoire en même temps que le récipient les contenant. Au fur et à mesure d'une telle agitation, en laquelle consiste le bruit évoqué plus haut, ces cubes se disposent de manière de plus en plus "ordonnée" du fait de l'aimantation de leurs faces qui s'attirent. On remarque immédiatement que *ce processus suppose connu d'emblée le mécanisme de construction des formes* : l'observateur sait dès le départ de l'expérience que les cubes vont s'accoupler selon les forces d'attraction dues à l'aimantation. En ce sens, le bruit a pour fonction et pour effet de permettre aux contraintes potentielles, constituées par ces forces d'attraction, de se réaliser : le système finalement construit correspond exactement à la connaissance que l'on avait *a priori* des mécanismes de construction. Celle-ci s'effectue de telle sorte que c'est bien la redondance du système qui augmente du fait du bruit : par rapport à l'amas informe de départ, au sein duquel la position d'un cube donné ne peut, par définition, être déduite logiquement de celles que l'on connaît éventuellement s'agissant d'autres cubes, l'état du système évolue de manière de plus en plus prévisible pour l'observateur. Du point de vue de ce dernier, il est en effet de plus en plus facile de prévoir la position d'un cube donné à partir de la connaissance qu'il a de celles d'autres cubes.

Le principe du bruit organisationnel introduit par H. Atlan est inverse : l'un de ses intérêts essentiels réside précisément dans le fait qu'ici le bruit, loin d'augmenter la redondance, *diminue* celle-ci par augmentation de complexité. *Si l'on ne connaît pas le mécanisme de construction des formes*, comme c'est le cas dans les systèmes non construits, où l'apprentissage se fait sans programme prélable, la forme qui apparaît progressivement est plus complexe que l'amas de départ : dans celui-ci, les "morceaux" sont parfaitement interchangeables sans modification de la forme globale, de sorte que le nombre d'éléments différents qu'il serait nécessaire de spécifier pour reconstruire un amas statistiquement identique est relativement réduit par rapport au cas d'une forme géométrique déterminée, où chaque "morceau" occupe une place non quelconque - où les portions d'espace ne sont pas interchangeables quant à leurs probabilités respectives d'être vides ou occupées par tel "morceau". La redondance du système a diminué, et, corrélativement, sa complexité a augmenté, sous l'effet du bruit oganisationnel.

Entre le principe d'ordre par le bruit de H. Von Foerster, et celui du bruit organisationnel de H. Atlan, la différence est donc patente : le premier s'applique à des systèmes évoluant de manière de plus en plus prévisible aux yeux de l'observateur, dont la connaissance *a priori* des règles globales d'évolution de ces systèmes lui permet de prévoir de mieux en mieux l'évolution des sous-systèmes correspondants; le second envisage au contraire des systèmes dont la loi globale d'évolution n'est pas connue de l'observateur, de sorte qu'il est de plus en plus difficile pour lui de prévoir l'évolution des sous-systèmes correspondants.

b) Complexité et complication

Cette différence entre ordre par le bruit et bruit organisationnel débouche immédiatement sur une autre différence, fondamentale pour notre propos : celle qui distingue la complication de la complexité. A la limite, la complication d'un système n'exprime que le nombre d'étapes nécessaires pour décrire entièrement celui-ci à partir de ses constituants. C'est donc un attribut de systèmes construits, ou constructibles, par l'homme qui en connaît et comprend totalement la structure et le fonctionnement. En ce sens, s'il contient un nombre important de cubes, le système illustrant le principe d'ordre par le bruit de H. Von Foerster peut être dit compliqué. Par contre, selon H. Atlan ce même système ne peut pas être considéré comme étant complexe, car

"*la complexité est reconnue comme une notion négative ;* elle exprime qu'on ne connaît pas, ou qu'on ne comprend pas un système, malgré un fond de connaissance global qui nous fait reconnaître et nommer ce système. Un système qu'on peut spécifier explicitement, dont on connaît la structure détaillée, n'est pas vraiment complexe. Disons qu'il peut être plus ou moins compliqué. La complexité implique qu'on en ait une perception globale, avec en même temps la perception qu'on ne la maîtrise pas dans ses détails. C'est pourquoi on la mesure par l'information qu'on ne possède pas et dont on aurait besoin pour spécifier le système en ses détails." (1979, p. 76, italiques de l'auteur).

Avec H. Atlan, nous retrouvons ici la conception de l'information de L. Brillouin (1956) interprétant la quantité d'information définie par la formule de Shannon comme une mesure de l'information *qui manque* à l'observateur pour spécifier explicitement un système. A la limite, aussi compliqué soit-il, un système parfaitement connu peut être réduit à un seul élément : son progamme de construction. Dans ce cas, pour H. Atlan comme pour L. Brillouin, H = 0 et R = 1 : une complexité ordonnée, sous forme d'un programme de construction supposé connu, n'est plus une complexité mais seulement une complication. Réciproquement, un désordre n'est pas forcément synonyme de complexité, ou n'est complexe que par rapport à un ordre supposé exister et que l'on cherche. Bref, selon H. Atlan

"*la complexité est un désordre apparent où l'on a des raisons de supposer un ordre caché;* ou encore, *la complexité est un ordre dont on ne connaît pas le code*", (1979, p. 78, italiques de l'auteur).

Afin d'illustrer cette notion, donnons rapidement trois mesures de complexité d'un système, qui différent selon le degré de connaissance que l'on a de ce dernier.

c) Trois mesures de complexité

i) la première mesure est celle de la complexité d'un système composé d'un grand nombre d'éléments et dont on ne connaît pas le mécanisme de construction. C'est en somme la situation canonique de complexité - celle où cette dernière est la plus élevée. Dans cette situation, la complexité est mesurée par la *variété* du système, au sens de Ashby : c'est un cas particulier de la fonction H de Shannon, celui où il existe n éléments différents, dont on ne prend pas réellement en compte les probabilités respectives car on ne les connaît pas. Plus précisément, l'on exprime une telle ignorance en considérant ces éléments comme équiprobables : $\forall i$, $\forall j$, on écrit $p(i) = p(j) = 1/n$.

En partant de la formule de Shannon :

$$H = - \sum_{1}^{n} p\ (i)\ .\ \log_2 p(i)$$

si p(i) = p(j), ∀i, ∀j, il vient immédiatement

$$H = -\ n\ .\ 1/n\ .\ \log_2 p(i) = -\ \log_2 1/n = \log_2 n = H1$$

ii) si nous imaginons à présent que l'on connaisse la distribution de probabilités des éléments du système, avec des p(i) quelconques, on retrouve la formule de Shannon

$$H = - \sum_{1}^{n} p\ (i)\ .\ \log_2 p(i) = H2$$

et il est clair que H2 < H1. En effet, l'information supplémentaire consistant en la connaissance de la distribution de probabilités des p(i), dont l'on ne disposait pas dans le cas précédent, correspond à une meilleure connaissance, de notre part, du code du système envisagé. Elle implique donc une réduction de la complexité de ce dernier. En fait, nous sommes ici en face d'une redondance nulle (les n éléments du système sont parfaitement indépendants), c'est-à-dire que nous retrouvons ce que nous avions appelé Hmax plus haut : H2 = Hmax.

iii) enfin, il se peut que nous ayons connaissance de contraintes internes au système, établies entre les éléments de ce dernier. La complexité est alors encore réduite par la redondance qui mesure ces contraintes. Cette complexité est mesuré par

$$H3 = Hmax\ (1 - R) = H2\ (1 - R)$$

Finalement : H3 < H2 < H1, où

H1 correspond au maximum de H2 (du fait de l'équiprobabilité de la distribution), alors que H2 correspond au maximum de H3 (du fait de l'indépendance des éléments), et que H1 exprime un maximum maximorum d'ignorance ou de complexité.

d) Première approche de la signification de l'information

De manière générale, nous venons de voir que l'information était mesurée par la formule de Shannon, au sens de quantité d'information qui manquait à l'observateur du système pour pouvoir reconstruire à l'identique celui-ci, dont le code (le principe de construction) était imparfaitement connu de cet observateur. Une telle mesure dépend donc de manière critique du choix de ce qui est considéré comme étant les éléments constitutifs du système. Par exemple, s'agissant d'un système biologique, cette quantité variera selon que l'on situe l'observation au niveau des particules élémentaires, des atomes, des molécules, des macromolécules, des organelles, des cellules, des organes, ou de l'organisme tout entier, considéré comme système englobant les sous-systèmes précédents. Selon H. Atlan, c'est précisément en ces termes qu'il nous faut poser le problème de la signification de l'information.

D'après H. Atlan en effet,

"c'est justement là que se loge la signification (pour le système) de l'information (pour l'observateur, c'est-à-dire l'information qu'il n'a pas), alors même que celle-ci est mesurée de façon probabiliste, qui ignore la signification ; cela vient de ce qu'il s'agit, encore, d'une information qu'on n'a pas sur le système. Le choix, au départ, est laissé à la décision de l'observateur." (1979, p. 75).

H. Atlan donne un exemple très simple, qui permet de mieux comprendre ce point. Cet exemple est celui de l'observateur d'un système biologique, système que cet observateur choisirait de décrire, soit à partir de ses atomes constitutifs, soit à partir de ses molécules. Dans le premier cas,

"Il mesurera l'information supplémentaire nécessaire quand on ne connaît que le type d'atomes rencontrés dans un ensemble statistiquement homogène de systèmes identiques et leur fréquence dans cet ensemble. Cette information nécessaire est évidemment très grande par rapport à celle dont on aurait besoin si on décrivait le système à partir de ses molécules. C'est que dans ce cas on utiliserait une information supplémentaire qu'on possède déjà sur la façon dont les atomes sont associés en molécules. C'est autant de complexité qui disparaît par rapport au cas précédent." (Ibid.).

Il apparaît clairement ici que la signification de l'information est indissociable d'une conception d'un système hiérarchisé en niveaux d'organisation dont chacun est défini comme une totalité : par opposition à un agrégat, construit à partir d'éléments dont les significations propres précèdent ainsi celle de l'ensemble qu'ils constituent, dans une totalité la signification de chaque élément est strictement déterminée par celle de l'ensemble qui leur est logiquement antécédente. Bien que le terme de totalité n'apparaisse pas dans le texte de H. Atlan, probablement parce que l'on reconnaît généralement cette notion comme faisant partie intégrante de celle de système, c'est bien une notion de totalité qui transparaît dans la citation ci-dessus : se situer au niveau de la molécule pour décrire le système, c'est *ipso facto* considérer comme connu l'arrangement des atomes constituant celle-ci. Plus généralement, comme l'ont montré les trois mesures de complexité données précédemment :

"Plus on connaît la façon dont les éléments sont assemblés pour construire le système - plus on possède de véritable information, avec sa signification, sur le système - plus la fonction H diminue." (Ibid.).

Il est à présent facile de comprendre les liaisons conceptuelles existant entre les notions de redondance, complexité et codage dans le cadre de systèmes non construits par l'homme. Parfaitement duale de la notion de complexité, celle de redondance traduit en termes d'information l'effet sur l'observateur de l'existence de contraintes internes à un tel système : du fait de ces contraintes, établies entre ces sous-systèmes que figurent les éléments du système considéré, la connaissance qu'a l'observateur de l'un de ces éléments influe sur celle qu'il peut avoir des autres. Il s'ensuit que

"la redondance est une mesure de la simplicité et de l'"ordre". Ainsi l'ordre serait plutôt répétitif ou redondant. Il n'est pas nécessaire qu'il soit physiquement répétitif, comme dans un cristal, au sens d'un élément ou motif unique répété un grand nombre de fois. Il suffit qu'il soit redondant, c'est-à-dire déductivement répétitif ; la connaissance d'un élément nous apporte une certaine information sur les autres (en diminuant l'incertitude à leur sujet) et c'est cela qui nous fait percevoir un ordre." (H. Atlan, 1979, p. 79).

A priori, la relation conceptuelle entre codage et complexité peut paraître plus déroutante que la précédente : il semble en effet paradoxal que la fonction H exprime la quantité d'information transmise dans une voie établie entre le système et l'observateur, alors même qu'elle mesure la quantité d'information que cet observateur ne possède pas - puisque c'est précisément celle dont il aurait besoin pour spécifier le système! En fait, ce paradoxe n'est qu'apparent : pour le dissoudre, il suffit de souligner à nouveau que ce que transmet le système à l'observateur est toujours un *déficit* d'information. Ajoutons que la quantification de ce qui est ainsi transmis ne prend pas directement en compte le codage (à l'entrée de la voie) ni le décodage (à la sortie) du sens des messages. L'information mesurée est celle qui est transmise du système à l'observateur dans une optique strictement shannonienne, c'est-à-dire *à l'intérieur* d'une voie : dans le calcul lui-même de la quantité H, les bornes de la voie de transmission sont pour ainsi dire ignorées - de manière formellement analogue à un intervalle *ouvert* en mathématiques. C'est une information *sans code* qui est transmise à l'occasion de l'observation du système, ce qui n'implique évidemment pas que la notion de signification de l'information soit absente du paradigme de l'auto-organisation à la Atlan, bien au contraire : nous venons de donner une première approche de cette notion, qu'il nous faut à présent préciser en la situant explicitement dans le cadre d'un système hiérarchisé.

e) signification de l'information dans un système hiérarchisé

De manière tout à fait générale, la signification d'une information donnée peut être définie

"comme l'effet de la réception de cette information sur son destinataire. Cet effet peut apparaître soit sous la forme d'un changement d'état, soit sous celle d'un "output" de ce destinataire lui-même envisagé comme un sous-système." (H. Atlan, 1979, p. 86)

Il est donc parfaitement évident qu'un événement donné, véhiculant une certaine information pour qui perçoit cet événement et fait ainsi figure de destinataire de l'information associée, revêtira des significations différentes pour des destinataires différents. En particulier, l'événement consistant en la survenue d'un "bruit" venant perturber un système auto-organisateur présentera des significations différentes selon les différents niveaux hiérarchiques auxquels l'on se placera lors de l'observation de ce système : un bruit organisationnel donné aura une signification différente selon que l'on considère les voies élémentaires constituant le système lui-même, ou le niveau englobant auquel ce système est considéré comme une totalité par l'observateur.

Au niveau des voies élémentaires constituant le système lui-même, la connotation de ce bruit organisationnel est clairement positive, puisque le système utilise ce bruit pour se reconstruire de façon nouvelle - en augmentant sa complexité par diminution de redondance. En effet, bien que le bruit soit *a priori* aléatoire, au sens où sa survenue en provenance de l'environnement ne correspond ni à un programme préétabli dans celui-ci et destiné à organiser ou désorganiser le système, ni n'est prédéterminée par l'état actuel du système, *a posteriori* la notion d'aléa perd de sa pertinence en ce qui concerne ce dernier.

De fait, le système est précisément auto-organisateur parce qu'il est capable d'intégrer ce bruit à son organisation propre, et dès lors qu'il est ainsi intégré, ce bruit n'a plus rien d'aléatoire : sa survenue signifie au contraire que le système possède désormais une meilleure information sur lui-même, ce qui lui permet éventuellement de mieux fonctionner au sein de son environnement :

"l'information qu'un système aurait sur lui-même, celle dont nous avons vu qu'elle peut augmenter sous l'effet de ce qui nous apparaît comme du bruit (et qu'on mesure alors par une information qui nous manque), c'est bien ce qui permet au système de fonctionner, et même d'exister en tant que système. Il s'agit donc de l'ensemble des *effets* structuraux et fonctionnels, de la *réception* de l'information transmise dans le système, sur les différents sous-systèmes et différents niveaux d'organisation du système. Il s'agit bien de la *signification* de cette information pour le système." (H. Atlan, 1979, p. 87, italiques de l'auteur).

En somme, bien que le système soit dépourvu de tout plan préalable, tout se passe comme s'il faisait son miel d'un bruit *a priori* aléatoire, qui lui permet de faire l'apprentissage de lui-même en voyant se différencier davantage les sous-systèmes le composant. C'est pourquoi la signification de ce bruit doit être considérée comme étant positive pour le système lui-même. Il en va différemment au niveau englobant de l'observateur. Pour ce dernier, le bruit organisationnel est le résultat d'un hasard - au sens de A. Cournot, c'est-à-dire qu'il résulte de la rencontre de deux séries causales indépendantes *a priori* -, et, la survenue de ce bruit ayant produit ses effets sur le système, ceux-ci sont tels que la connaissance qu'a l'observateur au sujet de ce système ne s'en trouve nullement accrue. Au contraire, cette connaissance a diminué. De fait, nous savons que l'augmentation de complexité consécutive à la survenue du bruit est synonyme d'accroissement du déficit d'information de l'observateur concernant le système : pour pouvoir spécifier ce dernier, il lui manque désormais davantage d'information qu'il ne lui en manquait précédemment. Dans la mesure où cet observateur préfère avoir davantage d'information que moins, la connotation du bruit est considérée par lui comme étant clairement négative. La signification de l'information pour l'observateur est donc à l'opposé de celle que cette information revêt pour le système lui-même.

Plus généralement, une variation donnée de l'expression quantitative de l'information par la fonction H de Shannon peut donc présenter des sens radicalement opposés selon le niveau auquel on situe l'observation d'un système hiérarchisé - ici, en deux niveaux seulement : cette quantité étant toujours saisie comme un déficit, ce qui est destruction d'information à un niveau élémentaire (ou englobé) peut parfaitement apparaître comme une création d'information à un niveau englobant. Le principe de complexité par le bruit, qui se trouve au coeur du concept d'auto-organisation proposé par H. Atlan, représente donc une façon détournée d'introduire des effets de sens dans une théorie quantitative de l'organisation :

"Bien sûr, le sens n'est là que de façon négative, comme son ombre, puisqu'il n'y est théorisé qu'à travers les effets du bruit, c'est-à-dire d'une négation de l'information. Mais il est quand même là parce qu'*il s'agit de la négation d'une négation*, puisque tout se passe comme si l'information shannonienne niait le sens, autre façon de dire qu'elle mesure ce que nous ne comprenons pas du système." (Ibid., p. 88, italiques de l'auteur).

Appliqué au cas le plus simple où n'existent que deux niveaux à l'intérieur d'un système hiérarchisé - celui des voies élémentaires entre les n éléments du système et celui de l'observateur -, le modèle de l'auto-organisation proposé par H. Atlan peut en définitive être résumé de la manière suivante. A la date initiale t_0, l'état du système est caractérisé par une redondance Ro, et par la complexité correspondante Ho mesurée par la formule de Shannon, diversement interprétée suivant que l'observateur connaisse, ou non, la distribution de probabilités des éléments du système et/ou l'existence de contraintes initiales exercées par certains éléments sur d'autres. A cette même date, des facteurs aléatoires en provenance de l'environnement du système provoquent un bruit à l'intérieur de celui-ci. Ce bruit a pour effet de modifier le système, de telle sorte qu'à la date suivante, $t_1 = t_0 + dt$, corresponde un nouvel état de celui-ci. Si le système est auto-organisateur et fiable au sens de Atlan, c'est-à-dire si Ro est suffisant et si $t < tm$, ce nouvel état sera tel que $R1 < R0$ et, corrélativement, $H1 > H0$. Mesurant l'excès net de la valeur de l'ambiguïté-autonomie sur la valeur absolue de l'ambiguïté destructrice, cet accroissement de complexité présente une signification positive pour le système, qui possède désormais une meilleure connaissance de lui-même, et une signification négative pour l'observateur de ce système, dont le déficit d'information relativement à ce dernier a augmenté de t_0 à t_1.

L'idée générale de ce modèle est donc que, sous certaines conditions, un facteur *qualitatif* tel le bruit organisationnel, induit une modification à la fois qualitative et quantitative dans la représentation d'un système non construit par l'observateur : cette modification est qualitative, puisqu'elle se traduit par les effets de sens rappelés à l'instant, mais elle est également quantitative, puisque ces effets de sens s'appuient sur une mesure exprimée dans le formalisme shannonien. Tout en conservant un tel formalisme, avec les avantages liés à l'expression quantitative d'une théorie quelle qu'elle soit, ce modèle ouvre à un traitement analytique de la *création* et de la *signification* de l'information au sein d'un système *hiérarchisé*. En permettant d'envisager ces trois notions solidaires que C. Shannon laissait en dehors de sa problématique, le modèle d'auto-organisation de H. Atlan constitue bien un dépassement de la théorie shannonienne de l'information.

Mais ce modèle présente en outre un avantage non négligeable par rapport à d'autres modèles de systèmes dynamiques, tel celui du principe d'ordre par fluctuation de I. Prigogine : contrairement à ce dernier, ce n'est pas un modèle déterministe, mais un principe de représentation probabiliste de systèmes mal connus. En ce sens, il paraît bien adapté à la représentation des systèmes sociaux, économiques et symboliques qui, tous, sont historiques, et dont la structure et le fonctionnement nous restent inéluctablement imparfaitement connus. Pour mieux apprécier la fécondité de l'approche proposée par H. Atlan, il convient à présent de confronter celle-ci à la théorie rosenfieldienne de la mémoire, présentée dans la première étape la construction visée par cet article. C'est sur le résultat de cette confrontation que nous fonderons à la fois la cohérence externe (adéquation des hypothèses avec la "réalité") et interne (non contradiction entre les hypothèses, ni entre celles-ci et les conclusions) du modèle constituant l'enjeu théorique de notre troisième et dernière étape.

Troisième étape : mémoire, auto-organisation et choix

Nous diviserons cette dernière étape en trois parties. Dans la première, le recensement des implications communes à la conception rosenfieldienne de la mémoire et au paradigme auto-organisationnel de H. Atlan esquissera une problématique permettant de poser le problème de l'apprentissage en prenant explicitement en compte la double dimension de l'incertitude et de l'irréversibilité - double dimension dont est inéluctablement empreint l'écoulement du temps historique. Sur cette base, notre deuxième partie présentera ensuite un modèle théorique d'apprentissage liant niveaux micro et macroéconomiques et débouchant, dans une troisième partie, sur un élargissement de l'optique traditionnelle de l'analyse du choix rationnel de l'agent individuel.

1. Mémoire, auto-organisation et problématique de l'apprentissage

Comme nous le suggérions dès l'introduction à notre deuxième partie, le premier point d'accord entre les conceptions de I. Rosenfield et de H. Atlan consiste en leur commun rejet de toute notion d'apprentissage faisant appel à l'existence d'un programme préétabli au sein des entités constituant leurs objets d'étude respectifs. En se proposant d'analyser certains fonctionnements de systèmes non construits (naturels ou sociaux) à l'aide de son modèle d'auto-organisation, H. Atlan produit un modèle d'apprentissage non dirigé, au sens le plus fort de cette expression : non seulement il écarte d'emblée le finalisme régnant dans le discours des biologistes jusqu'au début des années soixante, mais il va jusqu'à construire explicitement son modèle contre le concept de téléonomie, précédemment introduit par J. Monod afin, précisément, de tenter de contrer un tel finalisme - vaine tentative, selon H. Atlan. Etrangère, plus encore qu'opposée, à toute notion de finalité, de plan ou de réalisation d'un programme préalable en ce qui concerne le fonctionnement des systèmes non construits, la contribution de H. Atlan se présente donc, fût-ce implicitement, comme étant parfaitement incompatible avec toute conception qui assimilerait le fonctionnement de notre cerveau - ce cas particulier de système non construit - à celui des ordinateurs traditionnels.

C'est évidemment sur ce point précis que H. Atlan rejoint - ou plutôt, annonce - la conception rosenfieldienne de la mémoire. Car nous avons vu l'ouvrage entier de I. Rosenfield dresser un vibrant réquisitoire à l'encontre de la théorie de la localisation fonctionnelle et de la notion de mémoire associée. Loin de fonctionner sur le mode du traitement de données effectué par un ordinateur classique (PDP compris), qui recherche une information précédemment enregistrée, classée et stockée en permanence en un endroit bien précis de sa mémoire, pour la comparer à une information actuellement offerte à sa perception selon une liste d'instructions préalablement fournies par un programmeur, notre mémoire est inventive. Sans avoir reçu d'instructions préalables pour cela, elle combine les traits structuraux des stimuli qu'elle reconnaît en même temps qu'elle les perçoit, et classe simultanément ces derniers selon des arrangements et des procédures éminemment évolutives. Personne n'ayant instillé dans tel cerveau particulier les instructions auxquelles obéirait cette reconstruction ininterrompue du souvenir, ce cerveau peut être donné pour fonctionnant sans programme préétabli.

Reste que la théorie rosenfieldienne de la mémoire s'appuie largement sur le "darwinisme neuronal" de G. Edelman, et semble ainsi réintroduire au niveau de l'espèce, ou du genre, le finalisme qu'elle prétend avoir évacué à celui de l'individu : si l'on ne peut créditer aucune mémoire *particulière* d'un comportement visant à la réalisation précise d'un programme explicite, le fonctionnement de *toute* mémoire aurait pour objectif ultime la meilleure adaptation possible de l'individu concerné à son environnement. En somme, cette théorie ne serait pas étrangère à toute idée de finalisme, mais seulement à celle qui se trouve associée à la notion de programme d'ordinateur : elle ne rejetterait explicitement cette dernière que pour mieux accueillir la finalité adaptatrice apparemment sous-jacente à la théorie darwinienne de l'évolution. Sans vouloir rouvrir ici un vieux débat, remarquons que l'ajustement dynamique de l'individu au milieu, impliqué par cette finalité adaptatrice, renvoie à la notion très générale d'homéostasie d'un système. Or,

"depuis l'époque de Claude Bernard, il existe deux définitions de l'homéostasie (...) : 1° L'homéostasie comme *fin*, ou état, plus précisément l'existence d'une certaine constance en dépit des changements (externes); 2° L'homéostasie comme *moyen*, c'est-à-dire les mécanismes de rétroaction négative qui servent à atténuer les répercussions d'un changement. L'ambiguïté de ce double usage, et par suite les applications très étendues de ce terme, souvent d'ailleurs bien vagues, ont obscurci sa commodité d'analogie précise et de principe explicatif. Il vaut mieux actuellement parler de *l'état stable* ou de la *constance* d'un système, état qui est en général maintenu grâce à des mécanismes de *rétroaction négative*." (P. Watzlawick, J. Helmick-Beavin et D. Jackson, 1972, p. 144, italiques des auteurs).

De manière analogue, l'adaptation de l'individu à son environnement exprime aussi bien la finalité expresse de cet individu lors du fonctionnement de sa mémoire, que le caractère adéquat des moyens mis en oeuvre lors de ce même fonctionnement. Par-delà les inconvénients entraînés par une telle polysémie, cette dernière est donc en elle-même révélatrice du fait que la finalité présumée peut parfaitement se transformer en une pure et simple condition d'existence - au sens où être adapté veut simplement dire être vivant. De fait, nier une telle équivalence déboucherait immédiatement sur une circularité de raisonnement, clairement épinglée par C. Castoriadis :

"nous ne pouvons pas dire que le fonctionnement global du vivant vise la conservation de quelque chose de définissable. On ne peut pas affirmer qu'il vise la conservation de l'individu, car cela serait circulaire (le fonctionnement de l'individu vivant viserait la conservation de l'individu en tant qu'individu vivant, évidemment (...) bref ; on invoque la conservation, en négligeant le fait que cette conservation, si elle est quelque chose, est conservation d'un état qui ne serait définissable que par renvoi à la conservation." (1978, p. 182).

Les développements précédents montrent que le modèle rosenfieldien de la mémoire ne perd rien de son sens ni de sa portée en faisant l'économie de l'hypothèse de comportement consistant en une finalité adaptatrice que I. Rosenfield a cru bon d'emprunter à G. Edelman. En définitive, ce modèle décrit tout simplement le fonctionnement *normal* de la mémoire chez un être vivant. La perspective de l'apprentissage associée à la conception de la mémoire défendue par I. Rosenfield se révèle donc aussi libre de toute connotation finaliste que celle du modèle d'auto-organisation proposé par H. Atlan : ni l'un ni l'autre ne fondent l'apprentissage sur une notion de programme préalable, et c'est là le premier point commun existant entre leurs théories respectives.

Ce point débouche immédiatement sur le suivant : s'ils refusent de considérer l'apprentissage en termes de programme préétabli à l'intérieur des systèmes respectifs qu'ils étudient, c'est parce que I. Rosenfield et H. Atlan s'accordent à attribuer un poids considérable au rôle de l'environnement de ces systèmes dans l'évolution de ceux-ci. S'agissant du processus de reconnaissance-perception que I. Rosenfield affirme être à l'oeuvre lors du fonctionnement de notre mémoire, nous avons vu toute l'importance du contexte actuel dans la remémoration du passé. Celle-ci en acquiert inévitablement un aspect de reconstruction - pour ne pas dire d'invention, ce mot employé de manière un peu provocante par I. Rosenfield nous paraissant trop fort pour le contenu qu'il désigne. Selon lui, il n'y a tout simplement pas de remémoration possible sans contexte approprié, et un tel contexte imprime nécessairement sa marque au souvenir actuellement produit. Dans le sillage de la théorie edelmanienne de la construction et du fonctionnement du cerveau, au stade embryonnaire comme lors de son activité postnatale, la remémoration rosenfieldienne consiste donc en une constante réévaluation du passé à la lumière du contexte présent. Or, que représente pour nous un tel contexte, sinon la partie pertinente de notre environnement lorsque nous sommes en situation de remémoration? Telle est bien la signification large qu'il convient d'associer à la notion de contexte si volontiers mise en avant par I. Rosenfield : celle qui rassemble les voies multiples - émotionnelles comme purement sensorielles - par lesquelles nous touche le milieu dans lequel nous sommes insérés au moment précis de notre remémoration.

C'est une logique analogue à celle ainsi décrite par I. Rosenfield à propos du fonctionnement de notre cerveau qui sous-tend le phénomène d'auto-organisation, analysé par H. Atlan dans le cadre des systèmes non construits en général - et non dans celui du seul cerveau, animal ou humain. En effet, c'est bien parce qu'un système de ce genre se révèle capable d'intégrer à son organisation propre le bruit produit en son sein par des facteurs aléatoires en provenance de l'environnement, qu'il est auto-organisateur. Et pour un tel système, être doté de cette propriété auto-organisatrice ne signifie rien d'autre que pouvoir faire l'apprentissage de lui-même en voyant augmenter son degré de complexité dans la mesure exacte où diminue son degré de redondance. Mais réciproquement, sans bruit organisationnel, pas d'ambiguïté-autonomie ni de complexité accrue : pas d'apprentissage donc, sans environnement source de facteurs de bruit. Remarquons en outre qu'ici, comme dans la conception de I. Rosenfield, l'environnement n'est pas davantage programmé que le système pour faire réagir celui-ci - que ce soit sous forme d'une remémoration, ou sous celle d'un accroissement de complexité : de même que I. Rosenfield ne cesse de souligner que les stimuli en provenance de notre environnement ne sont pas d'emblée organisés - les cartes cérébrales ont au contraire à organiser ces stimuli en les catégorisant -, H. Atlan souligne le caractère aléatoire du bruit organisationnel, dont la survenue ne correspond pas à un programme préétabli dans l'environnement et destiné à organiser ou désorganiser le système.

En définitive, pour ces deux auteurs l'apprentissage effectué par un système non construit, en particulier celui que réalise notre cerveau lors de la remémoration, résulte toujours d'une interaction non programmée entre un tel système et son environnement. C'est là le deuxième point commun entre leurs théories respectives.

L'une des implications majeures de cette position partagée à propos des conditions d'apprentissage de systèmes non construits, tel le cerveau, est d'ouvrir à la possibilité d'analyser le phénomène de l'innovation. En effet, I. Rosenfield et H. Atlan font preuve tous deux d'une particulière attention aux problèmes soulevés par l'apparition de sens nouveaux dans leurs objets respectifs d'investigation. Pour le premier, un tel souci répond à une nécessité évidente : comme il l'affirme explicitement lui-même à plusieurs reprises, une théorie pertinente de la mémoire doit être capable d'expliquer notre adaptation dynamique à un monde sans cesse changeant. Une telle théorie est donc nécessairement celle d'un système évolutif, dont l'apprentissage se réalise par une permanente intégration à son mode normal de fonctionnement des aspects inattendus sous lesquels se présente à lui l'environnement. C'est bien pourquoi I. Rosenfield se déclare tellement séduit par le "darwinisme neuronal" de G. Edelman : en niant la réalité d'un déterminisme génétique strict dans l'embryogenèse du cerveau comme dans son fonctionnement ultérieur, le darwinisme neuronal installe *ipso facto* dans notre conception de la mémoire le degré de labilité dont celle-ci doit être pourvue afin d'être en mesure de figurer cet instrument au service de notre survie que I. Rosenfield voit en elle.

Dans la perspective de H. Atlan, la même préoccupation fondamentale - expliquer l'apparition du nouveau - se présente sous un jour légèrement différent : traduite en termes beaucoup plus abstraits, elle semble davantage destinée à répondre explicitement à un objectif proprement théorique qu'à une nécessité affichée de réalisme du discours. Non que le concept d'auto-organisation de H. Atlan soit dénué de tout souci de réalisme - bien au contraire : avec un tel concept, cet auteur se propose bien d'analyser le fonctionnement de systèmes *réellement* non construits. Mais enfin, ce concept apparaît surtout voué à résoudre, dans la veine du formalisme développé par C. Shannon qui les a laissés en suspens,

"trois sortes de problèmes qu'on ne peut pourtant que difficilement éviter dès qu'on parle d'information:,1, Ceux qui sont liés à la création d'information ; le deuxième théorème de Shannon, de la voie avec bruit, énonce explicitement que l'information transmise dans une voie ne peut pas se créer, puisqu'elle ne peut qu'être détruite par les effets du bruit, et au mieux, se conserver, 2, Ceux qui sont liés à la signification de l'information ; la formule de Shannon ne permet de quantifier l'information moyenne par symbole d'un message qu'à la condition de négliger le sens éventuel de ce message, 3, Enfin ceux qui sont liés aux formes hiérarchiques d'organisation ; dans la mesure où la formule de Shannon a pu servir de mesure d'organisation, elle ignore totalement les problèmes d'emboîtements de différents niveaux d'organisation, plus ou moins intégrés, les uns dans les autres," (H, Atlan, 1979, p, 65),

Notre deuxième étape a montré de manière suffisamment détaillée les solutions apportées par H. Atlan à ces trois problèmes liés pour qu'il soit inutile d'y revenir ici. Cependant, il est remarquable que I. Rosenfield, aussi concerné par les problèmes de création de sens et de signification de l'information que H. Atlan, bien qu'il ne se pose pas ces questions en termes de système hiérarchisé et malgré la légère différence d'approche mentionnée à l'instant, y réponde en invoquant sensiblement le même type de logique que ce dernier : dans la théorie rosenfieldienne de la mémoire, comme dans celle de l'auto-organisation de H. Atlan, la croissance de l'information chez le sujet s'accompagne toujours de différenciation ou de complexification - jamais d'homogénéisation.

Sur ce point précis, il nous serait difficile d'être plus explicite que H. Atlan lui-même dans le passage suivant :

"Lorsqu'il s'agit d'apprentissage non dirigé, deux propriétés, conséquences du principe de complexité par le bruit, peuvent être reconnues. La première est que le processus d'apprentissage peut être compris comme une création de patterns par diminution de redondance, où des spécifications de patterns bien particuliers en excluent d'autres. Ainsi, à la question : qu'est-ce qui augmente et qu'est-ce qui diminue dans l'apprentissage?, on peut répondre, d'après ce principe, que ce qui augmente, c'est la différenciation, la spécificité des patterns appris, et ceci implique donc une augmentation de la variété, de l'hétérogénéité; au contraire, ce qui diminue, c'est la redondance de l'ensemble du système, c'est le caractère non différencié. (...) Un deuxième aspect du principe de complexité par le bruit dans les mécanismes d'apprentissage non dirigé consiste en ce que les patterns, une fois créés, sont comparés avec les nouveaux stimulis ou, plus exactement, sont projetés et appliqués sur eux. Dans la mesure où patterns et nouveaux stimulis peuvent coïncider, on dit qu'on 'reconnaît' de nouveaux patterns dans l'environnement. *Mais dans la mesure où ils sont vraiment nouveaux, cette coïncidence ne peut être qu'approximative.* Il y a là une ambiguïté dans cette application, dans cette projection de ces patterns sur les nouveaux stimulis, et cette ambiguïté elle-même a alors un rôle positif dans la mesure où elle entraîne une action en retour sur les patterns eux-mêmes, c'est-à-dire une modification des patterns initiaux. Ceux-ci, modifiés, vont ensuite être projetés à nouveau sur les nouveaux stimulis, et ainsi de suite. On peut ainsi se représenter ces mécanismes d'apprentissage non dirigé par une espèce de va-et-vient entre des patterns qui sont créés, puis projetés sur des stimuli aléatoires, et ceux-ci, qui, dans la mesure où ils ne peuvent pas coïncider exactement avec les premiers, modifient alors la classe de patterns qui va servir de référence, et ainsi de suite. Autrement dit, tout se passe comme si notre appareil cognitif était une espèce d'appareil créateur, une fois de plus, d'ordre de plus en plus différencié, soit de complexité à partir du bruit." (1979, pp. 145-146, italiques de l'auteur.)

Si nous avons tenu à citer quasi-intégralement ce passage de H. Atlan, malgré sa relative longueur, c'est pour deux raisons liées : d'abord, parce qu'il porte explicitement sur le genre d'apprentissage effectué par notre système cognitif, envisagé comme un exemple de système non construit et présentant, par suite, les propriétés auto-organisatrices dont est plus généralement crédité ce type de systèmes par H. Atlan - en somme, ce dernier s'exprime ici très précisément sur le même sujet que celui traité par I. Rosenfield; ensuite, et surtout, parce qu'il est particulièrement frappant de voir que, sur ce sujet identique, les propos de H. Atlan rejoignent *exactement* ceux tenus par I. Rosenfield : mises à part d'inévitables différences d'ordre purement lexical (le terme de "pattern", utilisé par Atlan renvoyant à celui de "catégorie" employé par Rosenfield, etc.), il n'y aurait pas un seul mot à changer dans cette citation pour qu'elle paraisse provenir du texte de I. Rosenfield.

Pour achever de se convaincre de cette parfaite identité de vues entre nos deux auteurs, il suffit de considérer l'analyse de la reconnaissance et de l'acquisition de la parole chez l'enfant - un cas significatif de système auto-organisateur "fiable" au sens de H. Atlan - par I. Rosenfield (1989, pp. 95 sq.). En s'appuyant sur un grand nombre de données expérimentales, ce dernier montre en effet que l'apprentissage à l'oeuvre chez l'enfant, lors de la reconnaissance et de l'acquisition de la parole, procède par généralisation à partir de différents indices visuels et parlés. En quelque sorte, l'enfant interprète ces indices en les catégorisant - en construisant des "patterns", dirait Atlan : il traduit sa perception des sonorités associées à certaines mimiques labiales, en une combinaison qu'il s'efforce de reproduire lors de ses essais d'articulation.

Pour le dire comme Rosenfield, l'enfant repère d'abord les "contours" de la parole porteuse de sens, et notamment ses contours prosodiques, bien qu'il puisse ne pas comprendre les mots isolés ni les phrases :

"Certains jeunes enfants commencent, par exemple, par imiter les variations d'intonation et d'intensité de la parole de l'adulte. Il leur arrive d'en reproduire si bien les diverses inflexions que les adultes croient les entendre prononcer des phrases authentiques, alors qu'en fait les suites de syllabes ne forment pas de véritables mots." (1989, p. 96-97).

Mélodie ascendante de l'interrogation et de la surprise, mélodie descendante de la déclaration, etc. : tels sont les contours prosodiques du son que l'enfant cherche d'abord à reproduire avec son babillage, dans lequel les adultes ne reconnaissent qu'un "charabia", charriant parfois, tel le fleuve une pépite, un éclat de leur propre voix. Après ces mimiques intonatives, vient l'acquisition des syllabes et des segments phonétiques (consonnes et voyelles) composant les syllabes. Segments et syllabes apparaissent progressivement, au fur et à mesure que l'enfant apprend à maîtriser, en les synchronisant correctement, les composantes des mouvements articulatoires nécessaires à la production correcte des sons. Le point important est ici que ce type d'apprentissage évoque fortement celui décrit plus haut par Atlan, et qui se compose en définitive de deux démarches complémentaires : une opération de *généralisation*, que l'on peut voir toujours à l'oeuvre dans la *synchronie* de l'apprentissage, et un processus de *différenciation*, qui scande la *diachronie* de ce même processus. Ainsi, les stades successifs de ce dernier portent sur des objets obtenus par une partition de plus en plus fine de l'ensemble des catégories correspondant à chaque stade - un ensemble lui-même qualitativement modifié par le caractère toujours approximatif de la projection des catégories anciennes sur les nouveaux stimulis. En effet, écoutons une dernière fois I. Rosenfield résumer la logique de l'apprentissage de la parole par l'enfant : celui-ci

"commence donc par reconnaître des contours d'ensemble, mais lui fait défaut la synchronisation nécessaire à la séquence de mouvements, bien qu'il l'ait détectée. (...) Il ne saisit d'emblée ni le détail de cette organisation, ni l'ensemble de ses variations d'une émission à l'autre. Mais il est frappant de constater que les enfants établissent des catégories de mouvements, dont ils perçoivent l'importance dans la parole adulte, et qu'ils s'efforcent de reproduire les mots en ayant recours à ces catégories. Par la suite, un schéma articulatoire, une série de mouvements, permet de définir une catégorie pour un phonème spécifique ou une unité de son. Ainsi, la signification d'un jeu de mouvements évolue selon une séquence allant du général au spécifique (les enfants commencent par acquérir une capacité générale à imiter les intonations), tout comme cela se produit pour l'acquisition du sens. (En effet), les enfants acquièrent d'abord la partie sémantique commune (à) deux mots, et seulement plus tard la partie sémantique qui différencie les deux mots." (op. cit., pp. 98-99).

Les conceptions de l'apprentissage de H. Atlan et de I. Rosenfield se rejoignent donc sur trois points liés : 1) il s'agit d'un apprentissage non dirigé, au sens où il ne répond à aucun programme préétabli, ni dans le système considéré, ni dans l'environnement de ce système; 2) la cause efficiente de cet apprentissage réside en la rencontre aléatoire du système et de certains facteurs en provenance de son environnement; 3) le produit de ce processus d'apprentissage consiste en une succession de catégories toujours plus fines et différenciées, dont la définition même, voire le mode de construction, sont susceptibles d'être remis en cause à chaque étape de ce processus.

2. Un modèle d'apprentissage non dirigé, avec création d'information

Le modèle présenté ci-dessous vise à s'inscrire dans la problématique esquissée par les trois points qui réunissent H. Atlan et I. Rosenfield, et représentent autant d'exigences minimales pour une théorie de l'apprentissage intégrant simultanément l'incertitude dans laquelle les agents prennent leurs décisions, et l'irréversibilité des conséquences de celles-ci. Il est clair en effet qu'incertitude et irréversibilité n'ont de portée économique qu'ensemble : en l'absence d'incertitude, l'irréversibilité de ses décisions ne porterait nullement à conséquence pour l'agent, qui se situerait d'emblée sur une trajectoire optimale dont toutes les conditions de réalisation lui seraient connues à la date initiale; réciproquement, sans l'irréversibilité pesant sur les conséquences de ses décisions, cet agent serait parfaitement indifférent à l'incertitude dans laquelle il prend celles-ci : par hypothèse, il pourrait en permanence, et sans coût, reformuler ses plans à la lumière d'informations supplémentaires sur les états du monde, le système des prix ou son propre système de préférences. Or il se trouve que, loin de prendre en une seule fois la suite de décisions optimales dont il n'aurait plus qu'à enregistrer les résultats parfaitement conformes à ses prévisions, ou de transformer gratuitement le passé en présent, l'agent économique prend séquentiellement des décisions dont les conséquences successives ponctuent une suite irréversible de périodes, toutes marquées de l'incertitude affectant alors son environnement pertinent.

Nécessairement liées, l'irréversibilité de nos décisions et l'incertitude dans laquelle nous les prenons traduisent respectivement deux aspects complémentaires de l'écoulement du temps, et chacune contribue ainsi à installer en nous le sentiment de la durée : à chaque instant, la première nous rappelle le poids du passé par l'impossibilité, dans laquelle nous sommes, de modifier les conséquences non désirées de décisions que nous voudrions avoir été autres, tandis que la seconde nous assure à l'avance qu'il en ira vraisemblablement de même à l'avenir. Ici comme là, ce qui éveille nos éventuels regrets, et suscite à l'occasion notre inquiétude, provient d'un seul et même phénomène : notre capacité à engendrer des sens nouveaux en créant de l'information. Appuyant sa cohérence externe sur la théorie rosenfieldienne de la mémoire, le modèle proposé ci-dessous (1), comme le paradigme de l'auto-organisation de H. Atlan, vise à expliquer l'émergence du nouveau. Nous effectuerons cependant ici une double modification de champ par rapport aux contributions respectives de ces deux auteurs : notre perspective sera macroscopique autant que microscopique, de sorte que nous envisagerons un domaine plus étendu que celui de I. Rosenfield, qui se cantonne au plan individuel; par ailleurs, nous analyserons l'émergence de sens nouveaux parmi une population dont l'élément générique est *l'homo cogitans*, et restreindrons ainsi le champ par rapport à celui de H. Atlan, qui considère les systèmes non construits en général.

---

(1) Ce modèle représente la version actuelle d'une théorie de la communication sociale que nous développons depuis longtemps (Cf. B. Ancori, 1979, 1983, 1987a, 1987b), amorcée sans que connaissions encore les très importants travaux de H. Atlan, et sensiblement revivifiée aujourd'hui par notre récente lecture de I. Rosenfield. S'il atteint son objectif, ce modèle constituera donc en lui-même une illustration du processus qu'il prétend décrire.

Notre objet d'analyse consiste donc ici en un système Z, composé d'éléments qui sont les agents économiques en tant qu'êtres doués de mémoires fonctionnant sur le mode rosenfieldien décrit ci-dessus, et doté d'une structure consistant en l'ensemble des relations établies entre ces agents. Nous définirons d'abord formellement un état de ce système (2.1). Les limites inhérentes à cette première formalisation nous inciteront à déplacer ensuite notre niveau d'analyse (2.2), afin de mieux faire apparaître l'évolution de ce système (2.3).

2.1. Un état de Z est formalisé par la donnée d'une matrice (m,n), dont les vecteurs-lignes représentent les agents Ai, indicés i = 1,...m, et les vecteurs-colonnes, les catégories Cj, indicées j = 1,...,n, construites par ces agents. Soit M l'ensemble des agents, et S l'ensemble des catégories. En accord avec la théorie de I. Rosenfield, chaque agent construit de telles catégories par abstraction à partir des stimuli perçus par lui. A chaque date considérée, il en "détient" donc un certain nombre, et il est vraisemblable que ce nombre est fini. Soit Si(t), l'ensemble des catégories ainsi construites par l'agent Ai à la date t. S(t) représente alors l'union de tous les ensembles de ce type à la même date. Quel que soit t, il est clair que chaque élément Cj de S est, ou n'est pas, élément d'un ensemble Si donné. Il s'ensuit que tout coefficient aij de la matrice (n,m), désormais notée [aij](t), peut prendre, respectivement, les valeurs 1 ou 0. Ainsi, Si(t) n'est rien d'autre que l'ensemble des catégories Cj telles que aij(t) = 1. Soit I(t) le cardinal de Si(t). Chaque état du système Z apparaît donc pour l'instant définissable par trois caractéristiques : 1) le cardinal m de l'ensemble M d'agents Ai; 2) le cardinal n de l'ensemble S de catégories Cj; 3) la répartition des coefficients aij = 1 dans la matrice [aij].

En somme, le système Z apparaît composé d'éléments qui sont autant de sous-systèmes cognitifs, de sorte que Z représente la mémoire globale de l'économie. A chaque date considérée, le volume de cette mémoire est défini par les caractéristiques 1) et 2), et sa structure, par la caractéristique 3). La première caractéristique étant donnée, les deux autres interviennent de manière solidaire dans la mesure de la quantité totale d'information contenue dans Z. Par exemple, à supposer que la troisième nous demeure inconnue à la date t, la quantité d'information contenue dans Z, notée H(t), doit être considérée comme étant maximale. En effet, une telle méconnaissance signifie que nous ne savons rien d'éventuelles contraintes que certains éléments feraient peser sur d'autres, et implique ainsi que nous ignorions tout des probabilités conditionnelles des m éléments de Z. Elle nous impose donc de considérer ces éléments comme étant dénués de structure interne : ils n'interviennent pas au titre de véritables sous-systèmes dans l'analyse de Z, mais seulement comme autant de points sans dimension, parfaitement indépendants. Dans ces conditions, la caractéristique 2) n'est pas à prendre en compte dans la mesure de la quantité totale d'information contenue dans Z, et la complexité du système est alors mesurée par sa variété, au sens de Ashby : $H(t) = \log_2 m$, de sorte que la redondance de Z à la date t, notée R(t), est nulle. Tant que nous n'avons aucune information relative à la répartition des aij = 1 dans [aij](t), le système ne peut donc présenter à nos yeux aucune propriété auto-organisatrice. A vrai dire, Z n'est même pas un système organisé - notion qui suppose l'existence de *relations* entre éléments.

Il est clair que nous devons analyser l'établissement de telles relations entre les éléments de Z sur le mode d'un processus de communication entre les agents, et qu'il convient d'interpréter la signification de ce processus comme étant l'ensemble des effets produits par lui. D'après les développements contenus dans notre deuxième étape, ces effets concernent aussi bien la transmission de l'information dans une voie élémentaire entre deux ou plusieurs agents, que celle qui nous est transmise par le système considéré comme un tout. Construisons progressivement une telle analyse, en commençant par nous interroger sur les conditions de possibilité de l'établissement d'une communication entre deux agents quelconques à une date donnée. Nous allons voir qu'une telle démarche débouche immédiatement sur une meilleure spécification de Z, qui en acquiert d'emblée le statut de système organisé. En effet, nous conviendrons sans difficulté que deux agents quelconques ne peuvent établir de communication qu'à la condition expresse de disposer d'un langage commun. Formellement, une communication n'est possible entre les agents Ai et Ak à la date t que dans la mesure où Si(t) et Sk(t) contiennent au moins un élément commun. Or une telle situation n'a rien de nécessaire. I. Rosenfield ne cesse d'insister sur la singularité individuelle du cerveau de chacun : transposée au niveau des fonctions cérébrales supérieures régissant la conscience et le langage, et radicalisée à l'extrême à un tel niveau, cette singularité pourrait déboucher sur un système Z tel que : $\forall t, \forall i, \forall k, i \neq k \Rightarrow Si(t) \cap Sk(t) = \emptyset$.

Un cas très particulier de cette absence totale de spécification de Z serait celui où [aij](t) serait une matrice unité. Puisqu'une telle matrice est symétrique, chaque Si(t) ne contiendrait qu'un seul élément, de sorte qu'il n'existerait aucun langage commun entre agents. Une telle éventualité est bien sûr absurde, mais son évocation permet d'introduire un concept de monnaie dans le cadre de notre modèle, qui doit admettre un tel concept puisqu'il vise à analyser certains aspects informationnels de l'échange au sein d'une économie décentralisée, où les échanges s'effectuent par intermédiation monétaire. La monnaie serait ici conçue comme ce qui rend totalement impossible la survenue de la situation évoquée à l'instant. Formellement, elle serait une catégorie Co, élément de l'ensemble S, telle que $\forall i, \forall t$, aio(t) = 1. Une telle catégorie associe un graphe Km-complet à toute matrice [aij](t) : quelle que soit la date considérée, l'ensemble des sommets de ce graphe étant l'ensemble M des agents, et l'ensemble de ses arcs étant celui des communications possibles entre ces agents, il existe au moins un chemin entre deux sous-ensembles quelconques de sommets (le graphe est connexe), et ce chemin est direct entre deux sommets quelconques du graphe (qui est donc complet). Quant à la signification d'une telle monnaie, elle serait ici double. Au niveau des voies élémentaires de transmission à l'intérieur de Z, elle accorderait les deux dimensions antinomiques de l'agent, dont l'être social s'oppose à la singularité : aussi singulier soit-il, tout agent donné pourrait toujours établir au moins une communication avec tout autre agent par l'intermédiaire de la monnaie. Du point de vue de la voie établie entre l'observateur et Z, l'introduction de la monnaie diminuerait le degré de complexité de ce dernier en lui conférant un statut de véritable système *organisé*. Ainsi, le seul fait de considérer l'un des éléments Cj de S comme étant commun à tous les Si associe une redondance non nulle à l'état correspondant du système.

Naturellement, le modèle n'exige pas qu'il existe une telle monnaie pour se prêter à la représentation d'états non solipsistes de Z (1). Cette existence est une condition suffisante, mais nullement nécessaire, pour que la communication soit possible entre agents : au contraire, nous avons supposé précédemment qu'une telle possibilité existait dès lors que deux agents "détenaient" simultanément une catégorie Cj donnée. Simplement, cette catégorie *n'étant pas* Co, la communication ne peut être tenue pour possible entre deux éléments *quelconques* du système Z (2). Sans modifier autrement notre représentation de Z pour l'instant, supposons alors qu'à la date t = to une telle communication s'établisse entre les deux agents Ai et Ak, et uniquement entre ces deux agents. Selon ce qui précède, cette seule supposition implique que nous disposions désormais d'une information, même partielle, sur la distribution des aij dans [aij](to). Cette information supplémentaire est réduite à sa plus simple expression, puisqu'elle consiste simplement à poser $Si(to) \cap Sk(to) \neq \emptyset$. Mais elle suffit à réduire la complexité de Z, et à nous assurer que le système va changer d'état, et passer de la date t = to à la date $t = t_1$: n'imposer aucune autre contrainte aux agents Ai et Ak revient à supposer que la catégorie rendant possible la communication entre ces agents est la seule qui leur soit alors commune. De sorte qu'au moment où s'établit la communication entre eux, chacun de ces agents représente pour l'autre un environnement qui est source de bruit perturbateur - donc d'information.

S'il connaît un début d'organisation, le système Z ainsi décrit n'est cependant pas un système auto-organisateur pour autant. Bien au contraire, c'est sa *redondance* qui augmente du fait de la communication établie entre Ai et Ak, et non sa complexité : aucune information n'est ici *créée* dans le système, qui voit seulement *s'échanger* de l'information entre deux de ses sous-systèmes. Ce faisant, le volume de la mémoire globale de l'économie ne varie nullement : seule sa structure se modifie dans le sens d'une homogénéité accrue. En réalité, s'en tenir à une telle représentation implique de ne pouvoir penser qu'une *transmission* d'information à l'intérieur du système. Si elle modifie la répartition de la quantité totale d'information contenue dans Z - en accroissant simultanément les cardinaux I et K des ensembles Si et Sk, chacun des agents ayant transmis à l'autre au moins une catégorie que celui-ci ne détenait pas auparavant - une telle transmission laisse inchangé le cardinal n de l'ensemble S.

---

(1) L'état décrit par la matrice unité de la page précédente correspond en effet à un solipsisme généralisé parmi les agents ; chacun de ces derniers n'y détient qu'une seule catégorie, différente de celle que détient tout autre agent. Dans ces conditions, chacun peut se penser comme étant la seule réalité qui soit, ce qui est bien la définition minimale du solipsisme.

(2) A condition de lui adjoindre une sémantique adéquate, cette formalisation permet ainsi de décrire des *échanges de type don/contre-don*, dont l'on sait qu'ils s'effectuent entre agents non quelconques, échangeant des biens non quelconques. Par contraste avec ce type d'échanges, *l'échange monétaire* est anonyme et la monnaie y est équivalent général ; par son intermédiaire, n'importe qui peut échanger n'importe quoi avec n'importe qui - ce que recouvre bien la formalisation donnée ici à la monnaie. De même, l'échange réalisé sur le mode de la *redistribution* est facilement concevable dans le cadre de notre modèle ; il suffit de représenter le centre redistributeur par un agent Ai détenant toutes les catégories construites par l'ensemble des agents, c'est-à-dire tel que I(t) = n(t). Le modèle se prête donc à la représentation de *toutes* les formes d'intégration recensées par K. Polanyi (1975).

Chaque période élémentaire correspondant à une telle transmission d'information entre les agents Ai et Ak, il est facile d'admettre qu'au bout d'un nombre fini de périodes, menant le système de la date t = to à la date t = τ, et noté $\tau(i,k)$, Ai et Ak sont devenus absolument identiques, au sens où $Si(\tau) = Sk(\tau)$. En supposant qu'un tel mode de communication s'établisse entre tous les agents, éléments d'un système Z dont l'état initial serait associé à un graphe Km connexe (sans que ce graphe soit nécessairement complet), il en va de même pour l'ensemble de ces agents : à la date t = T, nous avons ainsi $Si(T) = Sk(T)$, $\forall i$, $\forall k$ (1). Un tel état répond exactement à l'inverse de la situation décrite plus haut, où la quantité d'information contenue dans le système Z non spécifié était maximale (et sa redondance nulle) : au lieu d'avoir $H(t) = \log_2 m$ et $R(t) = 0$, nous avons ici $H(T) = 0$ et $R(T) = 1$. Ces deux cas illustrent respectivement les deux situations extrêmes exclues par H. Atlan du paradigme de l'auto-organisation : celle où aucun élément du "système" considéré ne fait peser de contrainte sur un autre élément, et celle où le "système" se compose de sous-systèmes exactement répliqués. Pour que le système que nous visons ici à construire soit doté de propriétés auto-organisatrices, nous devons donc le spécifier de telle sorte qu'il ne corresponde à aucun des cas (ré)évoqués à l'instant, mais contienne au contraire simultanément une quantité totale d'information et un degré de redondance non nuls (2).

2.2. Pour ce faire, il convient de déplacer le niveau de notre analyse en situant l'information dans le monde de la *forme*, ainsi que nous y invite G. Bateson (1977, 1980, 1984), et non dans celui de la *substance*. Loin d'opérer sur le mode *additif* selon lequel s'effectuait la *transmission* d'information décrite à l'instant, les lois sont de nature plutôt *combinatoire* dans le monde de la forme. C'est précisément ce caractère combinatoire qui va nous permettre, dans le cadre d'une description légèrement modifiée d'un état de Z, et en parfait accord avec les conceptions de I. Rosenfield comme avec celles de H. Atlan, de préciser la *signification* de l'information, et d'expliquer la *création* de cette dernière au niveau du système considéré dans son ensemble. En effet, nous allons voir que l'accroissement du volume global de la mémoire de l'économie est indissociable de l'attribution de significations différentes à une information donnée par des agents différents.

---

(1) Sauf si chacun des agents transmet en une seule communication tout son savoir à l'autre, auquel cas $\tau(i,k) = 1$, il est clair que $\tau(i,k)$ dépend des cardinaux de Si(to) et Sk(to) et des quantités respectives de catégories échangées par Ai et Ak à chaque transmission ; ce nombre croît avec I(to) et K(to), et décroît avec les quantités moyennes d'information Qi et Qk, respectivement délivrées par Ai et Ak lors de leurs communications successives. Dans ces conditions, $T = \max_{i,k} \{\tau(i,k)\}$

(2) Remarquons en outre qu'une telle exigence s'accorde avec le souci de réalisme qui nous incite à introduire une monnaie dans notre représentation formelle de Z. Aucune des situations extrêmes exclues à l'instant ne comportait une telle formalisation ; la première, parce que nous ne l'avions tout simplement pas encore introduite dans la description du système; la seconde, parce qu'elle décrivait un état tel que la monnaie y était doublement superflue. D'abord, parce que l'information était alors parfaite au niveau des voies élémentaires de Z, dont l'état était représenté par une matrice dont tous les coefficients étaient égaux à 1. En un sens, cette formalisation rappelait la description d'une économie de troc au sens de R.W. Clower (1967). Mais la monnaie était ici d'autant plus superflue que les agents n'avaient plus rien à échanger...

En effet, considérons les catégories Cj, définies précédemment comme étant les éléments de S(t), c'est-à-dire les éléments de l'union de tous les Si(t). Ainsi considérée, chaque catégorie Cj est implicitement posée comme parfaitement indépendante de toutes les autres dans S(t). De même au niveau individuel : dans chaque ensemble Si(t), les catégories Cj constituant ses éléments (les Cj telles que aij(t) = 1) sont purement et simplement *juxtaposées*. Un tel traitement analytique implique que, lors de la transmission d'information entre Ai et Ak, les catégories échangées présentent la même signification pour l'agent émetteur que pour l'agent récepteur. En d'autres termes, à nous en tenir à la formalisation précédente, la signification de l'information véhiculée par une catégorie donnée (ou par un ensemble de telles catégories) apparaît totalement *indépendante* de l'ensemble dont cette catégorie (ou cet ensemble de catégories) est, ou devient, élément. En un sens, cela revient à dire que l'information est une substance dénuée de signification, ce qui est une manière de nier les spécificités individuelles respectives des différents agents. Car il est bien évident que le savoir instantané de chaque agent concret entrant en communication avec un autre agent - cette mémoire que tous deux mobilisent alors sur un mode rosenfieldien - n'est pas formé d'une juxtaposition de catégories dont chacune aurait pour lui la même signification que pour tout autre agent, mais se présente au contraire comme une *totalité* : l'information est une forme organisée selon des processus opératoires spécifiques à l'agent considéré, ainsi doté d'une unité organique portant la marque propre de cet agent.

Sans que la signification de l'information ne se dilue pour autant dans un relativisme intégral qui nierait la possibilité même d'établissement d'une communication entre les agents, notre représentation d'un état de Z doit tenir compte de ce qui précède, en montrant explicitement qu'une catégorie donnée Cj n'a jamais exactement la même signification selon qu'elle participe du savoir de l'un ou l'autre agent. Il existe sans doute divers moyens de satisfaire à une telle exigence, mais l'un des plus simples est probablement le suivant. Considérons les agents Ai et Ak, et les ensembles Si et Sk correspondants. Au lieu de nous en tenir comme précédemment à Si pour représenter le savoir de l'agent Ai, considérons à cette fin *l'ensemble des parties* de Si, noté P(Si). Il est immédiat que P(Si) traduit parfaitement l'unité organique du savoir de Ai, dont nous parlions à l'instant : dans P(Si), chaque sous-ensemble de Si apparaît *combiné* à tous les autres sous-ensemble de Si, ce qui rend bien compte de l'aspect *systématisé* du savoir de l'agent Ai; mais cette représentation se révèle en outre apte à exprimer le caractère *spécifique*, variable avec chaque agent, d'une telle systématisation. En effet, chaque catégorie Cj, élément d'un ensemble Si, apparaît sous deux aspects différents dans P(Si) : en tant que singleton, mais aussi en tant qu'élément des autres sous-ensembles de P(Si) dans lesquels elle est combinée aux autres éléments de Si. Il est clair que la première modalité d'apparition de cette catégorie Cj dans P(Si) traduit sa capacité à être transmise d'un agent à un autre, c'est-à-dire la *communicabilité* de la signification de l'information véhiculée par elle, alors que sa seconde modalité d'apparition dans P(Si) rend compte du caractère *relatif* de cette signification, en modulant cette dernière selon l'ensemble P(Si) spécifique dans lequel vient s'inscrire l'élément Cj considéré.

Afin de mieux faire apparaître cette remarquable ambivalence, considérons l'intersection des ensembles Si et Sk, notée Sc, et supposons, pour plus de simplicité, que cette intersection ne comporte qu'un élément. Notons Cc cet élément, et appelons C(Pcsi) et C(Pcsk) les ensembles complémentaires de P(Sc) par rapport, respectivement, à P(Si) et P(Sk). La catégorie Cc est donc à la fois élément de P(Si) et de P(Sk), et sa signification présente, dans chacun de ces deux ensembles, le double aspect évoqué à l'instant. En effet, cette signification apparaît bien, d'une part, comme étant *partagée* par les agents Ai et Ak, puisque l'élément Cc figure au titre du singleton {Cc} dans P(Sc). La signification associée à la catégorie Cc se présente ainsi comme étant *communicable* entre Ai et Ak. Mais d'autre part, la catégorie Cc apparaît également dans certains éléments de C(Pcsi), ainsi que dans certains éléments de C(Pcsk). Or, la définition de ces deux derniers ensembles implique que leur intersection soit vide. Il s'ensuit que la signification de la catégorie Cc - connue à la fois de Ai et de Ak - devient différente pour chacun de ces agents, en apparaissant respectivement dans C(Pcsi) et dans C(Pcsk) : ces derniers étant entièrement différents, une telle catégorie intervient ici à titre d'élément combiné à d'autres selon des sous-ensembles de parties spécifiques de chaque agent considéré. En ce sens, la signification associée à Cc apparaît *particulière* à chacun d'eux.

Un état du système Z reste donc associé à la donnée d'une matrice de type [aij], mais sa description doit désormais tenir pour significatif le niveau qui considère les agents Ai du point de vue des ensembles de parties P(Si) qu'ils sont en mesure de concevoir, plutôt que celui qui s'en tiendrait à considérer les ensembles Si eux-mêmes. Ce n'est qu'en plaçant l'analyse à un tel niveau que la notion de signification de l'information acquiert une pertinence pour les agents, éléments transmettant l'information par les vois élémentaires de communication établies au sein d'un tel système. Mais nous allons voir que c'est également à ce niveau qu'il est possible de concevoir la *création* d'information par le système, c'est-à-dire de donner une pertinence à la notion de signification de l'information transmise par le système à l'observateur que nous sommes. Avant de donner une mesure possible de la variation de la quantité d'information contenue dans le système, explicitons sur un plan purement qualitatif ce processus de création d'information.

Selon ce qui précède, considérons à la date t = to deux agents Ai et Ak, désormais respectivement caractérisés par P(Si)(to) et P(Sk)(to). Convenons de l'existence d'une possibilité de communication entre ces deux agents, en notant Sc(to) $\neq \emptyset$ - le cardinal de Sc(to) n'ayant pas à être spécifié davantage pour l'instant. Il est immédiat que, lors de la communication établie entre ces agents, la réception par l'agent Ai de tout élément appartenant à C(Pcsk)(to) donne lieu à une recombinaison qui transforme P(Si)(to) en P(Si)(t_1), et que le même type de phénomène se produit simultanément en ce qui concerne l'agent Ak, qui recombine tout élément de C(Pcsi)(to), reçu par lui de Ai lors de leur communication, de sorte que P(Sk)(to) devienne P(Sk)(t_1). Au niveau du système Z, ces deux opérations simultanées exercent un double effet, dont l'un augmente la redondance du système, alors que l'autre accroît sa complexité. Le signe de la variation nette de la quantité d'information contenue dans Z dépend ainsi de la force respective de ces deux effets.

Reprenons davantage en détail chacun de ces derniers, et tout d'abord ce que nous pouvons appeler *l'effet de redondance*. Dans notre modèle, l'existence d'une tel effet se marque par l'augmentation du cardinal de P(Sc) de la date to à la date t_1 : en l'absence de phénomène d'oubli et vu le caractère inaliénable de l'information, l'ensemble P(Sc)(t_1) contient nécessairement davantage d'éléments que P(Sc)(to). En somme, nous retrouvons ici ce que H. Atlan appelle *ambiguïté destructrice* dans un système auto-organisateur considéré du point de vue de l'observateur. Au niveau d'une voie élémentaire, ce type d'ambiguïté signifie qu'une certaine quantité d'information est bien transmise entre les sous-systèmes reliés par cette voie, équivalant à l'exercice d'une contrainte du sous-système émetteur sur le sous-système récepteur - ici, une contrainte réciproque entre Ai et Ak. Une telle contrainte implique un gain d'information pour chaque sous-système concerné, mais non pour l'observateur : l'information mesurant ce qui manque à ce dernier pour qu'il puisse reconstruire à l'identique le système observé, cette contrainte répond bien à un effet de redondance aux yeux de l'observateur que nous sommes.

Néanmoins, il faut bien voir que, dans notre modèle, cet effet de redondance n'est pas totalement associé à une simple transmission d'information entre les agents Ai et Ak : il résulte en partie d'une recombinaison de l'information par ces agents, opération également à l'origine d'une véritable création d'information représentant ce que nous pouvons appeler *l'effet de complexité*. Pour bien comprendre ce point, illustrons-le par l'exemple suivant. Imaginons que Z ne comporte que deux sous-systèmes : les agents Ai et Ak, qui établissent une communication alors que la matrice [aij](to) se présente ainsi :

	a	b	c	d	e
Ai	1	0	1	0	1
Ak	0	1	1	1	0

Supposons que l'agent Ai communique à l'agent Ak la catégorie e, et que ce dernier lui communique simultanément la catégorie b. Dans ces conditions, si nous nous en tenions au niveau d'analyse prenant en compte les seuls ensembles de type Si, cette communication se présenterait comme une simple transmission d'information entre les agents : l'agent Ai aurait transmis l'élément e de l'ensemble Si(to) à l'agent Ak qui lui aurait transmis l'élément b de l'ensemble Sk(to). La matrice [aij](t_1) aurait donc été la suivante :

	a	b	c	d	e
Ai	1	1	1	0	1
Ak	0	1	1	1	1

Il est évident qu'en étant ainsi analysée, la communication établie entre les agents Ai et Ak ne crée aucune information au niveau de Z, et qu'aucun effet de complexité ne peut donc apparaître.

Mais si nous considérons les catégories e et b comme étant, respectivement le *singleton* {e} élément de P(Si)(to), et le *singleton* {b} élément de P(Sk)(to), et non plus comme étant des éléments de Si(to) et Sk(to), nous pouvons mettre en évidence une création d'information au niveau de Z. Car c'est alors du processus de recombinaison de P(Si) et de P(Sk), effectué par les agents Ai et Ak entre les dates to et t_1, que résultent simultanément un effet de complexité et la majeure partie de l'effet de redondance évoqué ci-dessus.

Montrons-le d'abord en ce qui concerne l'effet de redondance. Nous avons dit que celui-ci se mesurait par l'augmentation du cardinal de P(Sc) de la date to à la date t_1. De fait, P(Sc)(to) ne contenait que deux éléments, alors que P(Sc)(t_1) en contient huit. Mais parmi ces huit éléments, seuls deux ont, à proprement parler, été transmis par la communication établie entre Ai et Ak à la date to : {b} et {e}. Il n'en va qu'apparemment de même pour certains autres. Ainsi, l'élément {b,c} *semble* avoir été transmis par Ak à Ai lors de leur communication : cet élément appartenait à P(Sk)(to) et non à P(Si)(to), alors qu'il est évidemment élément de P(Si)(t_1) puisqu'il est élément de P(Sc)(t_1). En réalité, il n'y a là nulle transmission : dans ce dernier ensemble, {b,c} a été obtenu par la *combinaison* de {c}, qui était déjà élément de P(Si)(to), et de {b} qui, lui, a été réellement transmis par Ak à Ai entre to et t_1. Il en va de même pour {c,e}, maintenant élément de P(Sk)(t_1) alors qu'il ne l'était pas de P(Sk)(to) et qu'il figurait dans P(Si)(to) : loin d'avoir été transmis par Ai à Ak, cet élément a été combiné par ce dernier à partir de l'élément {c} de P(Sk)(to), et de {e}, transmis à Ak par Ai lors de leur communication. Enfin, l'ensemble P(Sc)(t_1) contient deux éléments qui n'ont manifestement pu faire l'objet d'aucune transmission entre Ai et Ak, puisqu'ils n'appartenaient ni à P(Si)(to), ni à P(Sk)(to) : {b,e} et {b,c,e}. Ces derniers résultent d'un pur et simple processus combinatoire effectué par les agents. En d'autres termes, ces deux derniers éléments apparaissent comme résultant d'une *création nette* d'information au niveau du sytème Z lui-même. Bien qu'ils aient pour particularité de porter *à la fois* en eux une augmentation de redondance et une augmentation de complexité au niveau de Z, ces deux éléments ne sont pas les seuls à témoigner d'une création d'information dans Z : en t_1, la complexité du système s'est également accrue du fait de l'apparition, au niveau de chaque ensemble de type P(Si), d'un certain nombre de parties totalement inédites et spécifiques du savoir de l'agent considéré.

2.3. Pour mettre clairement ce phénomène en évidence, il convient de redéfinir sur la base de ce qui précède, un état quelconque du système Z. Un tel état apparaît désormais défini par la donnée d'une matrice (m, z), dont les vecteurs-lignes représentent comme précédemment les agents Ai, indicés i = 1,...,m, mais dont les vecteurs-colonnes représentent à présent les éléments de l'union de tous les ensembles de parties des ensembles de catégories formées par tous les agents, sur un mode rosenfieldien, à la date considérée. Soit Γ cet ensemble, dont les éléments sont indicés x = 1,..z. Calculons alors la dimension de l'ensemble $\Gamma(t) = \bigcup_i P(Si)(t)$. Il est clair que z(t), cardinal de Γ(t), est égal à la somme de tous les cardinaux des P(Si)(t), diminuée du nombre d'éléments de ces P(Si)(t) qui sont communs à deux ou plusieurs d'entre eux.

Notons $\theta i(t)$ le cardinal de l'ensemble des parties $P(Si)(t)$, et soit $\Omega(t)$ la somme de ces cardinaux : $\Omega(t) = \sum_{1}^{m} \theta i(t)$. Soit $\Pi(t)$ l'ensemble de toutes les parties $P(Si)(t)$, Vi, communes à au moins deux agents Ai et Ak à la date t. Le cardinal de $\Pi(t)$, noté $r(t)$, représente un indice de la redondance globale de Z à cette même date. Il vient donc :

$$z(t) = \Omega(t) - r(t)$$

Appliquons ce résultat au cas particulier étudié ci-dessus, où les valeurs significatives étaient les suivantes :

$\theta i(to) = \theta k(to) = 8$, et $r(to) = 2$. D'où $z(to) = 14$.

$\theta i(t_1) = \theta k(t_1) = 16$, et $r(t_1) = 8$. D'où $z(t_1) = 24$

En notant $\Delta z = z(t_1) - z(to)$, il apparaît donc qu'entre to et t_1 la dimension de l'ensemble Γ s'est accrue de $\Delta z = 10$ unités. Il s'agit bien ici de la différence *nette* existant entre les effets de complexité et de redondance évoqués plus haut. Redondance et différenciations des savoirs individuels croissant ainsi simultanément, la complexité nette de l'ensemble demeure nécessairement positive ou nulle à toutes les dates considérées.

Le fait qu'à toutes les dates considérées la complexité nette du système Z, ici réduit à deux éléments en interaction, demeure non négative, n'a rien d'étonnant : à l'évidence, ceci provient de la propriété mathématique selon laquelle l'union de deux ensembles différents contient toujours strictement leur intersection - union et intersection devenant égales en cas d'ensembles identiques. C'est la raison pour laquelle le résultat précédent est généralisable à un système composé d'un nombre quelconque de sous-systèmes. Dès lors que les messages échangés par deux ou plusieurs agents entre t et t+1 véhiculent un certain degré de nouveauté pour au moins l'un d'entre eux, la communication établie se traduit par un accroissement simultané de la redondance des savoirs de l'ensemble de ces agents, et du degré de différenciation du savoir de l'agent récepteur d'une information nouvelle. Cette différenciation croissante est signalée par l'augmentation de z entre t et t+1. Le nombre m de sous-systèmes de Z étant donné, z représente un indice acceptable de la complexité de ce dernier.

Notre modèle est donc celui d'un ensemble de sous-systèmes en interaction. Chaque état du système global est défini par la superposition de tous les états correspondants des sous-systèmes. A chaque recombinaison de la morphologie et du volume de l'information associés à l'état de l'un de ces derniers, le système dans son ensemble change d'état. C'est ce changement qui implique le passage de la date t à la date t+1, et non l'inverse : ce n'est pas le système qui se déplace dans un cadre temporel préalable, mais le cadre temporel qui est progressivement dessiné par l'évolution du système. Ce dernier constitue donc une horloge proprement économique. Bien qu'il rappelle à la fois celui de I. Rosenfield et celui de H. Atlan, un tel modèle semble présenter certaines différences avec chacun de ces derniers. Précisons la portée de telles différences, avant d'explorer la problématique du choix rationnel d'un agent immergé dans un système qui évolue en se complexifiant sur le mode analysé à l'instant.

3. Complexité du système et choix individuel

3.1. Sur la base de l'exemple étudié plus haut, nous avons quasiment rejoint la commune position de I. Rosenfield et H. Atlan quant au rôle créateur de l'ambiguïté dans un système d'information. De fait, s'agissant du cerveau mettant en oeuvre des processus opératoires visant à catégoriser les stimuli *a priori* ambigus, présents dans le contexte actuel du sujet individuel, ou créant des patterns en réponse à des stimulis aléatoires en provenance de son environnement, les étapes précédentes de notre article ont vu ces deux auteurs mettre l'accent sur un apprentissage non dirigé, effectué par un système d'information à l'occasion de son interaction avec son environnement, et consistant en un processus de différenciation interne synonyme de création de sens nouveaux. A quelques nuances près, il en va de même dans notre modèle : de t_0 à t_1, l'accroissement de la quantité totale d'information contenue dans le système tient au fait que deux sous-systèmes de Z se sont différenciés bien qu'ils se soient simultanément homogénéisés lors de la communication établie entre eux. C'est bien l'interaction entre agents au cours de leur communication, chacun représentant l'environnement de l'autre, qui est ici occasion de création de sens totalement inédits - au niveau de l'ensemble du système Z comme à celui de chacun des agents. Née d'une différence initiale entre ces derniers, une telle création reconduit celle-ci tout en accroissant la complexité du système global - la quantité d'information qui nous manque pour pouvoir spécifier ce dernier.

Les nuances mentionnées plus haut apparaissent ainsi immédiatement. Là où I. Rosenfield envisage la remémoration individuelle comme processus créateur occasionné par la perception de stimuli *non organisés* présents dans le contexte du sujet, dont la mémoire invente précisément en organisant ces stimuli par leur catégorisation, nous présentons un apprentissage individuel tenant à la réception par chaque agent de stimuli déjà *organisés* : les catégories (ou les combinaisons de catégories) communiquées par un autre agent lui tenant lieu de contexte. Le même type de nuance sépare apparemment notre modèle de celui de H. Atlan : loin de lier le processus auto-organisateur à un bruit créé dans le système par des facteurs *totalement aléatoires* en provenance de l'environnement de ce dernier, notre représentation suspend la possibilité même de ce processus à l'existence préalable de catégories communes aux agents concernés.

Qui plus est, au lieu d'envisager un système s'auto-organisant par la destruction continue d'une quantité *donnée* de redondance, corrélative d'un accroissement continu de complexité, notre modèle traite d'un système où redondance et complexité croissent *simultanément*. De sorte qu'au contraire du modèle d'auto-organisation présenté par H. Atlan, il ne semble guère possible d'envisager ici la dégénérescence, puis la mort, du système, en termes d'un épuisement progressif de sa redondance initiale, le conduisant à ne plus être fiable après une certaine date (tm), et de ne plus pouvoir assurer finalement aucune fonction vitale lorsque l'ambiguïté destructrice l'a définitivement emporté sur l'ambiguïté-autonomie. A l'inverse, le système Z semble capable de trouver indéfiniment en lui-même de nouvelles ressources, en créant continuellement en son sein la redondance nécessaire à la possibilité d'établissement de communications productrices d'une ambiguïté-autonomie toujours croissante.

En réalité, il est relativement facile de voir que l'ensemble de ces nuances tient uniquement à la double modification de champ que nous avons effectuée par rapport aux modèles respectifs de I. Rosenfield et H. Atlan, et non à l'existence d'une différence intrinsèque de logique entre ces modèles et celui qui est présenté ici. En étendant notre investigation au plan macroscopique autant que microscopique, nous avons envisagé un domaine plus étendu que celui de I. Rosenfield, puisque celui-ci s'intéresse principalement au cerveau, donc à la mémoire individuelle; mais simultanément, nous avons ainsi restreint, par rapport à cet auteur, la définition de ce qui doit être considéré comme étant le contexte du sujet individuel : alors que Rosenfield désigne par ce terme l'ensemble de l'environnement du sujet, y compris l'environnement naturel de celui-ci, nous restreignons le contexte de l'*homo cogitans* à son environnement social, perçu par lui sur un mode symbolique. A l'évidence, les stimuli provenant d'un tel contexte sont d'emblée organisés par le langage, et sont reçus selon ce type d'organisation par chaque agent engagé dans une communication avec un autre agent.

Il en va de même, pour ce qui ne nous sépare qu'apparemment sur ce point de H. Atlan. Il est clair que la nature *totalement aléatoire* des facteurs de bruit organisationnel, envisagés par ce dernier dans son modèle, est à rapporter entièrement au degré de généralité avec lequel il présente le "noyau dur" de celui-ci. Au niveau d'abstraction auquel se situe le discours de cet auteur dans cette partie précise de son développement, une telle conception est doublement justifiée : elle place d'emblée le modèle hors de tout finalisme connotant inéluctablement la notion de programme, et lui confère simultanément une plasticité permettant d'envisager une très large gamme d'applications possibles. Il n'en demeure pas moins que, lors de chaque application de ce type, la nature de ces facteurs de perturbation demande à être soigneusement précisée, et leur caractère purement aléatoire s'en trouve nécessairement quelque peu estompé. A l'occasion du long passage portant sur l'apprentissage non dirigé effectué par notre appareil cognitif, reproduit au début de la présente étape de notre construction, nous avons d'ailleurs vu H. Atlan lui-même apporter une telle précision en parlant de l'*approximative coïncidence* existant entre les stimuli nouveaux et les patterns anciens que le sujet projette sur eux afin de les reconnaître : s'il est vrai que ce caractère approximatif est alors source de création de nouveaux patterns de la part du sujet concerné, il est non moins vrai que ce même caractère implique simultanément la persistence d'une coïncidence partielle entre patterns anciens et stimuli nouveaux - faute de quoi, le sujet ne pourrait rien reconnaître du tout dans ces derniers. Nous n'avons rien voulu exprimer d'autre en exigeant ici des agents qu'ils détiennent au moins une catégorie commune (au sens rosenfieldien de ce terme) pour pouvoir établir une communication à un moment donné. L'exemple traité plus haut montre que c'est bien parce que P(Si)(to) et P(Sk)(to) contiennent tous deux le singleton {c} que les agents Ai et Ak peuvent "échanger" les catégories "e" et "b" lors de leur communication. Concevons par exemple celle-ci comme un échange de deux morphèmes, dont l'un contiendrait la combinaison de catégories "c et e" (émise par Ai), et l'autre la combinaison "c et b" (émise par Ak). Chaque stimulus nouvellement perçu par chacun de ces deux agents coïncide *approximativement* avec un pattern déjà connu de lui : ce qu'il y reconnaît lui permet de percevoir, et le reste lui permet d'apprendre.

La capacité auto-organisatrice manifestée par le système Z, comme celle qu'analyse H. Atlan s'agissant des systèmes non construits en général, s'articule donc bien autour de l'existence simultanée, en chaque état de ce système, d'un certain degré de redondance et d'un certain degré de variété entre sous-systèmes. De fait, à chaque date considérée, la redondance est ce qui donne à Z un caractère de *système organisé*, en installant un lien *potentiel* entre les agents qui en figurent les éléments, et la variété présentée par ces derniers confère au système son caractère *auto-organisateur* : la complexification de Z résulte de l'établissement *effectif* de ce lien lors d'une communication entre agents. En dernière analyse, le moteur d'une telle évolution consiste en le fait que *ce qui est émis au cours d'une communication a toujours une signification différente de ce qui est reçu* : la spécificité individuelle du savoir organisé de chacun, synonyme de différences dans les significations associées par des agents différents à une information donnée, constitue le fondement même de la croissance de complexité de l'ensemble du système. Tout en marquant avec force le profond accord de notre conception avec la position darwinienne rappelée par I. Rosenfield, selon laquelle la biologie ne connaît ni animal ni plante typiques, mais seulement des êtres singuliers, cette dernière proposition nous permet à présent de mieux comprendre l'apparente différence subsistant entre notre modèle et celui de H. Atlan.

Car celle-ci provient également d'une modification de champ, et non d'une différence intrinsèque de logique entre ces modèles respectifs. En effet, si H. Atlan perçoit les systèmes auto-organisateurs comme étant destinés à cesser de l'être, et à finir par disparaître sous les effet répétés du même type de facteurs ayant suscité auparavant leur augmentation de complexité, c'est parce que l'objet d'étude privilégié de ce biologiste consiste naturellement, et explicitement, en l'être vivant *individuel* - fût-il inséré dans un environnement. Ce dernier n'intervient que marginalement dans ce que nous avons appelé le "noyau dur" du modèle de H. Atlan - et nous avons vu qu'il y avait de bonnes raisons pour cela. Rien n'est dit, en particulier, de *l'évolution de l'environnement lui-même*. Tout se passe comme si une force aveugle perturbait de manière immuable un système organique qui, après avoir pu un temps organiser à son profit l'énergie véhiculée par ces perturbations, finirait par succomber sous leur impact. Créatrice puis destructrice de complexité, l'interaction se situe ici *entre* un système organisé et son environnement monolithique - bien qu'évidemment, ses effets soient sensibles au sein même du système. Il en va différemment dans notre modèle, qui analyse l'évolution de cet autre type de système non construit que représente un système économique, à travers les effets de processus symboliques mis en oeuvre par ses agents lors de leurs communications. Ici, l'interaction se situe *au sein même* du système - bien qu'évidemment, ses effets soient sensibles au niveau de l'ensemble de ce dernier, où elle paraît continuellement créatrice de complexité *et* de redondance. En termes proprement atlaniens, les niveaux d'organisation respectifs auxquels se situe l'observateur ne sont pas les mêmes dans l'un et l'autre modèle, et c'est pourquoi le même type de grille de lecture conduit à des observations différentes : contrairement à celui de H. Atlan, notre modèle montre explicitement la co-évolution des *deux* parties en interaction, et cette co-évolution consiste en l'accroissement net de complexité résultant d'un mouvement simultané d'homogénéisation et de différenciation.

3.2. Au niveau du système Z, comme à celui des sous-systèmes en interaction, cette évolution vient ainsi complexifier toujours davantage le cadre dans lequel se pose à chaque agent individuel *le problème du choix rationnel*. Puisque la rationalité d'un choix s'apprécie toujours par rapport à une stratégie dont la nature est elle-même contrainte par le cadre analytique dans lequel les unités de décision envisagées ont à se déterminer, la perspective évolutionniste qui est la nôtre pèse sur la manière même dont il convient d'envisager analytiquement un tel problème. Les unités de décision sont ici des agents individuels Ai, éléments figurés du système Z évoluant qualitativement sur le mode analysé ci-dessus. Dans un tel cadre, les aspects directement pertinents du problème du choix rationnel d'un agent donné nous semblent s'articuler autour de la notion de *participation optimale* de celui-ci à l'évolution d'ensemble du système. Précisons : la rationalité de l'agent se marque ici dans le caractère optimal de sa stratégie d'émission et/ou de réception d'information lors de communications qu'il peut souhaiter établir (ou ne pas établir) avec d'autres agents, à l'exclusion de toute autre considération. Ainsi, nous ne tiendrons aucun compte de coûts ou de ressources liés matériellement à de telles opérations - contraintes spatiales venant éventuellement peser sur la circulation de l'information, inégalités de ressources monétaires qui différencieraient les agents quant à leurs possibilités d'accès à l'information, etc. Bref, dans ce qui suit nous considérons des agents *a priori* identiques en tous points, sauf en ce qui concerne leurs dotations initiales en information, apparaissant dans le modèle sous la forme de leurs P(Si)(to) respectifs.

Ainsi circonscrit, le problème du choix rationnel peut être défini de la manière suivante : pour l'agent Ai, participer optimalement à l'évolution de l'ensemble de Z semble consister à minimiser, de période en période, la probabilité de diminution du rapport θi/z. A chaque date considérée, ce rapport revêt en effet une double signification pour cet agent : d'une part, il représente une mesure de sa part actuelle dans la complexité globale du système; d'autre part, il rend compte de l'ouverture de l'éventail des choix qui lui sont actuellement offerts concernant ses communications futures. En effet, l'établissement d'une communication entre deux agents Ai et Ak n'étant possible que s'il existe une intersection non vide entre leurs savoirs respectifs, chaque élément de P(Si) représente pour Ai une communication potentielle avec au moins un autre agent. Le rapport θi/z mesure ainsi de manière fidèle l'évolution instantanée de Ai par rapport à l'ensemble du système, en résumant à tout moment le passé de leurs évolutions relatives tout en indexant les possibilités d'évolutions à venir : il traduit bien l'idée de participation dynamique de l'agent individuel à l'évolution de l'ensemble du système. Cela dit, la notion de rationalité du choix individuel renvoie à celle de cohérence d'un tel choix avec une évolution *optimale* de cette participation, et il semble alors évident que le choix de l'agent concerne ici les quantités d'information respectivement émises et reçues par lui lors des communications qu'il est amené à établir avec d'autres agents. A chaque date considérée, la stratégie de participation optimale de Ai à l'évolution de Z paraît donc susceptible de se traduire en termes quantitatifs : il s'agirait pour lui de communiquer de telle sorte que, dans l'évolution globale de θi/z, la partie dépendant directement de ses propres communications successives évolue de manière à minimiser la probabilité de diminution d'un tel rapport.

Sur le plan analytique, un tel objectif paraît d'autant plus acceptable qu'il semble témoigner d'une sorte de réalisme de l'agent quant aux limites de ses capacités d'action sur l'évolution globale du système. Dans l'évolution globale de $\theta i/z$, la partie directement liée à la communication établie entre l'agent Ai et l'agent Ak se réduit en effet à l'évolution de $\theta i/[\theta i+\theta k-\theta c]$, où θc est le cardinal de l'intersection P(Sc) de P(si) et P(Sk). De sorte que l'objectif mentionné à l'instant suppose que l'agent Ai reconnaisse n'avoir de prise sur l'évolution globale du système que par ses possibilités d'agir sur celle de θi et de θk - et donc, aussi, sur celle de θc - lors de la communication. Dans cette perspective, en communiquant avec un agent Ak quelconque, il s'agirait pour Ai de maintenir au moins constant, voire de faire croître de période en période, le rapport $\theta i/[\theta i+\theta k-\theta c]$. Un tel objectif semble aussi bien pouvoir être atteint en jouant sur le numérateur que sur le dénominateur de ce rapport. Pour notre agent Ai, ces deux tactiques alternatives paraissent consister respectivement à maximiser l'accroissement de P(Si) pour toute variation donnée de P(Sk), ou à minimiser l'accroissement de P(Sk) pour toute variation donnée de P(Si), lors de sa communication avec Ak. Plus généralement, pour qui viserait à participer de manière optimale à l'évolution globale de Z, il conviendrait ainsi d'en dire le moins possible, lors de chaque communication, tout en essayant d'en apprendre le plus possible à cette occasion.

Il s'agirait donc ici de maximiser une sorte de profit informationnel relatif, afin de minimiser la probabilité de voir diminuer sa part d'un "marché" sur lequel s'échangent des biens informationnels. Néanmoins, une telle manière de poser le problème néglige la dimension évolutionniste de celui-ci, et cantonne l'agent à une optique strictement individualiste qui n'est pas nécessairement de mise ici. En fait, chaque agent sait qu'il n'est pas élément d'un système dénué de mémoire qui redistribuerait de manière totalement aléatoire les identités respectives des agents établissant une communication à chaque période, et que sa participation optimale à l'évolution de ce système exige qu'il ne borne pas son horizon temporel à une seule période. Dans ces conditions, l'objectif poursuivi par Ai peut parfaitement inciter celui-ci à émettre le plus d'information possible lors d'une période donnée, s'il pense que l'établissement de sa communication avec l'agent Ak se reproduira au moins encore une fois : plus l'agent Ak recevrait d'information de sa part lors de la première période, plus le savoir issu de la recombinaion de son savoir antérieur avec l'information nouvelle serait étendu, et plus l'agent Ai pourrait ultérieurement tirer d'enseignements de sa communication avec un agent Ak ainsi rendu auparavant plus riche en information par lui.

Pour tout agent considéré, il peut donc être de mauvaise stratégie d'être guidé par un strict individualisme lorsque l'enchaînement des périodes vient lier ses intérêts à ceux d'autres agents. Dans le dernier paragraphe de cet article, nous allons précisément montrer que la communication établie entre deux agents peut avoir pour effet de renforcer la probabilité de réitération d'un tel établissement, ce qui nous permettra de déterminer l'évolution la plus probable à court terme du système, et de repenser la (les) stratégie(s) optimale(s) de l'agent individuel à la lumière de ce type d'évolution.

Définissons tout d'abord l'état initial de Z, de manière que celui-ci soit suffisamment spécifié pour que sa redondance R(to) ne soit pas nulle, sans qu'une telle spécification ne vienne par trop limiter la portée des résultats de l'analyse de son évolution ultérieure : contentons-nous d'affirmer le caractère organisé de Z(to), et de donner une spécification minimale à la forme d'organisation que connaît celui-ci. Convenons ainsi que la quantité totale d'information contenue dans Z est initialement répartie parmi les agents de telle sorte que lui soit associé un graphe connexe. Chaque agent est alors en mesure d'établir une communication avec au moins un autre agent, avec lequel il partage initialement un certain savoir dont il peut mobiliser tout ou partie dans le langage utilisé par lui lors de leur communication. Davantage qu'une particularisation de l'état initial de Z, cette première proposition revient purement et simplement à affirmer le caractère *organisé* de celui-ci, ainsi défini comme système véritable. Spécifions ce système en formulant deux hypothèses relatives à la forme de son organisation : supposons que le graphe connexe associé à son état initial est tel que : 1) il n'existe pas de chemin direct entre plus de deux agents; 2) lorsqu'un tel chemin existe entre deux agents, ce chemin est unique.

Ces deux hypothèses sont moins restrictives qu'il n'y paraît. En fait, elles reviennent à donner au système l'organisation initiale la plus ténue qui soit en minimisant la redondance globale alors présentée par celui-ci. Puisque nous savons que cette redondance croît avec le nombre de communications établies, et que par définition aucune communication n'a encore été établie à la date initiale, ces hypothèses sont parfaitement justifiées à cette date. Déterminons plus précisément r(to) qui représente un indice de R(to). La seconde hypothèse mentionnée ci-dessus signifie que les ensembles de type P(Si)(to) de chaque couple d'agents quelconques contiennent au maximum un élément commun, alors que la première interdit à cet élément commun d'être le même pour tous les P(Si)(to). Le graphe étant néanmoins connexe, il en résulte que chaque P(Si)(to) contient au moins deux éléments. Supposons en outre que la probabilité non nulle, pour chaque agent, d'établir une communication avec au moins un autre agent en to est, à cette date, *égale pour tous les agents*. Nous reviendrons plus loin sur la mesure qu'il convient de donner à cette probabilité. Remarquons pour l'instant que l'état initial de Z est alors associable à un graphe fermé, dont les sommets sont des agents munis d'ensembles P(Si)(to) comportant exactement deux éléments : en to, chaque agent est potentiellement lié à deux autres agents selon une chaîne fermée. Dans ces conditions, r(to) = m.

Puisque $\Omega(to) = \sum_{i}^{m} \theta i(to)$ est alors égal à 2m, la complexité initiale minimale du système, indicée par z(to) = Ω(to) - r(to), est aussi égale à m. Redondance et complexité initiales de Z sont égales, et elles sont également partagées parmi les agents. Il suit que chacun d'eux contribue identiquement à définir l'état initial de Z : Vi, [θi/z](to) = 2/m. Il est vrai que les spécificités individuelles des agents semblent alors se réduire à des différences interindividuelles dont la somme est nulle au niveau global, puisque ce qui différencie chaque agent d'un autre est aussi ce qui le rapproche d'un troisième. Néanmoins, la spéficité de chacun se marque par le fait qu'aucun P(Si)(to) n'est identique à un autre.

Considérons alors deux agents *donnés* Ai et Ak. A chaque date donnée, il est vraisemblable que leur probabilité d'entrer actuellement en communication l'un avec l'autre est une fonction croissante de ce que nous pourrions appeler un *indice de la ressemblance* existant alors entre eux. Un tel indice varierait entre deux extrêmes, tous deux exclus du modèle : à l'un, ces agents se ressembleraient au point d'être parfaitement identiques, et à l'autre, ils seraient totalement dissemblables. Dans ces conditions, notons r(i,k) l'indice de ressemblance entre les agents Ai et Ak considérés. Le contenu sémantique ainsi indicé semble pouvoir être naturellement exprimé quantitativement par $r(i,k) = [\theta c-1]/[\theta i+\theta k-\theta c]$, qui évoque bien un degré de ressemblance entre Ai et Ak en rapportant leur savoir partagé (θc) à l'étendue totale de leurs savoirs ($[\theta i+\theta k-\theta c]$). Les ensembles P(Si) et P(Sk) n'étant pas vides, le dénominateur de ce rapport est toujours strictement positif, de sorte que r(i,k) est toujours défini. Plus précisément, il apparaît que $0 \leqslant r(i,k) < 1$: si dissemblables que soient les agents Ai et Ak, l'intersection P(Sc) des ensembles P(Si) et P(Sk) contient toujours au moins l'ensemble vide, de sorte que r(i,k) est toujours positif ou nul; si ressemblants soient-ils, ces mêmes agents ne sont jamais identiques, de sorte que r(i,k) est toujours strictement inférieur à l'unité.

Néanmoins, cette quantification apparemment naturelle de r(i,k) se révèle en fait mal adaptée à notre problème. Nous voulons définir ici une fonction croissante entre ressemblance et probabilité afin d'étudier les *variations* de probabilité d'une date à l'autre : les ressemblances entre agents variant en fonction des quantités d'information échangées lors de leurs communications, nous pourrons ainsi lier les stratégies de communication de ces derniers à leur probabilité d'établir ultérieurement une autre communication. D'un point de vue purement formel, une telle étude serait rendue particulièrement lourde par l'adoption d'un indice de ressemblance exprimé en termes de cardinaux d'ensembles de parties d'ensembles! Essayons de définir une expression quantitative plus simple de l'indice de ressemblance entre les agents Ai et Ak, en déterminant les conditions dans lesquelles il serait possible de raisonner directement sur les Si des agents, et non pas sur les P(Si) correspondants. En réalité, de telles conditions se réduisent à une hypothèse concernant la mesure de l'information contenue dans un message.

Pour bien comprendre ce point, revenons à l'exemple simple étudié précédemment, dans lequel l'agent Ai "échangeait" avec Ak le singleton $\{e\}$ de P(Si)(to) contre le singleton $\{b\}$ de P(Sk)(to). Discutant plus loin de l'analogie existant entre notre modèle et celui de H. Atlan, nous avons évoqué ce même échange sur un mode légèrement différent, en parlant alors de morphèmes contenant respectivement les éléments $\{c,e\}$ de P(Si)(to) et $\{c,b\}$ de P(Sk)(to). Ce faisant, nous avons considéré comme identiques deux messages, dont l'un comportait $\{e\}$ et l'autre $\{c,e\}$ (respectivement, $\{b\}$ et $\{c,b\}$), au sens où ils auraient contenu la même quantité d'information pour leur récepteur (respectivement Ak et Ai). Un tel traitement apparaît justifié dans la mesure où ce qui est nouveau pour Ak recevant $\{c,e\}$ est exclusivement véhiculé par $\{e\}$: pour lui qui connaît déjà $\{c\}$, la combinaison "c et e" ne contient en elle-même pas plus d'information que la catégorie élémentaire "e" . De même pour Ai, indifférent à recevoir "b et c" plutôt que "b", puisqu'il connaît déjà "c".

En d'autres termes, nous avons négligé la valeur informative d'un *effet de renforcement* de catégories existant dans un P(Si)(to) quelconque, éventuellement provoqué par la réception de l'une d'elles lors d'une communication établie entre les dates to et t_1. Il importe de bien marquer la signification et la portée d'une telle hypothèse. Celle-ci ne consiste pas à supposer qu'une combinaison de catégories rosenfieldiennes contient exactement la même quantité d'information que la somme arithmétique des quantités d'information contenues dans les catégories élémentaires la composant. Bien entendu, une telle supposition serait parfaitement contradictoire avec la spécificité de la signification associée par chaque agent à une catégorie donnée : on ne peut affirmer simultanément, d'une part, que la catégorie "c" n'a pas la même signification dans les catégories "c et e" et "c et b", et d'autre part, que la combinaison de catégories élémentaires ne diffère en rien de leur simple juxtaposition. Dans notre exemple, si Ak est indifférent à recevoir "c et e" ou "e", c'est *uniquement parce qu'il connaît déjà "c"* au moment de la réception du message, et non parce que la combinaison "c et e" ne contiendrait jamais d'autre information que la somme arithmétique de celles contenues dans les catégories élémentaires "c" et "e" - de même pour Ai, "b et c", et "b".

Cette hypothèse est très restrictive, mais il est nécessaire de la formuler pour donner ici une expression quantitative simple de r(i,k). Ce sont bien les catégories, ou les combinaisons de catégories, figurant dans leurs savoirs respectifs envisagés comme des totalités organiques qu'échangent les agents lors de leurs communications, c'est-à-dire des messages dont chacun revêt toujours des significations différentes pour l'émetteur et le récepteur de l'information, et non les catégories platement juxtaposées de la matrice [aij] - faute de quoi, aucune information nouvelle ne pourrait jamais apparaître au niveau de l'ensemble du système Z. Néanmoins, sous l'hypothèse de l'absence de tout effet significatif de renforcement, au sens donné plus haut à cette expression, les parties pertinentes des P(Si)(t) respectifs évolueront nécessairement, d'une période à l'autre, dans le même sens que les Si(t) correspondants. En effet, la mesure de la quantité totale d'information détenue par l'agent Ai à la date t est alors strictement liée par une fonction croissante à I (t) : $\theta i(t) = 2^{I}(t)$. Ainsi, même si Ai, recevant "b et c" lors de sa communication avec Ak, recompose son savoir de telle sorte qu'un élément de type $\{b,c,c\}$ figure dans P(Si)(t_1), notre modèle considère un tel élément comme parfaitement équivalent, du point de vue de sa valeur informative pour cet agent, à l'élément $\{b,c\}$.

Une telle hypothèse est cruciale pour l'évolution de la distribution de probabilités de communications entre les agents au sein de Z : grâce à elle, il ne sera pas nécessaire que le savoir d'un autre agent quelconque comporte l'élément $\{b,c,c\}$ pour que cet agent puisse entrer en communication avec Ai à la date t - il suffira pour cela que son savoir comporte à cette date l'élément $\{b,c\}$. D'un autre côté, le caractère éminemment restrictif de cette hypothèse est évident : elle signifie que le système Z évolue nécessairement vers un état final, dans lequel sa complexité est nulle alors que, corrélativement, sa redondance est maximale. A la date correspondante, chaque P(Si) contient toutes les combinaisons qu'il était possible de construire à partir des catégories existant initialement en nombre fini.

En l'absence d'effet de renforcement, ou si un tel effet n'est pas significatif, le système Z n'est donc capable que pendant un certain temps de simultanément se différencier et s'homogénéiser. Bien qu'elle demeure non négative, sa variation nette de complexité ne cesse de décroître au fur et à mesure de l'établissement des communications entre les agents, jusqu'au moment où cette variation devient nulle : dans cet état de mort entropique du système, les savoirs de tous les agents sont identiques. Si cette perspective quelque peu mélancolique nous ramène, en un sens, aux systèmes auto-organisateurs étudiés par H. Atlan, il reste qu'elle découle uniquement de notre hypothèse, dont rien ne prouve qu'elle soit vérifiée lors des communications réellement établies par les agents économiques concrets. Pour ce qui est du présent modèle, cette hypothèse nous permet de définir un nouvel indice de ressemblance des agents Ai et Ak, aussi significatif que le précédent puisqu'il rapporte de manière analogue à celui-ci le savoir partagé des agents à l'étendue totale de leurs savoirs, mais beaucoup plus facile à manipuler (1).

Soit $r(i,k) = C/[I+K-C]$ ce nouvel indice, où, rappelons-le, C est le cardinal de l'intersection des ensembles Si et Sk, de cardinaux respectifs I et K. Les ensembles Si et Sk n'étant pas vides, le dénominateur de ce rapport est toujours strictement positif, de sorte que $r(i,k)$ est toujours défini. De manière plus précise, $0 < r(i,k) < 1$: deux agents dont les "savoirs" respectifs ne se recouperaient sur aucun point seraient totalement dissemblables - de sorte que $r(i,k)$ serait nul, ce qui ne correspond pas à notre description de l'état initial de Z; inversement, deux agents dont les savoirs seraient strictement identiques ne constitueraient en fait qu'un seul et même agent - de sorte que $r(i,k)$ serait égal à $r(i,i)$ ou à $r(k,k)$, c'est-à-dire à 1. Puisque $0 < r(i,k) < 1$, en notant $p(i,k)(t)$ la probabilité d'établissement d'une communication entre les agents Ai et Ak à la date t, nous pouvons dès lors identifier purement et simplement degré de ressemblance et probabilité : $\forall i, \forall k, \forall t, p(i,k)(t) = r(i,k)(t)$ (2).

L'avantage principal d'une telle identification tient à la simplicité du traitement formel qu'elle autorise, sans obérer pour autant la portée des résultats ainsi obtenus quant aux liens existant entre quantité d'information échangée lors d'une communication et probabilité de réitération de celle-ci. Revenons en effet à notre hypothèse d'une égalité de toutes les probabilités initiales des agents d'établir une communication avec au moins un autre agent Ak donné.

---

(1) Nous devons néanmoins considérer dorénavant que l'état initial de Z est suffisamment complexe pour que la mort du système ne se produise pas avant un nombre suffisamment élevé de périodes. Pour cela, il suffit de supposer que chaque $P(Si)(to)$ contient un assez grand nombre d'éléments qui lui soient spécifiques, ce nombre, noté $r(to)$, étant identique quel que soit i. Ainsi $z(to) = n(r+1)$ est d'autant plus supérieur à $r(to) = n$, que r est grand, sans que rien ne change par ailleurs dans la description de $r(to)$, toujours associé à un graphe connexe, spécifié comme ci-dessus. En particulier, chaque agent continue de contribuer identiquement à définir l'état initial de Z ; $\forall i$, $[\theta i/z](to) = [2+r]/n(r+1)$.

(2) Sur l'exemple traité plus haut, il est facile de vérifier qu'entre to et t_1, l'indice $r(i,k)$ serait passé de 1/14 à 7/24 si nous l'avions quantifié par $[\theta c-1]/[\theta i+\theta k-\theta c]$, alors que cet indice passe de 1/5 à 3/5 entre ces deux dates s'il est quantifié par $C/[I+K-C]$. L'ampleur de la variation de $r(i,k)$ est évidemment différente selon la quantification adoptée, mais seul le *signe* de cette variation nous intéresse, et l'hypothèse adoptée ici nous assure qu'il est nécessairement le même dans les deux cas.

Cette hypothèse signifie que lorsque deux agents se ressemblent, ils se ressemblent toujours exactement autant que deux autres agents qui se ressemblent. Alliée à la connexité du graphe associé à $\Gamma(to)$, elle implique donc que la probabilité initiale d'établissement d'une communication à l'intérieur d'un groupe d'agents donnés, dont chacun ressemble à un autre, varie uniquement avec le nombre de ceux-ci selon une règle de probabilités composées, et que cette probabilité devient nulle dès lors qu'un élément de ce groupe ne ressemble à aucun autre. Dans le cas où la chaîne des ressemblances n'est pas brisée, $\forall i$, $\forall k$, $\forall l$:

$$p(i,k)(to) \neq 0 \text{ et } p(k,l)(to) \neq 0 \Rightarrow p(i,k)(to) = p(k,l)(to)$$

et

$$p(i,k,l)(to) = p(i,k)(to) \,.\, p(k,l)(to). = p^2(i,k)(to) = p^2(k,l)(to)$$

Chaque $p(i,k)(to)$ donné étant strictement inférieur à l'unité, la probabilité initiale d'établissement entre de tels groupes décroît donc rapidement avec la taille de ceux-ci, sans qu'elle ne soit jamais nulle.

Par contre, cette probabilité est nulle, quelle que soit la taille du groupe, dès lors qu'il existe, dans le groupe considéré, un agent qui ne ressemble à aucun autre membre de celui-ci. Ici, $\forall i$, $\forall k$, $\forall l$:

$$p(i,k)(to) = 0 \text{ ou } p(k,l)(to) = 0 \Rightarrow p(i,k,l)(to) = 0$$

Il résulte de ce qui précède que les groupes établissant le plus probablement une communication à la date to sont composés de deux agents (1), de sorte que si m est impair, il existe initialement au moins un agent qui ne communique avec aucun autre. Comme les spécifications du graphe connexe associé à $\Gamma(to)$ placent chaque agent entre deux autres agents auxquels il ressemble également, l'identité de celui des deux avec lequel cet agent établit une communication à la date to est absolument indécidable avec les données dont nous disposons. Puisqu'il en va de même pour tous les agents, il est possible qu'aucune communication ne s'établisse dans le système, quel que soit le degré de ressemblance existant entre les agents. Il revient donc à l'arbitraire de l'observateur de décider qu'une communication s'établit entre deux agents donnés. Dès lors que cette décision est prise, la situation peut se débloquer au niveau de l'ensemble des agents, puisque celui des trois qui ne participe pas à cette communication postulée n'a de possibilité de communiquer qu'avec l'agent le plus "proche" de lui, et ainsi de suite. Supposons donc ici qu'à la date to, une communication s'établisse entre deux agents Ai et Ak donnés, et voyons comment évolue par suite la distribution des probabilités de communication de la date to à la date t_1.

---

(1) Remarquons néanmoins que, si la probabilité initiale d'établissement d'une communication entre tous les agents est très faible (elle est égale à $p^{m-1}(i,k)(to)$, avec $p(i,k)(to) \neq 0$), cette probabilité n'est jamais nulle, puisque par hypothèse, dans l'ensemble de la population des agents, chaque agent ressemble à au moins un autre agent. Cette probabilité est donc supérieure à celles d'établissements de communications à l'intérieur de groupes plus restreints - tous ceux dont l'un des membres ne ressemble à aucun autre du groupe considéré.

Supposons qu'au cours de leur communication, les agents Ai et Ak échangent des messages comportant D informations nouvelles, au sens où D=E+F, en notant E le cardinal du sous-ensemble des catégories élémentaires Cj appartenant à C(Pcsi)(to) qui figurent dans le message émis par Ai et reçu par Ak, et F le cardinal du sous-ensemble des catégories élémentaires Cj appartenant à C(Pcsk)(to) qui figurent dans le message émis par Ak et reçu par Ai. Il est alors immédiat que

[1] $p(i,k)(t_1) = r(i,k)(t_1) = [C+D]/[I+E+K+F-(C+D)] = [C+D]/[I+K-C]$

de sorte que

[2] $$\Delta p(i,k) = p(i,k)(t_1) - p(i,k)(to) = D/[I+K-C]$$

Et puisque $0 < D < I+K-2C$, il vient

$$0 \leqslant \Delta p(i,k) \leqslant 1 - C/[I+K-C]$$

C'est-à-dire

[3] $$0 \leqslant \Delta p(i,k) \leqslant 1 - p(i,k)(to)$$

Commentons ces résultats :

1) L'équation [2] montre que la probabilité d'établissement d'une communication entre Ai et Ak à la date t_1 est supérieure à ce qu'elle était à la date to, si, et seulement si, la communication établie de to à t_1 entre ces deux agents est synonyme de nouveauté pour au moins l'un d'entre eux : [I+K-C] étant toujours positif, de même que D est positif dès lors que E ou F n'est pas nul, $\Delta p(i,k)$ est nécessairement positif.

2) Les conditions initiales étant fixées, cet accroissement est d'autant plus important que la quantité d'information échangée entre les agents est importante : pour I, K et C donnés, $\Delta p(i,k)$ est d'autant plus élevé que D est grand. A la limite, si chaque agent communique à l'autre l'intégralité du savoir spécifiquement détenu par lui, cet accroissement est maximal : l'équation [3] montre qu'il est alors égal à $1 - p(i,k)(to)$. Dans ce cas, $D = Dmax = I+K-2C$, et l'équation [1] montre que $p(i,k)(t_1)$ est alors égal à l'unité. De fait, il est clair que si chaque agent communique à l'autre la totalité du savoir qui les différenciait au début de la communication, l'issue de celle-ci voit les agents devenus parfaitement identiques, quelles que soient leurs différences initiales.

3) La savoir initial global des agents étant donné, un accroissement $\Delta p(i,k)$ donné est obtenu avec d'autant moins d'information nouvelle que la fraction de ce savoir global partagée par les agents, donc aussi la probabilité initiale de communication entre eux, sont élevés : l'équation [1] montre que, avec I et K fixés, plus C est grand, plus $p(i,k)(to)$ est grand, et plus la quantité D correspondant à $[\Delta p(i,k)]o$ est petite.

L'ensemble de ces trois propositions signifie donc que *toute communication synonyme d'information nouvelle pour au moins un participant favorise, en s'établissant, les conditions de sa réitération.*

Bien qu'ils aient été obtenus dans le cadre d'une communication dyadique et sur une seule période, ces résultats paraissent généralisables à des communications établies entre un nombre quelconque d'agents et, sous certaines conditions, à plusieurs périodes. En effet, fût-elle très faible, la probabilité d'établissement d'une communication entre un nombre quelconque d'agents n'est jamais nulle tant que la chaîne des ressemblances n'est nulle part brisée entre eux, et, lors d'une communication de ce genre, l'information émise par chaque agent est, par définition, reçue par tous. De sorte que, si cette communication s'établit, la logique cumulative décrite à l'instant se trouve nécessairement à l'oeuvre. La faiblesse relative de la probabilité initiale de communication au sein de groupes composés d'au moins trois agents, par rapport à celle d'une communication dyadique, peut alors se trouver compensée, voire plus que compensée, par la quantité supérieure d'informations nouvelles circulant dans un cadre ainsi élargi, et ceci au terme d'un nombre d'autant plus réduit de périodes que, la population globale étant faiblement différenciée, les p(i,k) sont proches de l'unité.

Mais ces résultats peuvent également être étendus au nombre de périodes telles que le caractère cumulatif du processus analysé plus haut l'emporte sur l'effet de chevauchements apparaissant entre savoirs respectifs des agents engagés dans des groupes différents de communication. En effet, seuls de tels chevauchements pourraient venir contrecarrer l'évolution que nous voyons se dessiner au bout d'une seule période (1). Les conditions de l'état initial de Z - beaucoup de complexité pour peu de redondance - rendent ces chevauchements entre savoirs peu vraisemblables. De tels phénomènes n'ont cependant rien d'impossible, mais l'analyse de leurs conditions d'apparition nécessiterait de spécifier le modèle bien plus précisément que nous ne l'avons fait ici. En effet, notre objectif consistait simplement à montrer que l'une des trajectoires possibles du système voyait se poursuivre uniformément l'évolution ici analysée sur une période. Cette trajectoire est telle qu'à partir d'un état partagé de manière homogène entre l'ensemble des agents, il est plus probable que le système évolue vers des états constitués d'*amas différenciés* de sous-systèmes, que son évolution ne tende à reconduire l'homogénéité initiale.

---

(1) Donnons un exemple de chevauchement de ce genre. Soient les agents Ai, Ak, Au et Av à la date t. Supposons qu'à cette date :

$$p(i,u) \ll p(i,v) \ll p(k,u) \ll p(k,v) \ll p(i,k) < p(u,v),$$

La structure de communication la plus probable est alors celle qui voit communiquer Ai avec Ak d'une part, et Au avec Av d'autre part. Mais il se peut que la distribution iniiale de probabilités soit bouleversée par les messages échangés lors de ce deux communications simultanées et indépendantes, de telle sorte qu'à la date t+1 :

$$p(i,k) \ll p(k,u) \ll p(i,v) \ll p(u,v) \ll p(k,v) < p(i,u),$$

L'effet de chevauchement étant plus fort que l'effet cumulatif, la structure de communication la plus probable en t+1 voit Ai communiquer avec Au d'une part, et Ak avec Av d'autre part. Tel est le cas si Au et Av échangent beaucoup plus d'information que Au et Ak lors de leurs communications respectives ; de t à t+1, Ai et Ak accroissent relativement peu leur ressemblance par rapport à Au et Av, et pourtant ces deux derniers ne communiqueront probablement pas en t+1. Exclue par hypothèse de to, où tous les p(i,k) sont soit égaux, soit nuls, une telle situation n'est pas impossible en t_1. Elle est néanmoins d'autant moins probable que les $\theta i(to)$ sont relativement petits et tous égaux, sauf si les stratégies d'agents sont suffisamment contrastées - par exemple, telles que $\Delta p(i,k)$ est proche de 0, alors que $\Delta p(u,v)$ est proche de $1 - p(u,v)(to)$.

A l'intérieur de chacun de ces amas tendant ainsi à se former, l'*homogénéisation* progressive des savoirs des agents est synonyme d'effacement de leurs singularités individuelles, tandis qu'*entre les amas* le processus est de *différenciation* des savoirs et non d'homogénéisation : une seule et même évolution, conduisant à l'accroissement du volume global de l'économie, tend simultanément à agréger localement et à désagréger globalement cette mémoire. Cette évolution est *la plus probable* pour le système Z, et elle entraîne principalement deux conséquences. Au niveau macroéconomique tout d'abord, une telle évolution paraît susceptible d'abréger la durée de vie du système. De fait, la probabilité d'établir une communication entre deux agents appartenant à des amas différents ne cessant de décroître, et chacun communiquant ainsi de plus en plus probablement, dans une aire purement locale, avec d'autres qui lui ressemblent de plus en plus, le système voit se tarir plus rapidement la diversité permettant à sa complexité d'être toujours supérieure à sa redondance. Au lieu d'arriver à la parfaite homogénéité des savoirs au niveau de l'ensemble de Z, impliquée par l'hypothèse d'absence d'effet significatif de renforcement, il est possible que la structure du système se fige dans un état intermédiaire, consistant en une partition quasi-parfaite en sous-ensembles presque entièrement différents, eux-mêmes composés de sous-systèmes parfaitement identiques. Pour cela, il suffirait qu'à force d'être activées à l'intérieur de sous-ensembles voisins d'agents, plutôt qu'entre ces sous-ensembles, les catégories demeurées communes aux éléments de ceux-ci voient la communicabilité de leurs significations respectives s'effacer totalement devant la spécificité qu'elles acquièrent en s'intégrant dans des savoirs différents. Dans ces conditions, ce qu'il resterait de diversité en Z serait enfermé dans une juxtaposition de compartiments pratiquement étanches, de sorte que cette diversité résiduelle serait pour ainsi dire inutilisable par le système. De sorte que ce dernier ne pourrait aller jusqu'au bout de la logique du processus venant *globalement* l'homogénéiser, et devrait se contenter d'une homogénéité *locale* des savoirs laissant inexploitée une réserve de diversité dont l'épuisement aurait prolongé sa trajectoire.

Mais cette évolution du système vers une constellation d'amas entraîne également d'importantes conséquences sur le plan purement microéconomique. Elle imprime notamment sa marque sur la nature des différentes stratégies possibles de l'agent visant à participer de manière optimale à une telle évolution. Sans prétendre aller au-delà d'une première exploration de ce problème, déterminons, à partir des conséquences des différentes stratégies mises en oeuvre par un agent au cours de la communication, les stratégies qui se révèlent pour lui les plus pertinentes. Bien entendu, l'analyse menée ici en termes de communications dyadiques peut être étendue à des groupes comportant un nombre quelconque d'agents, dans la mesure où chacun de ces derniers considère l'ensemble des autres comme un seul et même agent. Dans ces conditions, les stratégies pertinentes s'ordonnent autour de deux comportements contrastés, alternativement observés par l'agent Ai au cours de la communication, et renvoyant chacun à une interprétation du concept de valeur d'option - incitant respectivement l'agent à attendre passivement l'information supplémentaire, et à adopter une attitude plus active en injectant un surcroît d'information dans le système.

En effet, la première stratégie possible de l'agent consiste à pratiquer une rétention de l'information, quel que soit le comportement de l'autre agent impliqué dans la communication. L'équation [2] ci-dessus, et son interprétation dans la première des trois proposition qui suivent, montrent bien que la conséquence d'une telle stratégie est de rendre minimale la probabilité de réitération de la communication actuellement établie : quelle que soit la quantité d'information émise par Ak, indicée par F, pratiquer une rétention d'information est minimiser E, donc minimiser D pour tout niveau donné de F. A la limite, $\Delta p(i,k) = F/[I+K-C]$, lorsque $E = 0$. Une telle attitude apparaît rationnelle à chaque fois qu'il s'agit de prendre une position d'attente, ou de disponibilité envers un éventuel établissement d'une communication estimée *a priori* plus fructueuse. Elle correspond donc à une stratégie optimale de l'agent Ai dans deux types de situations : 1) lorsque l'agent Ak est perçu par Ai comme pratiquant lui-même une rétention d'information, c'est-à-dire quand F anticipé est nul; alors D anticipé par Ai est nul, et la probabilité de réitération de la communication reste identique à la probabilité de celle-ci avant qu'elle ne s'établisse; 2) lorsque l'agent Ak est perçu par Ai comme étant peu susceptible d'émettre en sa direction, suite à la réception d'une quantité importante d'information, un message riche en potentialités nouvelles de combinaisons de catégories pour Ai; c'est alors $\theta k(to)$ anticipé par Ai qui est petit, de sorte que Ai refuse d'accroître la probabilité de réitération d'une communication potentiellement très pauvre en information pour lui.

Parfaitement rationnelle dans les deux cas mentionnés à l'instant, la rétention de l'information consiste donc à différer la redondance afin de rester ouvert à la complexité. Une telle stratégie évoque le cadre classique du concept de valeur d'option, dans lequel l'agent reporte les décisions irréversibles dans l'attente d'une information supplémentaire, produite de manière exogène au modèle. Il est évident qu'un tel comportement ne présente aucun caractère rationnel dans le long terme : à moins que tous les agents ne se comportent de même, auquel cas la structure du système Z demeure à la limite parfaitement inerte, ce n'est pas en participant petitement à des communications pauvres à toutes les dates que l'agent Ai va participer de manière optimale à l'évolution du système! Dès lors qu'un seul couple d'agents suivrait la stratégie inverse à l'une de ces dates au moins, en manifestant une commune propension à émettre un maximum d'information lors de la communication, l'objectif de Ai serait manqué. Sur le long terme, il lui faut donc préférer l'autre stratégie possible, consistant précisément à émettre le maximum d'information lors de sa communication avec un autre agent Ak. Au lieu de différer la redondance pour rester ouvert à la complexité, il s'agit ici à la fois de créer de la redondance et de la complexité entre lui et Ak, et de créer tous deux de la complexité pour le reste du système. Il est clair que cette stratégie, correspondant à une valeur d'option "active", est la plus rationnelle dans les deux cas inverses à ceux mentionnés auparavant, c'est-à-dire lorsque : 1) Ai anticipe une valeur élevée de F lors de la communication présente; 2) lorsqu'il anticipe $\theta k(to)$ élevé, de sorte que la recombinaison de $P(Sk)(to)$ avec l'information correspondant à une valeur élevée de E se traduira par $P(Sk)(t_1)$ donnant lieu à une valeur anticipée élevée de F lors de la communication établie entre Ai et Ak à la date t_1 - une communication dont la probabilité anticipée est ainsi supérieure à celle établie entre ces agents à la date to.

Naturellement, la rapide présentation des stratégies optimales des agents, proposée à l'instant, est des plus caricaturales : il est bien évident que la rétention d'information en laquelle consiste la première de ces stratégies ne peut jamais être totale, puisque les agents, étant différents, ne peuvent pas ne pas communiquer (échanger une quantité nulle d'information) dès lors qu'ils sont mis en présence au sein d'une partie commune de la structure de communication de l'ensemble du système. De même, l'émission réciproquement maximale figurant la seconde stratégie ne peut, ni ne doit, être réellement maximale lors de la communication, puisque cela signifierait qu'à l'issue de celle-ci les agents, étant devenus parfaitement identiques, ne sauraient que se dire lors de la communication certaine qui suivrait, chacun étant désormais parfaitement transparent à l'autre. Comme souvent, tout ici est dans le dosage, la stratégie optimale consistant à trouver dans chaque période, l'horizon temporel des agents étant donné, l'arbitrage le plus adapté aux circonstances - c'est-à-dire à ce que chacun peut percevoir de l'état actuel du système, et anticiper de ses évolutions futures possibles. Il n'empêche que, pour caricaturale qu'elle soit, cette présentation esquisse à grands traits ce que pourrait être une stratégie individuelle optimale au sein d'un système évolutionniste liant, par la durée que trace son mouvement même, les intérêts réciproques de agents. En particulier, une telle présentation débouche directement sur la nécessité d'une communication efficace au sein de groupes stables, rationnellement animés d'un souci de flexibilité dynamique dès lors qu'ils sont insérés dans un environnement incertain synonyme de régime d'informations perturbées (cf. P. Llerena et P. Cohendet, *infra)*, et rejoint deux interprétations alternatives du concept éminemment fécond de valeur d'option (cf. G. Lambert, *infra*, pp. 173 sq.).

Conclusion

La première étape de la construction proposée dans cet article nous a fourni une explication rationnelle et très générale aux apparentes incohérences d'agents concrets peu soucieux d'obéir aux axiomes de l'analyse microéconomique du choix : le système de préférences des agents étant *a priori* situé dans leur mémoire, et celle-ci se révélant globalement beaucoup moins stable que ne l'indiquait la théorie de la localisation fonctionnelle, il n'existe vraiment aucune raison pour que les préférences des agents soient stables. Cette théorie d'une mémoire inventive, présentée par I. Rosenfield, possédait trois caractéristiques communes avec le modèle de l'auto-organisation de H. Atlan, dont un exposé aussi succinct que possible a fait l'objet de notre deuxième étape : apprentissage non programmé, résultant de l'interaction d'un système non construit (tel le cerveau) avec son environnement, et dont le déroulement normal s'effectue selon un processus de complexification. Les matériaux étaient donc disponibles pour une nouvelle mouture d'un modèle d'évolution auquel nous travaillons depuis longtemps, et c'est la version actuelle de ce modèle qui a constitué la matière de la dernière grande partie de notre article.

A quelques nuances près dont nous nous sommes expliqué, ce modèle permet de lier les enseignements de I. Rosenfield à ceux de H. Atlan dont il retrouve, en élargissant certains et en restreignant d'autres, les principaux résultats. Dans le champ propre de ce système non construit particulier constitué par la communication entre agents d'une économie décentralisée, comme dans le cadre général tracé par H. Atlan, l'accroissement de complexité a pour cause efficiente la survenue d'un bruit organisationnel. Mais ici, ce bruit est celui que représente, pour chaque sous-système, la mise en communication avec un autre sous-système associant des significations différentes à une information pourtant communicable. Dans notre modèle en outre, le jeu de la diversité du système engendre d'emblée de la redondance simultanément à la complexité : loin de s'opposer selon une logique de vases communicants, redondance et complexité croissent ensemble tout le long de la trajectoire du système, et si celui-ci finit par mourir, ce n'est pas qu'il ne dispose plus de suffisamment de redondance pour retourner, en l'organisant à son profit, l'impact du bruit organisationnel, mais plutôt qu'il étouffe progressivement sous le poids d'une redondance venant inexorablement recouvrir un accroissement net de complexité restant positif jusqu'au moment exact de la mort du système - où cet accroissement net devient nul.

Nous l'avons vu : cette mort peut être précipitée par la formation d'amas différenciés au sein du système - un processus ressortissant à la logique même de l'établissement de la communication entre éléments de ce dernier. "Qui se ressemble s'assemble" : vieux dicton assurément, dont la profonde vérité trouve ici à s'exprimer en un langage inattendu, et surtout se voit prolongée, par ce langage ensuite retraduit, par "qui s'assemble se ressemblera le plus probablement de plus en plus". Tout au long de la trajectoire du système, cette logique cumulative tend à immobiliser le système avant son terme naturel d'entropie maximale. Mais d'autres forces sont susceptibles de contrecarrer une telle logique - notamment les phénomènes de chevauchement dont nous avons parlé. Par ailleurs, il est possible que le système proprement économique ait trouvé un moyen d'enrayer ce processus de formation d'amas avec l'émergence de la monnaie. Car cette dernière fournit à chaque agent la possibilité de s'évader à tout moment de l'amas dans lequel il serait autrement cantonné, en lui permettant d'acheter toute information offerte à la vente par un agent de n'importe quel amas, et d'offrir à la vente toute information susceptible d'intéresser un agent de n'importe quel amas : en ce sens, la monnaie constituerait pour le système l'ultime moyen de maintenir son caractère organisé, de même qu'elle constituerait pour l'agent individuel la dernière communication efficace possible. L'émergence de la monnaie signalerait ainsi qu'un processus d'apprentissage d'un autre type logique, supérieur à celui qui consiste à combiner des catégories sur un mode donné, était à l'oeuvre dans le système : avec la monnaie, c'est la manière même de communiquer, et de combiner les catégories reçues lors de la communication, qui change.

Enfin, d'autres forces encore peuvent, elles, faire reculer *indéfiniment* l'épuisement de diversité signant la fin du système : le renouvellement du lexique initial, dont seul le caractère fini rendait ici inéluctable la survenue d'une parfaite homogénéisation du savoir, mais aussi les effets de renforcement négligés par notre modèle, et qui n'en sont pas moins partout à l'oeuvre dans ce que nous appelons le langage.

BIBLIOGRAPHIE

B. ANCORI (1979)
"Pouvoir et information : d'un instant à l'autre", Thèse de Doctorat en Sciences de l'information, Université des Sciences Juridiques, Politiques, Sociales et de Technologie, Strasbourg

B. ANCORI (1983)
"Communication, information et pouvoir", Communication au Séminaire Interdisciplinaire du Collège de France, in A. LICHNEROWICZ, F. PERROUX et G. GADOFFRE : "Information et communication", Maloine

B. ANCORI (1987a)
"Génération d'information dans une économie complexe", in B. ANCORI et *al.* : "Evolution économique et Théories de l'information", A.R.I. sur les Sciences de la Communication, B.E.T.A./C.N.R.S., mars

B. ANCORI (1987b)
"L'émergence d'un consensus monétaire dans le cadre d'une Economie informationnelle", Communication au deuxième Colloque de l'Association Charles Gide pour l'Etude de la Pensée Economique, Nice, septembre

H. ATLAN (1972)
"L'organisation biologique et la théorie de l'information", Hermann

H. ATLAN (1979)
"Entre le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant", Seuil

H. ATLAN (1986a)
"Créativité biologique et auto-organisation du sens", in "Cognition et Complexité", Cahiers du C.R.E.A., n°9, mars

H. ATLAN (1986b)
"A tort et à raison. Intercritique de la Science et du Mythe", Seuil

G. BATESON (1977)
"Vers une écologie de l'esprit", T.1, Seuil

G. BATESON (1980)
"Vers une écologie de l'esprit", T. 2, Seuil

G. BATESON (1984)
"La nature et la pensée", Seuil

L. BRILLOUIN (1959)
"La science et la théorie de l'information", Masson

C. CASTORIADIS (1978)
"Les carrefours du labyrinthe", Seuil

R.W. CLOWER (1967)
"A reconsideration of the microfoundations of monetary theory", Western Economic Journal, décembre

T.S.KUHN (1962)
"The Structure of Scientific Revolutions", The University of Chicago Press

P. LEVY (1987)
"Le paradigme du calcul", in I. STENGERS éd. : "D'une science à l'autre. Des concepts nomades", Seuil

J. MONOD (1970)
"Le hasard et la nécessité", Seuil

L. PERSONNAZ
G. DREYFUS et
I. GUYON (1988)
"Les machines neuronales", La Recherche, Vol. 19, n°204, novembre

K. POLANYI et
C. ARENSBERG (1975)
"Les systèmes économiques dans l'histoire et dans la théorie", Larousse

I. ROSENFIELD (1989)
"L'invention de la mémoire. Le cerveau, nouvelles donnes", Eshel

H. VON FOERSTER (1960)
"On self-organizing systems and their environments", in YOVITZ et CAMERON éds.: "Self-organizing Systems", Pergamon Press

P. WATZLAWICK
J. HELMICK-BEAVIN et
D. JACKSON (1972)
"Une logique de la communication", Seuil

W. WEAVER et
C. SHANNON (1949)
"The mathematical theory of communication", University of Illinois

AUTO-ORGANISATION ET CREATION TECHNOLOGIQUE

par

Pierre GARROUSTE et Jean-Alain HERAUD

Cet article examine l'application du modèle de l'auto-organisation à l'économie des changements technologiques. Après une partie introductive (1) qui présente le modèle général et évoque la place de celui-ci en économie, nous prenons le temps d'un retour sur ses versions originales, qui sont celles des biologistes et des chimistes (2), pour pouvoir ensuite mieux analyser, classer et évaluer les contributions à l'économie de la technologie qui y renvoient - explicitement ou non - (3). L'approche systémique de l'évolution technico-économique que proposent les contributions inspirées par l'auto-organisation apparaît au total assez fructueuse, bien que la multiplicité des modèles et des niveaux d'application puisse donner une impression d'ensemble un peu floue. Elle jette en tout cas une lumière particulière intéressante sur le domaine de l'économie de l'information, comme nous l'indiquons en conclusion (4).

1. INTRODUCTION A LA NOTION D'AUTO-ORGANISATION

L'introduction de la référence à l'*auto-organisation* dans l'analyse des changements technologiques est récente: elle date de la fin des années 70. Il est sans doute trop tôt pour juger s'il s'agit d'un nouveau paradigme ou d'un nouveau programme de recherche scientifique - voire d'une simple métaphore pour exposer autrement un certain type d'analyses. A défaut de terminologie plus précise, nous parlerons ici de diffusion du "modèle" interdisciplinaire de l'auto-organisation. Celui-ci s'est construit progressivement sur plusieurs champs des sciences de la nature puis des sciences humaines ([1]), avant de donner lieu à des applications croissantes dans le domaine de l'*économie de la technologie* . Par ailleurs, certaines approches évolutionnistes du changement technique peuvent être réexaminées à la lumière de l'auto-organisation même si elles n'ont pas été formulées par les auteurs dans ces termes. Notre propos est de fournir des éléments d'évaluation des divers courants de pensée en économie de la technologie qui peuvent être rattachés à ce modèle interdisciplinaire - qu'ils affichent explicitement ou non une référence à l'auto-organisation.

Pour cela, il est indispensable de revenir tout d'abord sur les approches originelles - celles des biologistes et des chimistes principalement - et sur les applications que les économistes en ont faites, particulièrement en économie de l'information et dans les travaux s'inspirant de la

science des systèmes. Les conceptions de base de l'auto-organisation en sciences de la nature sont à notre avis de trois types qui correspondent respectivement aux travaux d'ATLAN, de VARELA-MATURANA et de PRIGOGINE-STENGERS (nous verrons que la terminologie varie également d'un auteur à l'autre et que d'autres concepts doivent être explicités, comme ceux d'*autonomie* ou d'*autopoièse*, mais nous partons ici de l'hypothèse qu'il existe une notion générale commune à toutes ces approches: l'auto-organisation). Les diverses analyses du changement technique vu comme processus auto-organisé sont à rapprocher des trois versions du modèle général. Il est alors possible d'évaluer l'utilité du modèle - en faisant ressortir sa version la plus pertinente pour l'économie de la technologie. Inversement, on peut classer les contributions économiques faisant référence au modèle selon le degré de pertinence de cette référence: ce ne sont pas forcément les analyses introduisant explicitement le modèle de l'auto-organisation qui apparaissent les plus convaincantes.

Dans cette partie, nous verrons sous quels aspects l'évolution de la théorie économique tend à converger vers le modèle général de l'auto-organisation (**1.1**), avant d'examiner les applications de ce modèle au domaine particulier du changement technologique (**1.2**).

1.1 L'émergence de l'auto-organisation en économie

Après s'être inspirée longtemps des modèles des sciences physiques, l'économie tend, par divers chemins, à défricher des champs théoriques plus proches non seulement de la biologie (cf. par exemple R. PASSET [1979]), mais aussi et surtout de la systémique (B. WALLISER [1988]).

B. WALLISER propose la périodisation suivante:

- phase **mécaniciste** (importance accordée à la notion d'équilibration), jusqu'aux années 40;
- phase **cybernétique** (notion de régulation), qui s'affirme principalement après guerre;
- phase **systémique** (notion d'auto-organisation), commencée dans la période récente.

La distinction entre cybernétique et systémique est importante: outre les relations de *feed-back* (régulations) que possèdent les deux types de modèles, un modèle systémique présente la propriété de se **reconstruire de lui-même** à certaines occasions au moins.

On peut replacer les propriétés des systèmes auto-organisés par rapport aux propriétés habituellement attribuées au monde vivant, telles qu'elles sont rappelées par R. AYRES [1988]:

l'idée que la coordination des activités individuelles est un processus évolutif d'auto-organisation aboutissant à des formes de **marchés coordonnés mais de manière non intentionnelle.** Aucun acteur individuel, à l'intérieur ou hors du système, ne joue un rôle d'organisateur complet et délibéré. Des **structures** comme les marchés ou d'autres formes organisationnelles sont à la fois sujets et **objets** de la création. J. LESOURNE [1985] donne comme exemples de systèmes auto-organisés, c'est-à-dire *capables d'acquérir des propriétés nouvelles en modifiant eux-mêmes leur organisation* : l'entreprise qui réussit à structurer la concurrence (la réponse de la firme à son environnement consiste à agir sur cet environnement, engendrant éventuellement de nombreuses itérations), le marché qui donne naissance à des marchés nouveaux, le système de l'emploi qui engendre les syndicats (un *marché* suscitant une *organisation*).

La création de structures nouvelles par les agents eux-mêmes est la marque d'un processus d'auto-organisation. L'évolution structurelle n'est pas pilotée par une instance hiérarchique (ni voulue par une instance exogène), de même qu'elle ne saurait être parfaitement anticipée par un acteur quelconque du système. Ce qui nous semble essentiel à souligner dans ce phénomène de réseau qu'est l'auto-organisation, c'est **l'interférence des niveaux**: la réorganisation structurelle qui matérialise l'acquisition des propriétés nouvelles est **à la fois** celle de l'**agent** et celle du **système** (cf. J.-A. HERAUD [1988a]). La propriété d'auto-organisation d'un système est fondée sur la capacité des agents à modifier à la fois leur milieu interne et leur environnement ([2]). Une forme particulière d'interférence des niveaux d'organisation caractérise les processus qu'étudient les **sciences sociales** (y compris l'économie): les agents étant des êtres conscients et volontaires, **chacun porte en lui une image du réseau global,** cette image étant à la fois une **représentation** et un **projet.** Des travaux comme ceux de M. CALLON illustrent bien la nécessité de tenir compte de cette dimension - sur laquelle est centrée la contribution précédente de B. ANCORI. L'imperfection de l'information se traduit ici par le fait que les agents n'ont pas la même image du système global; et c'est bien entendu cette propriété qui permet l'évolution du système - lequel, sinon, ne saurait être que stationnaire. Dans un tel système, la notion d'**information** prend un sens fort: "in-former" signifiant se former soi-même (apprentissage) et former les autres (stratégie).

Comme on peut le constater, le modèle de l'auto-organisation apporte à l'économie la dimension de la création informationnelle: à travers ce type d'approche, le théoricien cherche à décrire le processus endogène par lequel le système économique se construit lui-même (comment les agents, à l'occasion de leurs interactions habituelles, créent de nouvelles règles du jeu). Lorsque ces structures - cette information - nouvelles impliquent le système technique, on se

situe un domaine particulier, celui de l'économie du changement technologique, qu'il nous reste maintenant à présenter dans ses grandes lignes.

1.2 L'approche du changement technologique par le modèle de l'auto-organisation

Il nous semble que trois critères doivent être mobilisés pour mener à bien notre tentative d'évaluation des approches du changement technologique s'inspirant des modèles de l'auto-organisation.

a) Un des premiers critères discriminants est le positionnement par rapport aux **travaux fondateurs des non-économistes en matière d'auto-organisation:**

- On peut distinguer parmi les contributions des économistes celles qui se rattachent à une conception identifiée (ou identifiable) des travaux sur l'auto-organisation (G. SILVERBERG, G.DOSI et L. ORSENIGO; R. NELSON et S. WINTER), celles qui parviennent explicitement à des convergences en termes de résultats ou de méthodes avec ces travaux (W.B. ARTHUR), et celles qui partent des résultats de ces travaux (D. FORAY et P.GARROUSTE).
- Dans la mesure où les économistes se réfèrent aux modèles fondateurs comme ceux d'ATLAN, de VARELA ou de PRIGOGINE, il faut tenir compte de notables différences entre ces modèles eux-mêmes.

b) Les différents niveaux auxquels s'expriment les processus auto-organisateurs permettent de distinguer les analyses qui considèrent la **technologie** comme un système auto-organisé (P.P. SAVIOTTI), celles qui définissent le **processus de compétition technologique** comme étant auto-organisé (W.B. ARTHUR), celles qui localisent l'auto-organisation dans les **relations entre changements technologiques et structures industrielles** (DOSI, ORSENIGO, SILVERBERG), celles qui envisagent l'auto-organisation comme liée au **comportement de formes productives** (FORAY, GARROUSTE), celles pour qui l'auto-organisation caractérise un **système économique** (R. AYRES), ou celles enfin qui l'intègrent à plusieurs niveaux de leur analyse (D.SAHAL).

c) Le dernier critère discriminant que nous évoquerons concerne un mécanisme particulier du processus d'auto-organisation: il s'agit de la nature de l'**intervention de l'environnement** sur les caractéristiques propres au système considéré. On distinguera les analyses où l'environnement joue un rôle perturbateur essentiel dans le déroulement du processus auto-organisateur (la sélection chez NELSON et WINTER; les "petits événements" chez W.B. ARTHUR), et celles où l'environnement est plutôt considéré comme un facteur "résiduel", n'intervenant que pour renforcer le système de cohérence interne au système (FORAY, GARROUSTE).

Afin de donner des éléments d'*évaluation externe* des divers "courants" que nous distinguons dans l'approche auto-organisationnelle du changement technologique (c'est-à-dire pour définir ce qui permettra de les situer par rapport aux conceptions "standard" de l'auto-organisation), il nous semble intéressant, dans un premier temps (2.), de présenter les approches originelles de l'auto-organisation avant d'étudier (3.) les travaux des économistes des changements technologiques qui se réclament - ou que l'on peut rattacher à - des approches en termes d'auto-organisation. Notre évaluation de ces travaux se fera donc, d'une part, en les situant par rapport aux conceptions génériques, en les regroupant par classes (tout en insistant sur leurs spécificités), et d'autre part en nous efforçant de montrer en quoi ces approches proposent une analyse renouvelée de la création technologique.

2. LES CONCEPTIONS ORIGINELLES DE L'AUTO-ORGANISATION

Nous nous contenterons ici de rappeler les approches de H.ATLAN, de H.MATURANA et F.VARELA, de I.PRIGOGINE et I.STENGERS. On peut avancer deux justifications de ce choix: à quelques différences près quant à leur définition, ces approches correspondent aux "trois voies" par lesquelles l'idée d'auto-organisation a fait son chemin dans les années soixante-dix, selon H.ATLAN [1986]; elles constituent aussi de bons modèles de référence pour la classification des analyses du changement technologique. Nous ne pouvons mettre en évidence

ici la généalogie de l'analyse en termes d'auto-organisation. Nous nous contenterons de décrire les proximités de pensée et de conception.

2.1 L'auto-organisation chez H. ATLAN

Pour H.ATLAN, la nécessité d'introduire une réflexion en termes d'auto-organisation ne constitue pas une rupture. On part du fait que les organismes vivants sont caractérisés par des performances résultant de principes spécifiques qui sont "postulés en continuité avec les autres domaines de la cybernétique, les mieux connus, ceux qui s'appliquent aux automates artificiels" (H.ATLAN [1972], p.242). Les conséquences de cette position sont d'importance: d'une part, "la spécificité des organismes vivants est rattachée à des principes d'organisation plutôt qu'à des propriétés vitales irréductibles" et d'autre part, lorsqu'on a mis en évidence ces principes, "rien ne devrait empêcher de les appliquer à des automates artificiels dont les performances deviendraient alors égales à celles des organismes vivants" (ibid.). Les débats actuels portant sur l'orientation méthodologique des sciences cognitives montrent le caractère problématique d'une telle approche (H.L.DREYFUS [1979]; F.FLORES et T.WINOGRAD [1989]; F.VARELA [1989b] et le travail de I. ROSENFIELD analysé par B. ANCORI dans l'article précédent).

En mobilisant la théorie de l'information, H.ATLAN montre que la variation de la quantité d'information de certains systèmes se décompose en une tendance à la **diminution de sa redondance et à l'augmentation de sa complexité** quand une perturbation extérieure se manifeste. Il résume alors les caractéristiques de l'auto-organisation de la manière suivante:

> "L'organisation doit être décrite par une courbe de variation de quantité d'information sous les effets de facteurs producteurs de bruit.
>
> "Une redondance initiale est nécessaire pour que l'on ait affaire à un système auto-organisateur: un tel système est capable d'utiliser la redondance disponible pour répondre aux facteurs aléatoires de l'environnement, par un accroissement de complexité et de diversité, de façon à leur apparaître adapté. Ce sont les mêmes facteurs d'agressions aléatoires qui sont ensuite responsables du vieillissement et de la mort, quand la redondance initiale est épuisée, alors qu'ils avaient précédemment nourri la période de croissance et de maturation, et de façon générale, l'apprentissage adaptatif."
>
> (H.ATLAN [1972], p.273)

L'environnement, dans cette optique, joue un rôle de déclencheur: sous l'effet des perturbations aléatoires, la capacité de réorganisation du système est rendue effective. Ainsi, l'aléa est une caractéristique de l'environnement efficace d'un système. Tant que le système a les moyens de se réorganiser en transformant de la redondance en complexité, il peut faire face à ces "agressions aléatoires". Ce faisant, il s'épuise et évolue, inéluctablement, vers la mort. Nous reviendrons à la fin de cette partie sur les implications d'un modèle si fortement *entropique* losqu'on envisage de l'appliquer à la technologie, à l'économie ou d'une manière générale au domaine des sciences sociales.

2.2 L'auto-organisation chez H. MATURANA et F. VARELA: autopoièse et autonomie

Pour F.VARELA, il est nécessaire de penser les systèmes auto-organisés en mobilisant des méthodes différant des méthodes classiques. Ces systèmes présentent des caractéristiques spécifiques: ils possèdent des processus internes interconnectés qui permettent de stabiliser leurs trajectoires dans un espace de phases; cette qualité définit leur identité en rendant possible leur distinction d'un espace substrat. La représentation théorique de l'auto-organisation du vivant fait appel chez MATURANA et VARELA au concept d'**autopoièse** (on pourrait traduire par "auto-création").

> "Un système autopoiétique est organisé (défini comme une unité) comme un réseau de processus de production, transformation et destruction de composants qui: (1) à travers leurs interactions et transformations régénèrent continuellement et réalisent le réseau des processus (relations) qui les ont produits; et (2) le constituent (le système) comme une unité concrète dans l'espace dans lequel ils existent en spécifiant le domaine topologique de sa réalisation comme réseau"
> (F.VARELA [1979], p.13).

Cette définition suppose l'acceptation d'une distinction préalable entre les notions de **structure** et d'**organisation** d'un système:
"Le mot structure concerne les relations entre les parties aussi bien que l'identité des parties qui constituent un tout" (H.MATURANA [1974], p.177). Par contre, l'organisation concerne les

biologiste à exporter le paradigme de l'autopoièse en dehors du domaine de l'organisation du vivant.

Le concept d'autonomie (et son contraire, l'*hétéronomie*) mérite quelques commentaires supplémentaires, ne serait-ce qu'en raison de cette plus grande généralité que nous venons d'évoquer.

En ce qui concerne la caractérisation du système: celui qui est hétéronome se présente comme une boîte d'entrée-sortie (paradigme de la commande) alors que l'autonome possède un comportement propre (clôture opérationnelle);

En ce qui concerne la relation à l'environnement: dans le cas d'un système hétéronome, elle passe par la représentation du monde extérieur et on a affaire à une logique de correspondance; dans le cas d'un système autonome, la relation passe par un monde émergent de significations qui est inséparable de la clôture opérationnelle et on a affaire à une logique de cohérence (l'environnement est en quelque sorte internalisé).

2.3 L'auto-organisation chez I. PRIGOGINE ET I. STENGERS

L'ambition de PRIGOGINE et STENGERS est de caractériser les exigences véhiculées par une nouvelle vision de la science. Pour penser l'évolution, les points suivants sont mis en avant:

- l'**irréversibilité**, c'est-à-dire *"la brisure de symétrie entre l'avant et l'après"* (I. PRIGOGINE et I. STENGERS [1988], p.46);
- l'**événement** comme porteur d'un **sens**;
- la **cohérence** que font émerger les événements, qui sont ainsi susceptibles "de transformer le sens de l'évolution qu'ils scandent " (ibid., p. 47).

En s'attachant à l'étude des processus loin de l'équilibre, ils montrent que leur irréversibilité est source de cohérences. L'apparition de cette activité cohérente de la matière - les "**structures dissipatives**" - nous impose un nouveau regard, une nouvelle manière de nous situer par rapport au système que nous définissons et manipulons. Alors qu'à l'équilibre, et près de l'équilibre, le comportement du système est, pour des temps suffisamment longs, entièrement déterminé par les conditions aux limites, nous devrons désormais lui reconnaître une certaine autonomie qui permet de parler des structures loin de l'équilibre comme de phénomènes d"auto-organisation". (Ibid., p.59). Un système auto-organisé est alors caractérisé par sa sensibilité, son instabilité et les points de bifurcation que son évolution manifeste.

Ce qui spécifie cette approche est le rôle éminent dévolu aux **fluctuations** ([5]). L'aléa est une des dimensions du fonctionnement du système, mais il ne caractérise pas la relation de celui-ci à son environnement (contrairement à la conception d'ATLAN et aux systèmes hétéronomes de VARELA):
"C'est l'activité intrinsèque du système qui détermine comment nous devons décrire son rapport à l'environnement, qui engendre donc le type d'intelligibilité qui sera pertinente pour comprendre ses histoires possibles." (Ibid. p.60).

Les modèles physiques de PRIGOGINE présentent par rapport aux modèles biologiques - surtout dans l'approche d'ATLAN - la particularité d'échapper à une certaine fatalité: tant que le système peut puiser de la néguentropie dans l'environnement, il continue à "fonctionner". A l'opposé, l'organisme biologique est promis à une mort certaine: une fois épuisées ses réserves de redondances, le premier choc en provenance de l'environnement entraînera sa destruction. En conclusion de cette partie, nous commenterons cet aspect des modèles d'auto-organisation dans la perspective des applications en sciences sociales.

Comme nous le verrons plus loin, l'optique d'ATLAN rejoint des approches en termes d'épuisement de trajectoires, que l'on retrouve par exemple dans les travaux de NELSON et WINTER, ou plus explicitement dans ceux de SILVERBERG, DOSI et ORSENIGO: l'environnement crée dans un premier temps les pressions qui génèrent la constitution d'un paradigme, lequel, sous l'effet de ces même contraintes, va ensuite s'épuiser le long d'une trajectoire pour laisser la place à un nouveau paradigme. Mais l'évolution des technologies (comme celle des espèces dans les sciences de la nature) n'obéit pas nécessairement aux mêmes règles que le déroulement de la vie des individus. Les systèmes technologiques peuvent générer leur propre dépassement par une forme de créativité intrinsèque plus proche du modèle de MATURANA-VARELA. De même, l'apparition et la disparition d'industries au sein de l'ensemble des activités productives en évolution s'interprètent mieux en termes de système autonome (ou de structures dissipatives) qu'en termes d'auto-organisation consommant des redondances.

3. L'ANALYSE DES CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES EN TERMES D'AUTO-ORGANISATION

Dans cette partie, nous analyserons plusieurs des principales contributions à l'économie du changement technologique en nous efforçant de mettre en évidence les mécanismes auto-organisateurs qu'elles proposent (ou présupposent).

L'évaluation de ces travaux pose un problème de localisation de la critique. En effet, comme nous l'avons signalé plus haut (1.2), ces approches diffèrent quant aux objectifs qu'elles s'assignent. Ainsi, il nous semble nécessaire de distinguer les critiques internes que l'on peut adresser à ces différentes approches des critiques externes qui seront centrées sur leur capacité à expliquer le processus de création technique.

Notre grille de lecture de la littérature consacrée aux changements technologiques découle d'un essai de classification selon le niveau de l'analyse (en particulier: la technologie, l'industrie ou l'ensemble du système socio-économique) et selon le modèle d'auto-organisation de référence. C'est ainsi que nous sommes amenés à distinguer cinq types de contributions, que nous relions aux problématiques suivantes:

- la dynamique d'une industrie: NELSON et WINTER; DOSI *et al.* (modèle d'ATLAN)
- le processus de compétition technologique: W.B. ARTHUR (modèle de PRIGOGINE)
- le système autonome d'une industrie: FORAY, GARROUSTE (modèle de VARELA)
- le système de la technologie: P.P. SAVIOTTI
- l'évolution globale: D. SAHAL

Dans chacun des cas nous procéderons successivement à une présentation puis à une évaluation de la contribution.

3.1 La dynamique d'une industrie comme processus d'auto-organisation

G. DOSI et L. ORSENIGO ont cherché à analyser les relations existant entre les structures industrielles et l'innovation technologique, en mettant en évidence le fait que "l'évolution de l'environnement industriel implique, de la part des agents de décision, un comportement

stratégique orienté vers la genèse de leurs propres "mutations" (par exemple les innovations technologiques et organisationnelles), comportement dont résulte un processus d'apprentissage, au cours duquel les décideurs apprennent à maîtriser leur environnement à leur avantage." (G. DOSI, L. ORSENIGO [1988], p.14). (L'idée selon laquelle les agents créent ainsi leur propre information plutôt que de l'attendre de l'environnement renvoie aussi à certaines modalités d'endogénéisation de l'incertitude analysées ci-dessous par G. LAMBERT). Précisons l'approche de DOSI et ORSENIGO:

Pour ces auteurs, une **structure industrielle** peut être décrite en termes de répartition des entreprises selon la taille, les capacités technologiques, le type d'organisation et la stratégie. L'innovation, quant à elle, concerne les modifications des processus de production et des produits fabriqués par chaque entreprise. Cette conception des rapports entre les caractéristiques structurelles du système industriel et le comportement des entreprises n'est pas en soi une nouveauté, dans la mesure où certains des précurseurs dans le domaine de l'économie industrielle ont développé un schéma séquentiel où la notion d'effet de feed-back permettait d'établir un bouclage entre les structures de marché et le comportement stratégique des firmes.

Ce qui fait la nouveauté des travaux de G.DOSI et L.ORSENIGO, suivant en cela ceux de R. NELSON et S. WINTER, provient de ce que:
- la notion de "structure industrielle" remplace celle beaucoup plus restrictive de "marché";
- la "technologie" y est définie de manière plus riche.

(i) DOSI et ORSENIGO estiment que les économistes ont trop axé leur attention sur des caractéristiques comme la taille des entreprises ou la concentration des marchés - au point de négliger les autres facteurs. Ils complètent la caractérisation des industries et des marchés par la prise en compte d'*asymétries technologiques* entre firmes, de différences de *gammes d'offres technologiques* , de diversité de comportement vis-à-vis de l'innovation (*innovateur* contre *imitateur*, par exemple), etc...

(ii) Alors que traditionnellement on définit la technologie comme un ensemble d'informations relatives à certaines combinaisons d'inputs, G. DOSI, dans une optique moins réductrice et davantage axée sur le processus d'évolution de la technologie, a proposé les concepts de *paradigme* et de *trajectoire* technologiques:
Un paradigme technologique est défini comme une configuration (*pattern*) de solutions à des problèmes technoéconomiques sélectionnés et basés sur des principes dérivés des sciences de la nature, conjointement à des règles spécifiques permettant d'acquérir de nouvelles connaissances

et de les sauvegarder, si possible, contre leur diffusion rapide chez les concurrents" (G. DOSI [1988], p. 1127).
Une trajectoire technologique est décrite comme "l'activité du processus technologique le long des arbritrages technologiques et économiques définis par un paradigme" (Ibid., p.1128).

Cette approche permet d'envisager la dynamique d'une industrie comme:
"un processus d'auto-organisation, dans le contexte duquel la technologie, les structures et les modes de comportement interviennent pour établir des trajectoires évolutionnaires relativement ordonnées pour chaque secteur industriel ou pour l'économie dans son ensemble, tandis que la morphologie du système exerce à son tour un effet de rétroaction sur les capacités, incitations et comportements des différents agents de décision". (G. DOSI et L.ORSENIGO [1988], p.24).

Le moteur de ce processus d'évolution est localisé à la fois dans l'apprentissage et l'innovation et dans la concurrence et la sélection.

* Les travaux de NELSON et WINTER, comme ceux de DOSI, ORSENIGO et SILVERBERG, s'intègrent dans la mouvance du modèle d'ATLAN. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les premiers, bien qu'ils ne se réclament pas explicitement du courant de l'auto-organisation, défendent une conception peut-être plus conforme encore aux caractéristiques du modèle de référence.

La notion de **routine** est essentielle à la compréhension du modèle théorique de NELSON et WINTER et elle permet aussi d'éclairer le rattachement de leurs travaux à l'approche en termes d'auto-organisation. Cette notion qu'a développée S. WINTER dans ses travaux sur la firme permet de rendre compte des règles de décisions - en distinguant justement les grandes décisions (comportant des éléments de nouveauté radicale dans les questions posées par l'environnement et/ou les réponses de la firme) de celles qui relèvent du choix "routinier". L'analyse des changements technologiques se fonde sur cette notion et sur l'existence affirmée de *régimes* et de *trajectoires* technologiques: sur la base d'un régime technologique une trajectoire se déploie et s'épuise. Le rôle des routines et de leur évolution est alors de permettre la mise en oeuvre des potentialités que porte en lui un régime technologique. Il est important de noter que NELSON et WINTER identifient les routines à des **gènes**. L'innovation apparaît alors comme une mutation réussie - le critère de réussite étant la *sélection* par l'environnement.

On peut considérer qu'une routine est ce qui permet de transformer, compte tenu des contraintes de l'environnement, la *redondance* inclue dans un régime donné en *complexité* que

traduit l'existence d'une trajectoire déterminée. Quand ce processus s'avère condamné du fait des limites propres à ce régime, on constate un épuisement de la trajectoire. On est ici très proche des analyses de H. ATLAN.

De même, les travaux de DOSI, ORSENIGO et SILVERBERG expliquent la création technologique comme rendue nécessaire par un phénomène d'épuisement des retombées lié à l'évolution le long d'une trajectoire. Pour une part, ces auteurs ne font que prolonger l'analyse des précédents en faisant apparaître nettement la dimension de l'auto-organisation. Dans leur approche, l'accent est également mis sur le phénomène de *variété* microéconomique, vu comme le moteur de l'évolution (au lieu de la source externe de bruit du modèle d'ATLAN), mais l'idée d'épuisement d'un certain stock de ressources internes évolutives (d'adaptation) rattache clairement l'approche au modèle de référence biologique.

Une telle théorie ne rend pas compte du processus de création lui-même dans la mesure où il reste nécessaire de recourir, compte tenu de sa définition même, au caractère exogène de la technologie, ainsi que le signalent M. AMENDOLA et J.-L. GAFFARD [1989]. Le renouvellement de la perspective théorique dans l'étude de la dynamique industrielle proposé par G. DOSI est important, mais il laisse ouverts un certain nombre de problèmes:
(i) En premier lieu, il existe une indétermination quant au processus de constitution d'un nouveau paradigme technologique. Celui-ci naît d'une évolution des connaissances scientifiques et techniques dont le processus n'est pas décrit. De même, la nature de la transformation autorisant le passage d'un paradigme technologique à l'autre n'est pas explicitée (6).
(ii) En second lieu, la spécification des caractéristiques qui assurent la "fermeture" d'une industrie est absente des travaux de G. DOSI. Ainsi, on ne peut connaître le processus qui permet le maintien des trajectoires évolutionnaires dans les limites au-delà desquelles le processus d'explosion serait engagé. Si le paradigme technologique est l'instrument de la stabilité et de la non-divergence des trajectoires, le problème se déplace dans la mesure où il est alors nécessaire de spécifier ce qui produit la stabilité d'un paradigme. Pour échapper à cette exigence, il serait nécessaire de disposer d'une définition de l'industrie qui d'une part détermine les trajectoires viables et d'autre part assure leur existence.

Au total, on peut conclure avec L. AMENDOLA et J.-L. GAFFARD que les analyses "évolutionnistes", quel que soit leur mérite par ailleurs (elles renouvellent l'analyse économique en montrant le caractère peu pertinent des préceptes de la théorie néo-classique en ce qui concerne l'étude des changements technologiques), souffrent d'une lacune théorique pour ce qui concerne

le processus de *création* de nouveauté. Avec les outils analytiques hérités de NELSON et WINTER, on dispose d'une théorie de l'évolution comme processus de sélection, mais on ne sait pas rendre compte de façon **endogène** de la **création technologique.**

3.2 La compétition technologique comme processus d'auto-organisation

W. B. ARTHUR considère que l'étude des changements technologiques doit se faire en analysant le **processus** par lequel une technologie **devient** prépondérante, plutôt que les **conditions** dans lesquelles une technologie supérieure s'impose (*technological competition*). Ce processus de compétition technologique est censé posséder quatre propriétés:

- *inefficience* globale compatible avec des choix individuels rationnels;
- *irréversibilité* des choix;
- *imprédictibilité* (la connaissance de paramètres tels que les conditions de l'offre ou de la demande est insuffisante pour prévoir le partage ultérieur du marché);
- *non-ergodicité* (ruptures brutales possibles comme conséquence d'un enchaînement de "petits événements").

W. B. ARTHUR [1988] relie aussi le processus de compétition entre technologies à l'existence de "**rendements croissants d'adoption**" d'une technologie. Ces rendements peuvent selon lui avoir plusieurs sources, mais cinq d'entre elles lui paraissent particulièrement importantes:

(i) le *"learning by using"* (N. ROSENBERG [1982]): plus une technologie est pratiquée, plus on en apprend à son propos; (nous tenons à souligner ici que le processus auto-entretenu de développement et d'amélioration qui s'ensuit joue particulièrement à travers des interactions informationnelles client/fournisseur, équipementier/utilisateur, etc...);

(ii) les *externalités de réseau* (KATZ et SHAPIRO [1985]): l'adoption d'une technologie est renforcée par divers avantages liés au fait d'appartenir à son réseau d'utilisateurs;

(iii) les *économies d'échelle dans la production* : une fois qu'une technologie est incorporée dans un produit, le coût de production de ce dernier diminue avec le nombre d'unités produites: c'est un phénomène classique d'indivisibilité (coûts fixes) qui explique que la technologie devienne plus attractive quand le niveau d'adoption s'accroît;

(iv) *les rendements croissants d'information* : une technologie plus largement adoptée est mieux

connue et mieux comprise (on peut aussi parler d'un effet d'image);
(v) l'*interrelation technologique* (M. FRANKEL [1955]): au fur et à mesure qu'une technologie est adoptée, un certain nombre de sous-technologies et de produits deviennent partie intégrante de son infrastructure.

A partir de l'affirmation de rendements croissants d'adoption, W.B. ARTHUR montre que:
- la compétition technologique ne se résoud pas nécessairement par l'adoption de la meilleure technologie au regard de critères **instantanés** de sélection;
- il est difficile voire impossible de prévoir quelle technologie sera adoptée à long terme;
- des "**petits événements**" sont susceptibles de faire basculer les choix (ici, nous pouvons faire référence à un paradigme interdisciplinaire qui n'est pas sans relation avec l'auto-organisation: la *percolation* ([7])).

Ce processus de compétition technologique est qualifié par l'auteur d'**auto-organisé** au sens de I. PRIGOGINE, I. STENGERS [1979 et 1988] et rend compte d'une caractéristique importante de la compétition entre technologies que l'on peut identifier à un processus chaotique.

* Comme dans le cas de l'approche précédente (**3.1**), on voit qu'il est difficile de solliciter l'approche de W.B. ARTHUR pour rendre compte de la **création** technologique. Cet auteur se propose d'expliquer le processus de **compétition technologique**; ce faisant, il n'aborde pas le phénomène par lequel une nouvelle technologie est introduite dans la compétition (il se limite à étudier comment elle sera ou non sélectionnée au détriment d'une ou plusieurs autres). La critique que l'on peut alors lui adresser est interne et liée à sa référence aux travaux de PRIGOGINE et STENGERS. En effet, les phénomènes de rupture sont, chez ces derniers, liés uniquement à des variables endogènes, alors que "l'histoire des petits événements" est pour W.B. ARTHUR, exogène au modèle. On dispose donc ici d'une intéressante théorie du phénomène de "lock-in" technologique, mais pas de la création technologique à proprement parler.

3.3 L'industrie comme système autonome

Les travaux sur l'industrie de D. FORAY et P. GARROUSTE [1989] s'attachent à analyser les relations entre changements technologiques et modification des formes productives. Utilisant

explicitement la théorie des systèmes autonomes de F. VARELA, cette approche met en évidence:
- en ce qui concerne le concept d'**industrie**: les conditions d'émergence, au sein du système productif, de formes productives stables au moins pour une certaine période historique;
- en ce qui concerne la nature et la fonction des **changements technologiques**: l'existence d'un ensemble de contraintes liées au maintien de cette stabilité.

L'analyse de l'**autonomisation** de formes productives passe par la recherche de cohérences sur trois plans:
(i) celui des *fonctions industrielles* (cela correspond à la manière dont une activité économique parvient à conférer aux besoins exprimés par la société une forme physique et marchande déterminée);
(ii) celui de la *technologie* (ce qui permet de mettre en évidence les principes techniques qui orientent les changements technologiques);
(iii) celui de la *structure du capital productif.*

Ces plans sont en correspondance avec les trois ensembles de caractéristiques de S. METCALFE et P.P. SAVIOTTI [1984] sur lesquels nous reviendrons en (**3.4**).

Une telle analyse permet de rendre compte du rôle essentiel des changements technologiques, dont certaines orientations, à des moments déterminés de l'évolution, vont favoriser la constitution de formes objectives autonomes (des "industries"), puis piloter leur évolution en tant qu'entité désormais bien individualisées. La morphologie du système productif apparaît comme le résultat d'un processus historique - au terme duquel certaines activités de production ont revêtu des caractéristiques leur permettant de se développer de manière autonome, c'est-à-dire de créer des industries particulières. Celles-ci ne sont cependant pas considérées comme immuables: elles peuvent disparaître lorsque les conditions qui leur confèrent leur identité sont remises en cause. Ces conditions concernent, pour une activité donnée:
- les directions spécifiques d'évolution des techniques concernées;
- les fonctions industrielles remplies et la capacité d'organiser l'évolution des produits;
- le dimentionnement de la production et la captation des innovations génériques.

P. GARROUSTE [1984] montre sur l'exemple de l'industrie de la forge qu'il est possible de rendre compte de la dynamique d'un ensemble de procédés de production à partir de la caractérisation de relations spécifiques entre:

(i) l'organisation du fonctionnement de l'ensemble des procédés techniques (caractéristique de la *rigidité* d'une filière technique)
(ii) le différentiel de rendement technique de ces procédés (caractéristique de la *cohérence* de la filière)
(iii) la *complexité* de l'ensemble formé par ces procédés.

Dans cette optique, une filière technique est définie comme un système autonome. On trouvera une analyse d'industrie (la fonderie) selon le même type d'approche dans D. FORAY[1987].

* L'approche de l'**industrie** en termes d'**autonomie** s'inscrit explicitement dans le courant initié par H. MATURANA et F. VARELA. Elle définit les conditions d'émergence et de maintien de formes productives stables compte tenu des orientations des changements technologiques. Elle permet d'exprimer l'éventail des variations technologiques qu'une industrie est susceptible de supporter sans disparaître.

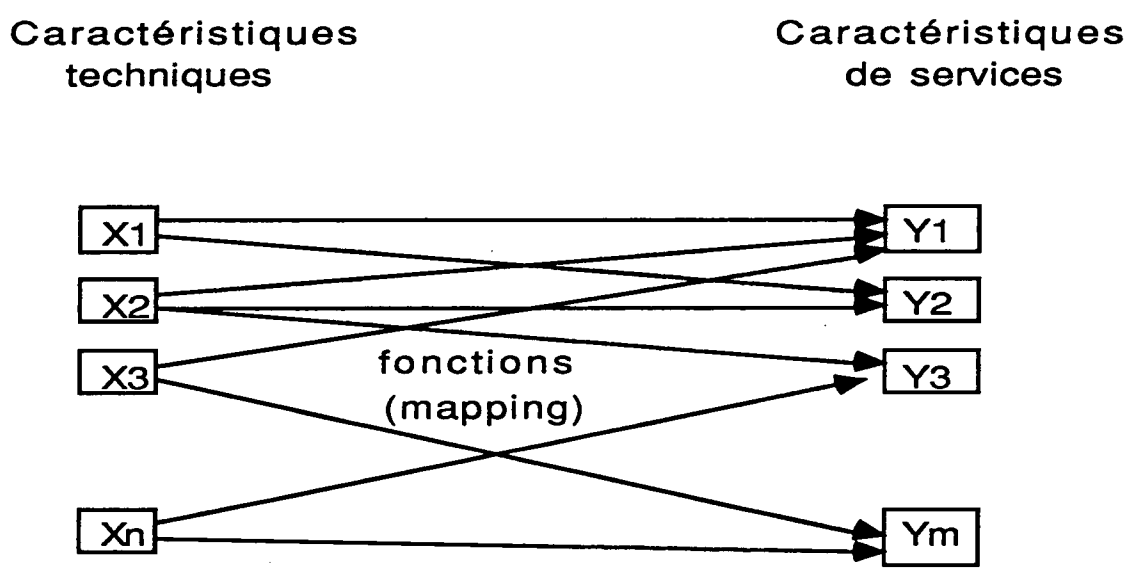
Mais il est impossible de la solliciter pour expliquer le processus par lequel une technologie, définie sur la base de principes techniques radicalement nouveaux, se met en place. Elle ne peut que déterminer les conséquences de son introduction, au niveau de la structuration du système de production. Elle apparaît aussi, à ce titre, comme une approche plus normative que positive.

2.4 La technologie comme système auto-organisé

P.P. SAVIOTTI [1986] propose de dépasser les approches évolutionnistes en utilisant les résultats de la théorie des systèmes. Selon cet auteur:
"la meilleure façon de comprendre la relation entre changement technologique et développement économique consiste à séparer analytiquement ces deux groupes de phénomènes afin de mieux comprendre leurs interactions. Ainsi la séparabilité analytique du changement technologique ne doit en aucun cas être considérée comme s'inscrivant dans le cadre d'une théorie exogène du changement technologique, mais comme permettant de mieux comprendre l'interaction entre le changement technologique et le développement économique". (op. cit. p.774)

Cet article prolonge l'analyse de S. METCALFE, P.P. SAVIOTTI [1984], laquelle s'inscrivait dans la lignée des travaux de K.J. LANCASTER [1966] et Z. GRILICHES [1971]. METCALFE et SAVIOTTI établissent une distinction entre trois ensembles reliés de caractéristiques qui seront appelées caractéristiques *techniques, de procédés et de services.*

"Un produit pourrait être décrit comme une combinaison de deux ensembles de caractéristiques, appelées respectivement caractéristiques *techniques* (Xi) et *de services* (Yi), et par une *configuration de fonctions* ("pattern of mapping") reliant les deux ensembles de caractéristiques mentionnés plus haut." (S. METCALFE, P.P. SAVIOTTI [1984], p. 142).



Cette représentation permet de définir les dimensions possibles d'un changement technologique, à savoir:

- un changement dans les valeurs absolues des Xi
- une modification des poids relatifs des Xi
- un changement dans la configuration des fonctions qui mettent en correspondance (Xi) et (Yj)
- un changement dans le poids relatif des Yj
- un changement des valeurs absolues des Yj

Pour METCALFE et SAVIOTTI, cette approche permet d'améliorer la conceptualisation des processus de substitution technologique et de spécialisation ainsi que des phénomènes franchement qualitatifs comme ceux touchant à l'émergence de produits nouveaux (en fait, elle

rend possible une représentation des relations entre environnement, innovations de produits et innovations de procédés). Elle aboutit aussi à la redéfinition des concepts de **régime** et de **trajectoire** technologiques, le premier étant considéré comme "une liste donnée de caractéristiques techniques Xi", le second comme "une structure (pattern) d'amélioration des différents Xi au cours du temps." (op. cit., p.145).

Cette perspective est intéressante dans la mesure où elle permet une représentation explicite du changement technologique dans laquelle les caractéristiques techniques offrent une représentation "de l'intérieur de la boîte noire". La technologie y apparaît comme un système complexe conforme à la représentation de H.A. SIMON [1981]: possédant un "environnement interne", un "environnement externe" et un ensemble de buts. Les *caractéristiques techniques* d'une technologie en décrivent la structure interne et les *caractéristiques de services* définissent l'interface avec l'environnement efficace de la technologie (la niche dans la terminologie des éthologues).

Le problème est alors de savoir comment une technologie s'adapte à son environnement. SAVIOTTI utilise ici la notion d'**homéostasie** pour montrer qu'un système ouvert qui se trouve dans un état stable tend à préserver cet état, en compensant les perturbations consécutives aux modifications de son environnement, ou à générer un nouvel état stable. Ainsi, tant que l'ampleur des modifications de l'environnement est inférieure à une limite donnée, l'évolution des variables internes est faible, sinon nulle. Au-delà de cette limite, le système est menacé de destruction.

SAVIOTTI peut alors rendre compte, dans le cadre du changement technologique, de l'émergence de "guideposts", schèmes dominants susceptibles d'orienter des trajectoires technologiques: les apports de NELSON, WINTER et DOSI apparaissent englobés dans l'approche de P.P. SAVIOTTI [1986].

L'analyse du processus par lequel un système s'auto-régule revêt dans cette optique un caractère essentiel. Suivant les travaux de W.R. ASHBY [1951] sur la variété requise pour le contrôle d'un système, SAVIOTTI considère qu'une technologie s'adapte d'une part en **augmentant sa propre variété** et d'autre part **en réduisant celle de son environnement**. Ce processus opère grâce à l'existence de variables adaptatives qui permettent de protéger les variables essentielles du système en gérant les relations du système avec son environnement. "Les changements au niveau des variables non essentielles, qui améliorent l'adaptation du système à son environnement , sont nécessaires pour maintenir la stabilité des variables essentielles et ainsi le régime technologique." (P.P. SAVIOTTI [1986], p.781). Ainsi, une technologie, en tant que système complexe, cherche à augmenter son rapport de variété avec son environnement en "internalisant des variables adaptatives et en réduisant la variété de

l'environnement externe". (Ibid. p.783).

* L'analyse de P.P. SAVIOTTI (que l'on peut dissocier, en ce qui concerne notre propos, de celle qu'il mène en compagnie de S. METCALFE), paraît critiquable sur le plan de sa capacité à expliquer le contenu des technologies nouvelles. En effet, on peut considérer que SAVIOTTI inscrit ses travaux d'une part dans la logique des "approches en termes d'épuisement", et d'autre part dans celle de l'autonomie: il évalue la capacité d'une technologie à évoluer en modifiant à la fois son environnement et ses variables non essentielles. Il considère alors que l'émergence du nouveau en matière de technologie peut s'exprimer comme le résultat d'une difficulté à survivre du système. A ce titre il ne peut, pas plus que les approches qu'il englobe ou "synthétise", rendre compte du contenu effectif de la nouveauté technologique. Il se limite à déterminer les conditions d'une rupture technologique et à la localiser dans le temps.

3.5 L'évolution comme processus global d'auto-organisation

Pour D. SAHAL, le processus de l'évolution technologique ne saurait être compris en faisant abstraction du fonctionnement global des sociétés. Cependant, "la logique de l'innovation technologique n'est pas entièrement réductible à des variables de nature socio-économique" (D. SAHAL [1981], p.14). Il faut tenir compte de certaines variables physiques, spécifiques du point de vue technologique, et de variables de nature purement économique. Cette conception permet de considérer que l'analyse économique peut prendre comme objet le phénomène du changement technologique - à condition que les résultats de cette appropriation restent compatibles avec ceux qu'obtiennent les autres types d'analyses propres à l'économie.

Cette approche, chez SAHAL, est liée à une certaine conception de la réalité: une réalité qui serait comme "gouvernée" par la terminologie employée pour la décrire ([8]). Ceci permet à l'auteur de présenter une analyse **endogène** des changements technologiques et de critiquer les conceptions traditionnelles de la technologie, pour introduire une conception évolutionniste de l'activité innovative basée sur les notions de "guideposts" et "d'avenues" technologiques. Celle-ci est ancrée dans une approche systémiste de la technologie et s'appuie sur l'existence de configurations émergentes du point de vue de la conception des machines, qui déterminent l'éventail des évolutions techniques possibles.

De ce point de vue, les travaux de D. SAHAL fournissent une approche intéressante et différente de la dynamique de l'auto-organisation. La notion proposée de *learning by scaling* correspond à l'image de la **croissance d'un organisme par stades successifs**: la croissance plus ou moins homothétique (à structure identique) est impossible au-delà de certains seuils en raisons de lois naturelles fondamentales (par exemple les non-linéarités dont l'archétype géométrique est le rapport surface/volume). Dans ce modèle d'auto-organisation, ce n'est pas un bruit exogène qui impose les restructurations, mais diverses nécessités logiques apparaissant sur le chemin de la croissance. Le moteur premier reste la croissance.

* Bien que les apports de NELSON,WINTER et DOSI s'apparentent à l'analyse des changements technologiques de SAHAL, notamment à travers les concepts de paradigme et de trajectoire technologiques, il existe une différence notable dans la mesure où SAHAL cherche à fonder théoriquement l'apparition de la nouveauté radicale (ses "guidepost"technologiques). Pour lui, c'est l'**évolution** elle-même qui est un **processus auto-organisé**.

La caractéristique essentielle des travaux de SAHAL est qu'ils mettent en évidence le rôle déterminant de la **conception des machines**. On rentre ainsi dans le domaine de la réalité proprement technique des changements technologiques. Ce faisant, il nous semble qu'un fondement plus solide est conféré aux notions de *régime* et de *paradigme* en déterminant leur possibilité d'émergence au niveau technique. En ce sens on peut considérer que l'approche de SAHAL complète les approches évaluées précédemment.

La question que l'on peut poser à une telle approche a trait à la logique d'évolution de la conception des machines, ce qui doit se traduire non plus par une analyse de la technologie comme système, par opposition à la vision traditionnelle, mais par la mise en évidence des relations entre artefacts. A défaut, on peut douter de la capacité d'une telle approche à rendre compte non pas seulement de la forme que prend le processus de création technologique mais aussi du contenu des nouveaux artefacts.

En conclusion, si l'approche en termes d'auto-organisation renouvelle (au même titre que celle des évolutionnistes dont elle se nourrit et qui éclaire certains de ses développement) l'analyse des changements technologiques et plus fondamentalement l'analyse économique, elle semble avoir des difficultés à rendre compte sur une base proprement endogène du processus de création technologique. A ce titre, de telles conceptions apparaissent même en recul par rapport aux travaux de N. ROSENBERG qui affirme, à travers l'analyse du processus de convergence

technologique et du *learning by using*, une conception de la création technologique comme résultat du processus de diffusion intersectoriel des technologies. Dans une optique différente, la conception de la technologie comme résultant d'un processus de création que développent M. AMENDOLA et J.-L. GAFFARD permet, en s'émancipant dans une perspective hicksienne de toute référence à la réalité physique du support des technologies, de proposer une approche endogène de la dynamique de l'innovation.

4. REMARQUES FINALES

Si le modèle de l'auto-organisation prend une place croissante sur l'ensemble du champ de l'économie, c'est tout particulièrement vrai en économie du **changement technique** comme nous espérons l'avoir montré ci-dessus. Soulignons un fait important: la technologie est de plus en plus au centre des **stratégies** industrielles; or, le progrès technique est un **apprentissage** (sauf à caricaturer ce processus en exogénéisant totalement l'invention). On retrouve donc bien les deux dimensions de l'innovation comme phénomène d'auto-organisation:
- auto-information, car l'apprentissage effectif suppose la matérialisation de l'information nouvelle dans la firme (le "développement" d'un processus, d'un produit ou d'un marché nouveau correspond à une véritable mutation organique de la firme);
- mise en forme de l'environnement (stratégie), car l'innovation n'est réussie que lorsque la firme a imposé son nouveau standard dans une partie du réseau.

N. ROSENBERG [1982] a même montré que l'innovation se constitue très souvent au niveau de l'interaction des agents: le *learning by using* se distingue du *learning by doing* de K. ARROW en ce que l'apprentissage est autant le fait de l'utilisateur que du producteur, et la capacité pour le producteur d'assimiler cette **information en retour** est un facteur crucial de progrès. E. ZUSCOVITCH [1985] a montré à propos de la diffusion intersectorielle des matériaux synthétiques que l'**imitation**, lors de la phase de diffusion d'une idée nouvelle, constitue un véritable processus d'apprentissage; l'innovation se présente alors comme un phénomène progressif, de caractère méso plus que microéconomique. On pourrait donner de nombreux autres exemples à l'appui de la thèse selon laquelle le changement technique est plutôt un phénomène de réseau: une **auto-organisation du système technico-économique.**

Cette observation renvoie à une question: celle de l'autonomie de la sphère technique. R. AYRES [1988] arrive à la conclusion que, s'il y a autonomie, cela ne peut concerner que l'ensemble (Economie + Technosystème). Ajoutons que, déjà privés ainsi de déterminisme technologique, nous risquons de ne pas avoir non plus de déterminisme technico-économique strict: les systèmes complexes possèdent de multiples possibilités d'auto-organisation à chaque étape de développement; tout au plus pourrait-on anticiper les "attracteurs" de cette évolution "chaotique", c'est-à-dire décrire des scénarios d'évolution sans possibilité de trancher (J. LESOURNE dit à propos du processus d'auto-organisation qu'il sélectionne sa trajectoire d'équilibre dans un ensemble vaste de futurs possibles). Pour reprendre la classification de B. WALLISER que nous avons citée en entrée, les modèles systémiques se distinguent des constructions traditionnelles des économistes en remplaçant l'équilibre unique par un ensemble d'équilibres possibles définis en termes d'anticipations autoréalisatrices. La notion de cohérence des visions des agents devient centrale plutôt que celle d'optimum, ce qui exclut le déterminisme absolu (économique comme technologique) et implique une analyse en termes de scénarios possibles ("futuribles") sur le champ global technico-économique.

NOTES

(1) Voir en particulier les Actes du Colloque de Cerisy (P. DUMOUCHEL, J.-P. DUPUY [1983]) et le numéro spécial d'Economie Appliquée (cité sous J. LESOURNE [1985]).

(2) En fait, les aller-retour sont incessants entre agent et système. Pour ne prendre qu'un exemple (J.-A. HERAUD [1988b]) : l'accroissement de l'instabilité environnementale en matière d'énergie a amené les firmes à adopter un nouveau comportement qui est celui de la polyénergie; en retour, l'existence d'équipements polyvalents a entraîné une innovation institutionnelle: le développement des marchés spots de l'énergie. Ce nouvel environnement marqué par la variété et l'incertitude a par ailleurs incité certains agents qui n'y trouvent pas leur intérêt à rechercher des formes de contrats particuliers pour échapper à la forme du marché. On retrouve ici deux *ingrédients* des systèmes auto-organisés: (i) des effets en retour - non pas programmés une fois pour toutes dans le système, mais reposant sur un apprentissage conjoint des agents et du système; (ii) le développement de formes nouvelles d'interactions entre agents, en dehors du cadre institutionnel habituel.

(3) Le problème terminologique réside dans l'usage habituel (à la suite d'auteurs comme PIAGET) des mots "système" et "structure" qui pousserait à les utiliser à la place, respectivement, de "structure" et "organisation" dans l'acception de MATURANA.

(4) Pour une récente mise au point, voir : P. WATZLAWICK (ed.), "L'invention de la réalité. Contributions au constructivisme", Seuil, 1988.

(5) Ceci est à rapprocher de l'inspiration que PRIGOGINE et STENGERS trouvent dans la théorie des catastrophes de R.THOM. Cependant, là où ce dernier cherche à réintroduire une vision déterministe en élaborant une méthode qui permette de répertorier toutes les catastrophes possibles, les premiers affirment une conception de la réalité où le radicalement nouveau peut être pensé comme résultant du mouvement propre d'un système.

(6) L'indétermination quant à l'existence ou non d'une possibilité de concurrence entre deux paradigmes peut être rapprochée de la confusion entretenue entre la notion de *paradigme* introduite par T. KUHN et celle de *programme de recherche scientifique* due à I. LAKATOS.

(7) Un des premiers articles de synthèse sur ce sujet est celui de P. GILLE de GENNE: "La percolation: un concept unificateur", La Recherche, novembre 1976.

(8) Une telle conception de la réalité peut être rapprochée de celle que développe J. HAMBURGER [1984], et qu'il relie au concept de *césure* : "discontinuité qui interdit au chercheur d'unifier totalement les résultats qu'il obtient sur le *même* objet à des échelles et avec des méthodes différentes." (p.40).

BIBLIOGRAPHIE

L. AMENDOLA, J.L. GAFFARD [1988]
"La dynamique économique de l'innovation, Economica.

W.B. ARTHUR [1988]
"Competing technologies: an overview", in G. Dosi et al., "Technical change and economic theory", Pinter.

H. ATLAN [1972]
"L'organisation biologique et la théorie de l'information", Hermann.

H. ATLAN [1979]
"Entre le cristal et la fumée - essai sur l'organisation du vivant", Seuil.

H. ATLAN [1986]
"Créativité biologique et auto-création du sens", in "Cognition et complexité", Cahiers du C.R.E.A., n°9, pp. 145-189.

R. AYRES [1988]
"Self-Organization in Biology and Economics", International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg (Austria), janvier.

G. DOSI [1988]
"Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation", Journal of economic Literature, vol. XXVI, pp.1120-1171.

G. DOSI, L. ORSENIGO [1988]
"Structure industrielle et évolution technologique, in A. Heertje (ed.), "Innovation, technology and finance", Blackwell.

H.L. DREYFUS [1979]
"What computers can't do: a critique of artificial reason", Harper and Row.

P. DUMOUCHEL, J.-P. DUPUY [1983] (eds.)
"L'auto-organisation. De la physique au politique", Actes du Colloque de Cerisy, Seuil.

F. FLORES, T. WINOGRAD [1989]
"L'intelligence artificielle en question", P.U.F.

D. FORAY [1987]
"Innovations technologiques et dynamique industrielle: l'exemple de la fonderie", Presses Universitaires de Lyon.

D. FORAY, P. GARROUSTE [1989]
"Dynamique du changement technologique et stabilité des formes productives", Journées européennes de l'AFSE, Strasbourg.

M. FRANKEL [1955]
"Obsolescence and technological change in a maturing economy", American Economic Review, vol. 45, pp.1296-1319.

P. GARROUSTE [1984]
"Filières techniques et économie industrielle: l'exemple de la forge", Presses Universitaires de Lyon.

Z. GRILICHES [1971]
"Price indexes and quality change", Harvard University Press.

J. HAMBURGER [1984]
"La raison et la passion, réflexions sur les limites de la connaissance, Seuil.

J.-A. HERAUD [1988 a]
"Routine et innovation dans un système économique auto-organisé", Fundamenta Scientiae, Vol 9, 2/3.

J.-A. HERAUD [1988 b]
"La polyénergie: un exemple de transmission des contraintes de flexibilité" in P.COHENDET et P. LLERENA (éds.), "Flexibilité, information et décision", Economica.

M. KATZ, C. SHAPIRO [1985]
"Network externalities, competition and compatibility", American Economic Review, vol.75, pp. 424-440.

K. LANCASTER [1966]
"A new approach to consumer theory", Journal of Political Economy, vol. 74, pp. 132-157.

J. LESOURNE [1985]
"A la recherche d'une théorie de l'auto-organisation dans les sciences sociales", Economie Appliquée, XXXVII, 3/4, pp. 559-567.

H. MATURANA [1974]
"Stratégies cognitives", in E. Morin, M. Piatel-Pamarini (eds.), "L'unité de l'homme; 2. Le cerveau humain, Seuil.

S. METCALFE, P.P. SAVIOTTI [1984]
"A theoretical approach to the construction of technological output indicators", Research Policy, 13, pp. 141-151.

R. NELSON, S. WINTER [1982]
"An Evolutionary Theory of Economic Change", Harvard University Press.

R. PASSET [1979]
"L'économique et le vivant", Payot.

I. PRIGOGINE, I. STENGERS [1979]
"La nouvelle alliance, métamorphose de la science", Gallimard.

N. ROSENBERG [1982]
"Inside the Black Box: Technology and Economics", Cambridge University Press.

D. SAHAL [1981]
"Patterns of technological innovation", Addison-Wesley.

D. SAHAL [1983]
"Invention, Innovation and Economic Evolution",
Technological Forecasting and Social Change, N°23, pp. 213-235.

P.P. SAVIOTTI [1986]
"Systems theory and technological change", Futures, pp. 773-786.

G. SILVERBERG, G. DOSI, L. ORSENIGO [1988]
"Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organization Model",
The Economic Journal, 98, décembre, pp. 1032-1054.

F.J. VARELA [1979]
"Principles of biological autonomy", North-Holland.

F.J. VARELA [1989a]
"Autonomie et connaissance: essai sur le vivant", Seuil.

F.J. VARELA [1989b]
"Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives", Seuil.

B.WALLISER [1988]
"Systémique et économie", Revue Internationale de Systémique,
Vol. 2, N°3, pp. 245-260.

U. WITT [1985]

"Coordination of Individual Economic Activities as an Evolving Process of Self-Organization", Economie Appliquée, XXXVII, 3/4, pp. 569-595.

E. ZUSCOVITCH [1984]

"La diffusion intersectorielle des matériaux synthétiques: évolution et bilan économique" in P. COHENDET (ed.), "La chimie en Europe", Economica.

NATURE DE L'INFORMATION, EVALUATION ET ORGANISATION DE L'ENTREPRISE

par

Patrick COHENDET et Patrick LLERENA

Comme le souligne O. FAVEREAU (1989), la question de l'**organisation** dans la théorie économique est celle d'une éviction ("implicite et préventive, fort discrète mais toujours recommencée"). Dès l'origine de la constitution de la science économique, le "marché" a occupé la place de la catégorie fondatrice. Or, depuis plusieurs années, un certain nombre de travaux issus d'origine très différente (analyse des conséquences des marchés incomplets et de la concurrence imparfaite, théorie des incitations en présence d'asymétrie d'information, théorie des contrats, etc ...) tendent à replaçer l'organisation au centre des réflexions de la théorie économique. L'objectif de cet article est d'apporter un nouvel éclairage à la reconnaissance de l'importance de la notion d'organisation en tant que catégorie fondatrice de la science économique, en analysant de manière approfondie les rapports entre la firme et son environnement, et de façon plus précise en montrant **la dépendance de la structure de la firme par rapport à la nature des informations issues de son environnement.** Deux types extrêmes d'environnement économique (l'environnement économique d'une firme étant caractérisé à un moment donné par un certain état de la demande, de la concurrence et de la technologie) peuvent être distingués. Premièrement, un environnement économique caractérisé par un régime d'information "**stable**", au sens où les informations issues de l'envionnement peuvent être appréhendées sous la forme de fréquence d'apparition ou de loi de probabilité connues par les agents économiques. On peut montrer dans ce cadre (qui est celui de la théorie traditionnelle) qu'il existe une indépendance au sens large entre l'organisation de l'entreprise et l'évolution de l'environnement. Même si dans une telle situation, selon la variabilité de l'environnement, une firme peut effectivement se doter d'une certaine souplesse d'adaptation à

travers une organisation "flexible" (firme multiproduits, recherche d'économie de variété, mise en parallèle de processus de production, etc ...), cette forme d'adaptation de l'entreprise est déterminable une fois pour toutes grâce à l'hypothèse du caractère prévisible de l'information. Il est alors aisé dans un tel contexte d'isoler, d'un côté, ce qui relève des mécanismes économiques de marché (détermination des quantités à produire en fonction des prix, détermination des inputs, etc ...) et de l'autre, de la gestion proprement dite de l'organisation dont la structure est donnée. Deuxièmement, à l'autre extrême, on peut considérer un environnement caractérisé par un régime d'information fondamentalement **perturbé**, c'est-à-dire un contexte où les variables de l'environnement relèvent d'une incertitude au sens pur. Dans ce cadre, les individus ne peuvent plus anticiper l'évolution des variables de leur environnement. Ils sont contraints d'effectuer un processus d'apprentissage de l'information, de sorte que l'hypothèse d'indépendance entre l'organisation et l'évolution de l'environnement ne tient plus. L'organisation devient une variable endogène au décideur, en même temps que la frontière entre la firme et le marché est remise perpétuellement en cause. L'impossibilité qui en résulte de séparer l'analyse interne des organisations et l'analyse des mécanismes cognitifs individuels peut être interprétée selon les travaux fondamentaux de SIMON sur le sujet. Mais de redoutables problèmes théoriques demeurent, notamment ceux que pose la prise en compte de dispositifs cognitifs collectifs comme réponse appropriée à un environnement d'information perturbé pour atteindre une certaine efficacité minimale.

Avant d'aborder ces problèmes, on étudiera tout d'abord dans une première partie (**L'évolution des systèmes de production : d'un régime d'information stable à un régime d'information perturbée**), les raisons pour lesquelles on peut légitimement émettre l'hypothèse que les organisations industrielles sont amenées à affronter des environnements de plus en plus instables. Dans une seconde partie (**La recherche de flexibilité et l'évaluation en information perturbée**), on montrera pourquoi face à un environnement caractérisé par un régime d'information de plus en plus perturbée, la recherche de flexibilité (au sens dynamique de ce terme) apparaît être un objectif de plus en plus fondamental, autour duquel se réordonnent les autres objectifs de l'entreprise, et à partir duquel doivent aussi se reconstruire les méthodes et les critères d'évaluation. Car le passage d'un environnement stable à un environnement perturbé ne remet pas seulement en cause les objectifs mêmes de l'entreprise, il remet aussi en cause les moyens mêmes d'évaluer les décisions à prendre pour atteindre ces objectifs et de comparer les performances des unités industrielles. Une dernière partie s'attachera enfin à la question de l'**organisation** et de sa structuration face

à un environnement d'information perturbé (pour atteindre, en particulier, une certaine efficacité minimale). Dans ce contexte, on montrera le rôle des procédures d'**intégration (Le rôle des procédures d'intégration comme facteur clé de fonctionnement des systèmes de production).**

I. L'EVOLUTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION: D'UN REGIME D'INFORMATION STABLE A UN REGIME D'INFORMATION PERTURBE

Depuis le début de l'ère industrielle, la conception des systèmes de production n'a jamais cessé d'évoluer vers des niveaux de complexité de plus en plus élevés. De manière schématique, si l'on admet qu'un système de production à un moment donné se caractérise par la donnée d'un certain type d'organisation, pour répondre à un certain type d'environnement économique (défini par la donnée de l'état de la demande, de la concurrence et de la technologie) selon un schéma de référence classique (cf. Figure 1). Il est possible de distinguer trois stades successifs dans l'évolution des modèles de production : le modèle de "standardisation", puis le modèle de "variété", puis enfin le modèle de "réactivité". L'interprétation de ces trois modèles successifs, qui est décrite ci-dessous, fait apparaître deux phénomènes essentiels : le premier est la "montée en puissance" de la notion de flexibilité, concept multidimensionnel qui devient progressivement l'un des objectifs majeurs des organisations au fur et à mesure que celles-ci expérimentent des niveaux de complexité élevés ; et le second est **la profonde rupture qui se produit dans la transition entre le modèle de variété et le modèle de réactivité, en raison d'un changement radical dans la manière dont circule le flux d'informations entre l'entreprise et son environnement.** Jusqu'au modèle de réactivité, le système d'information pouvait, en effet, être considéré comme stable et répétitif; à partir du modèle de réactivité, il devient essentiellement perturbé. Or, on montrera que c'est à cause de cette dernière caractéristique que la conception de l'organisation de l'entreprise doit être nécessairement profondément repensée dans l'optique d'une organisation globale "intégrée".

I.1. Le modèle de standardisation ou le monde de la certitude

Durant une longue période, le principe économique dominant, autour duquel se sont structurés les différents modèles économiques et les représentations de la firme, a été celui établi par Adam Smith [1776], affirmant l'existence d'un **cercle vertueux** entre extension du marché - accroissement de la productivité - baisse des prix - extension des marchés etc... Le modèle économique de l'entreprise correspondant le mieux à ce principe fondamental est très certainement le modèle de **standardisation** (dont l'archétype est le modèle dit "taylorien-fordien") que l'on peut décrire de la manière suivante :

L'environnement économique du modèle de standardisation est défini par une demande mono-caractéristique (ou à caractéristiques réduites) en croissance régulière, par un régime de concurrence fondé sur les prix (via les quantités produites) et par une technologie axée sur le développement du machinisme accélérant la division du travail. A cet environnement économique correspond une **organisation** de l'entreprise (organisation pyramidale, avec séparation des fonctions, cloisement des services, etc...) caractérisée par le respect (à l'échelle microscopique) du principe fondamental d'extension du marché - division du travail, à travers la recherche de rendements d'échelle. Un aspect remarquable est que les normes de gestion, qui se mettent progressivement en place, viennent épouser cette même logique. Ainsi la division du travail permet à chaque étape de son développement de dégager une architecture précise des tâches. Or chaque tâche correspond à une activité génératrice de coûts, activité que l'on attribue soit à un homme, soit à une machine, soit à un couple homme-machine. Alors, il est logique dans ce cadre de centrer les indicateurs de performance sur le travail direct, et de ranger ces indicateurs dans la classe des mesures de la productivité des facteurs de production. A partir de cette notion de travail direct, vont s'organiser les principes d'évaluation de la comptabilité analytique, en se fondant sur l'hypothèse que pour chaque sous-ensemble de production, le coût de travail direct est une part importante du coût total : cette hypothèse implique tout d'abord que

c'est dans le coût du travail direct que résident les principaux "gisements" de productivité (les économies de coûts potentielles) ; cette hypothèse fournit aussi des clefs de répartition cohérentes pour l'affectation des coûts indirects (les coûts indirects sont affectés à une activité au prorata des coûts directs induits par cette activité et une affectation erronée d'un coût indirect n'aura donc qu'une importance limitée en raison de sa part relativement faible dans le coût global).

Dans le cadre du modèle de standardisation, la cohérence du système d'évaluation comptable permet non seulement l'évaluation des performances (ex post), elle permet aussi de fonder les prises de décisions d'investissement (ex ante). En effet, pour les investissements, le système comptable est en mesure de dégager des comptes prévisionnels, et notamment des cash-flows anticipés permettant le calcul des critères financiers classiques (délai de retour, valeur actualisée nette, taux interne de rentabilité, etc...). Ces critères sont d'autant plus pertinents que le caractère séquentiel des différentes phases productives, séparées les unes des autres, implique en première approximation une propriété d'additivité des coûts relatifs aux différentes phases productives. Il est ainsi possible de cerner la contribution relative de chaque phase productive au coût total de production, et donc de mesurer l'intérêt de remplacer un type d'équipement par un autre. Enfin, la possibilité de mesurer assez précisemment l'intérêt d'investir dans une machine particulière est facilitée par le fait que les machines sont, dans un tel modèle, dédiées à un produit donné (qui, lui même, a un cycle de vie généralement long).

De plus, cette cohérence globale n'est pas seulement interne, elle est aussi externe. Ce sont les mêmes critères financiers qui fondent les méthodes de valorisation des entreprises par leurs partenaires (banques, actionnaires, acheteurs potentiels, etc...). Ainsi, on "voit" l'entreprise de la même façon que l'on soit un observateur interne ou un observateur externe. Si une telle cohérence est possible et envisageable, cela provient d'une forme de "consensus" sur le devenir de l'entreprise, sur la puissance du mécanisme sous-jacent d'extension du marché - division du travail. Cette confiance diffuse implique une certaine convergence des anticipations, l'émergence d'une "quasi-certitude" et par conséquent une fiabilité et une homogénéité des méthodes d'évaluation.

Le modèle de standardisation se caractérise donc par une remarquable cohérence entre les principes économiques qui le fondent et les normes de gestion qui définissent la conduite des

entreprises. Or, l'origine de cette cohérence doit être mise en lumière, car elle constitue le fondement même du fonctionnement du modèle. **Cette cohérence repose, en effet, sur la perception par l'entreprise d'un système d'information stable en provenance de l'environnement économique (cf. la figure 1).** Stable est ici pris dans le sens de répérable par des lois de probabilités ou des fréquences d'apparition connues du décideur. Qu'il s'agisse des prix, des stratégies des concurrents, de l'état de la technologie, le fonctionnement du modèle de standardisation suppose la réception par l'entreprise d'informations répétitives et prévisibles qui autorisent une caractéristique fondamentale, à savoir que **l'organisation de la firme peut être alors conçue indépendamment de l'état de l'environnement.** Cette propriété (qui est l'une des hypothèses de base de la théorie économique néo-classique) délimite une frontière claire entre l'univers économique (le marché) et celui de la gestion (l'organisation de la firme). Les rôles sont non seulement clairement distribués, ils sont aussi étroitement complémentaires.

I.2. Le modèle de variété ou le monde du divers

Les efforts réalisés dès 1920 par General Motors, pour diversifier sa gamme de production en pratiquant la concentration par intégration technique, économique et financière pour acquérir une taille suffisante permettant la mobilisation de ressources financières à affecter au développement de nouveaux modèles, ouvrent une deuxième période : celle que l'on peut qualifier de **variété programmée** qui s'est étendue au moins jusqu'au début des années soixante. La transition progressive d'une demande homogène vers une demande variée, incertaine et exigente sur la qualité des produits, apparaît comme une tendance irréversible de l'environnement économique. Les utilisateurs réclament ainsi non seulement des caractéristiques personnalisées, mais aussi exigent de plus en plus que des "services" soient davantage incorporés dans les produits (délais de livraison courts, service après-vente, maintenance, fiabilité, etc ...). Naturellement, cette exigence en matière de services est devenue l'un des facteurs décisifs de concurrence entre entreprises. Par ailleurs, le développement technologique des machines à commande numérique et des centres d'usinage, en permettant aux machines d'effectuer différents types d'opérations tout en réduisant les difficultés de reconversion des lignes, a considérablement facilité la transition vers un modèle de variété. Sur le plan théorique, le modèle de variété repose sur la notion de "economies of scope" (économies de champ, ou de

variété) qui apparaissent lorsque le coût de combiner deux (ou plusieurs) lignes de production, dans une unité de production, est inférieur à celui de les produire séparément.

L'ensemble des caractéristiques qui viennent d'être évoquées montre de notables différences entre le modèle de variété et le modèle de standardisation. Toutefois, sur un point tout à fait fondamental, les deux modèles coïncident toujours : à savoir qu'il n'y a, dans aucun des modèles, de remise en cause de la logique d'indépendance entre l'organisation de la firme et l'état de l'environnement. Et **le maintien de cette logique provient de ce que le flux d'information, issu de l'environnement, peut être considéré comme stable, prévisible, répétitif, rendant les décisions programmables.** Il n'y a pas de remise en cause radicale de la cohérence entre les principes économiques et les normes de gestion. Par ailleurs, dans le modèle de variété, on assiste à la même séparation entre les services fonctionnels et les services de production. Naturellement, un certain nombre d'adaptations sont nécessaires pour permettre à la structure d'organisation, dans le modèle de variété, de rester économiquement viable. Ainsi, le concept de "différentiation retardée", qui signifie une recherche de standardisation des composants à l'amont pour permettre une plus grande diversité à l'aval, constitue l'une des formes d'adaptation requise pour assurer la viabilité du système.

Sur le plan théorique, il est remarquable de rappeler que l'on peut démontrer que, lorsque les économies de variété sont suffisamment importantes, un phénomène d'économie d'échelle peut être obtenu même si sur chacune des lignes de production,considérée individuellement, des rendements constants voire décroissants sont constatés. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas nécessairement incompatibilié entre la variété des produits et les économies d'échelle. En d'autres termes, le nouveau modèle de variété possède la capacité d'"exprimer" les avantages du modèle de standardisation.

I.3. Le modèle de réactivité ou le monde de l'incertain

A partir des années 60, un certain nombre d'entreprises développent une stratégie d'organisation basée sur la "réactivité", en privilégiant la réduction des délais de réponse de l'entreprise aux sollicitations extérieures. Cette stratégie correspond, d'une certaine manière, à un troisième stade de l'état de la concurrence : après la concurrence par les prix et quantités

correspondant au modèle de standardisation, puis le stade de la différenciation dans le régime de variété, la concurrence se déplace sur les délais de réaction (tout en essayant naturellement de continuer à répondre à une demande de plus en plus variée). Ce déplacement de la concurrence vers la notion de délai de réaction correspond à de nouvelles exigences, apparues au niveau de la demande, où les utilisateurs réclament non seulement des caractéristiques personnalisées mais exigent de plus en plus que des services rapides et fiables soient davantage incorporés dans les produits (délais de livraison courts, services après vente, etc...). Par ailleurs, les progrès de la technologie, notamment à travers les développements de la microélectronique, de l'informatique industrielle et des logiciels associés (CAO, CFAO, etc...) ont donné aux entreprises les moyens techniques de fonctionner dans des délais plus courts.

Pour s'adapter à un environnement économique de ce type, les entreprises se trouvent contraintes de bouleverser leurs règles de comportement et leurs méthodes d'organisation. Mais, surtout le caractère essentiellement **déstabilisateur** de la recherche permanent d'une réduction des délais de réaction, introduit la nécessité d'une **étroite dépendance entre l'organisation de l'entreprise et l'environnement**. Il s'agit là d'une rupture capitale avec le système ancien, et ce aussi bien sur le plan théorique que sur le plan pratique. Faisant face à une demande évolutive et de plus en plus imprévisible de produits variés à durée de vie très courte, l'entreprise ne peut plus considérer son organisation comme une donnée immuable. **Confrontée à la réception d'informations perturbées**, l'entreprise doit adapter continuellement son organisation à l'évolution de l'environnement. La distinction claire qui existait dans le modèle de standardisation entre le marché et l'organisation ne tient plus. L'un des aspects remarquables de cette rupture dans les modèles de production est qu'elle coïncide avec une profonde rupture au niveau théorique. En effet, dans la théorie microéconomique traditionnelle, l'une des hypothèses fondamentales est celle d'indépendance entre l'organisation de la firme et l'environnement. Cette hypothèse assurait une stricte répartition thématique entre l'économie (analysant les relations du marché) et la gestion (analysant les organisations). La disparition de l'hypothèse d'indépendance ouvre ainsi non seulement la voie à un renouvellement de la théorie économique mais repose fondamentalement le problème de la séparation entre économie et gestion.

Les principes économiques régissant les conditions de fonctionnement et de réussite des entreprises se trouvent alors découplés de normes de gestion utilisées et héritées des modèles du passé. L'une des conséquences perceptibles a trait, par exemple, à l'évaluation du coût d'un produit : l'ordre des séquences d'opérations n'étant plus immuable, la somme des coûts de

production de chaque phase productive n'est plus appropriée - même en première approximation - pour appréhender les coûts du processus dans son ensemble. La propriété d'additivité, utilisée pour le calcul du coût d'un produit ou d'une activité, disparait. En effet, elle nécessite une indépendance totale ("intersection vide") des éléments objets de la sommation. Or, les nouveaux systèmes de production se caractérisent par l'existence de fortes interdépendance entre les phases de production. Il devient ainsi de plus en plus difficile de mesurer la contribution relative au coût globale de l'entreprise d'un atelier particulier, voire d'un type de machine particulier. En revanche, dans la mesure où l'**agencement** des opérations est susceptible de varier dans le temps, ce sont les coûts des interactions entre opérations, et plus généralement ceux liés aux choix d'un ordonnancement, qui prennent de plus en plus d'importance; et précisément ces interactions révèlent des coûts en termes d'optimisation des temps de fonctionnement des équipements, de stocks, de flux d'énergie et d'information, de contrôle, etc... donnant notamment lieu aux coûts cachés précédemment évoqués. En d'autres termes, à la notion de processus séquentiel de phases distinctes se substitue la notion de processus en réseau, et à la recherche prioritaire de temps unitaire minimale se substitue celle de temps de reconversion minimal des machines. Dans la même optique, l'impossibilité d'évaluer la durée de vie d'un équipement et le nombre de processus dans lesquels il sera employé pose de graves problèmes pour juger de sa rentabilité. Pour prendre un exemple dans l'automobile, "étant donné l'importance de l'investissement mis en jeu, c'est aujourd'hui à l'occasion du démarrage d'un nouveau modèle qu'un atelier robotisé d'assemblage-soudure est mis en place. Progressivement, en fonction de l'arrivée des nouveaux modèles dans l'usine où elle est intégrée, l'engagement de la chaîne flexible dépend de moins en moins de la seule courbe de vie du premier modèle, en s'identifiant à l'engagement de l'usine, au même titre que les installations de peinture ou les chaînes de montage. Si l'on compare une telle chaîne flexible avec les moyens spécifiques automatiques, la durée d'étude n'est plus la durée de vie du premier produit, mais la durée de la chaîne flexible, que l'on espère beaucoup plus longue"(BULTEL, 1983)

Si la perception d'une rupture profonde par rapport à l'ancien modèle parait manifeste, il reste d'une part à en interpréter l'impact exact sur la gestion des entreprises pour pouvoir identifier les modifications fondamentales qui en résulteront nécessairement sur les méthodes et critères d'évaluation et d'autre part à en retrouver les principes directeurs en termes organisationnels et notamment en explicitant les processus d'intégrations que ces évolutions suscitent.

II. LA RECHERCHE DE FLEXIBILITE ET EVALUATION EN INFORMATION PERTURBEE

Nous avons comme hypothèse de départ: **pour l'entreprise, la source fondamentale de la tranformation des modes d'évaluation est la recherche de flexibilité dynamique.**

Avant de développer de manière plus précise cette hypothèse, et dans la mesure où le concept de flexibilité est un concept à plusieurs dimensions dont la méconnaissance provoque de trop fréquentes confusions, on s'efforcera dans un premier temps de définir les différents sens de cette notion, et d'indiquer les outils adéquats pour son analyse.

Si, au sens le plus large, la flexibilité caractérise la posibilité pour une organisation de s'adapter à son environnement, on peut admettre en première analyse qu'il existe deux catégories distinctes d'environnements économiques conduisant à deux formes conceptuellement différentes d'adaptation ou de flexibilité: d'un coté, un environnement économique dont les caractéristiques d'évolution sont connues (au moins par la connaissance des lois de probabilité et des fréquences d'apparition des variables qui caractérisent cet environnement), d'un autre côté, un environnement dont les caractéristiques sont fondamentalement incertaines (c'est-à-dire non appréhendables en termes de probabilité, et ne relevant que d'un processus d'apprentissage). Le premier type d'environnement suppose une adaptation en termes de **flexibilité statique**, le second en termes de **flexibilité dynamique** [Cf aussi P. COHENDET, P. LLERENA 1989b].

II.1. Flexibilité statique

La flexibilité statique relève de l'**existence, à un instant donné, d'un ensemble plus ou moins vaste d'opportunités**. Elle est une réponse à une qualité particulière

d'environnement : les situations risquées, c'est-à-dire les situations où la variabilité de l'environnement est parfaitement appréhendée par une distribution de probabilités.

Ainsi, la flexibilité statique d'un système de production se caractérise nécessairement par la présence de surcapacités spécifiques à chaque processus ou résultant de l'entretien d'une offre simultanée de plusieurs produits. Dans les branches, services ou activités industrielles confrontées à la saisonnalité, cette surcapacité permet d'éviter des coûts de stockages excessifs. Dans le même ordre d'idée, certaines entreprises n'hésitent pas à "doubler" leurs lignes de machines existantes par des machines obsolètes, pour répondre à une éventuelle "surchauffe" de la demande. De même, lorsque le bon déroulement de la production est susceptible d'être perturbé par des incidents incertains mais de probabilité identifiable, il est intéressant d'installer des équipements de secours (par exemple, on s'équipera d'un générateur de secours pour parer d'éventuelles coupures de courant).

Ce type de comportement s'apparente au choix d'un portefeuille de produits et/ou de processus. Dans ce cas, le critère d'espérance-variance de la théorie des portefeuilles financiers peut être utilisé. Cette forme de flexibilité demeure en grande partie compatible avec le modèle "taylorien-fordien" puisqu'il s'agit d'une simple juxtaposition de processus, répondant chacun à l'ancienne logique de production. Dans ce cadre, il est clair que le choix de la flexibilité statique génère habituellement des **surcoûts** pour l'entreprise et qu'il pose le classique dilemne flexibilité-productivité, contrairement au cas de la flexibilité dynamique qui est analysée ci-dessous.

L'apparition de ce dilemme montre que, par rapport à l'objectif majeur de l'entreprise qui reste celui de la productivité, la flexibilité ne joue qu'un rôle auxiliaire qui se mesure par des surcoûts, sans que l'organisation fondamentale de l'entreprise ne soit affectée. Les méthodes et les critères d'évaluation peuvent au mieux être aménagés pour tenir compte de ces éventuels "surcoûts". Ils n'ont nul besoin d'être reconçus. La flexibilité statique est de toute façon **programmable** et ceci quelles que soient les formes concrètes qu'elle revêt : capacités excédentaires, main d'oeuvre supplémentaire ou stocks dans le modèle de standardisation ; mise en parallèle de processus de production ou recours à la polyvalence dans le modèle de variété.

Dans de tels schémas concrets, on peut remarquer que, de même que la flexibilité, d'autres objectifs comme celui de la **qualité** ont le statut d'objectifs "annexes" qui viennent se greffer sur l'objectif fondamental de productivité. En effet, la fiabilité d'une machine ou d'un

composant est considérée comme une donnée externe au processus. Et, pour améliorer la qualité du fonctionnement d'un atelier ou d'un secteur homogène, il suffit de multiplier les redondances jusqu'à obtenir le niveau de fiabilité souhaité. Il n'existe aucune incitation particulière pour privilégier de manière interne l'amélioration de la qualité des fonds productifs.

II.2. Flexibilité dynamique

La flexibilité dynamique est une **capacité de réagir continûment, dans le temps, aux variations de l'environnement**. Elle constitue une réponse à des variations qui ne sont pas régies par des lois immuables. Au contraire, le décideur doit faire face à une incertitude dont la maitrise relève d'un processus temporel d'apprentissage de l'information. Il en résulte la nécéssité pour l'entrepreneur de transférer, d'une période à l'autre, un **"portefeuille d'actions optimales"**, lui permettant à la fois de préserver le maximum de réponses possibles aux modifications perçues de sa propre situation, et d'assurer une réaction dans les meilleurs délais par rapport à la vitesse d'évolution des paramètres de l'environnement. La stratégie d'une entreprise qui consiste à développer et maintenir en activité un processus de production, aujourd'hui non rentable, simplement dans l'espoir qu'il s'agisse d'un processus efficace dans l'avenir, correspond à la recherche d'une telle flexibilité.

Pour une entreprise, cette flexibilité dynamique passe principalement par une maîtrise des temps propres aux différentes opérations de production et à leur enchainement. La variable objectif qui résulte logiquement d'une telle stratégie est celle du **délai de réaction** par rapport à une variation de l'environnement. Cette variable présente au moins deux aspects:

- D'une part, **à court terme**, ce délai de réaction, indicateur du degré de flexibilité dynamique, peut s'estimer par le **temps de production** des produits. Dans le cas d'une ligne de fabrication ne produisant qu'un bien unique, le temps de production correspond à la durée de passage de la pièce entre l'instant de son entrée et celui de sa sortie de la ligne. Dans le cas d'une chaîne de fabrication produisant une gamme de produits donnée, les temps de production incluent les temps morts liés aux changements d'outils.

- Par ailleurs, **à moyen et long termes**, nous devons retenir le **temps d'adaptation** qui traduit une capacité à renouveler les produits et à transformer, en conséquence, les processus de

production et leur organisation. Il s'agit, entres autres, du cycle technologique du produit. Ce temps d'adaptation marque également la capacité d'une intégration aisée des évolutions technologiques.

Remarquons qu'en terme de flexibilité dynamique, un seuil qualitatif est atteint lorsque le temps de production devient inférieur au délai commercial, jugé acceptable par le client. Alors la production peut se faire au rythme des commandes fermes et non plus prévisionnelles. Cet exemple classique souligne l'importance du raisonnement en termes de délai de réaction dans la conduite stratégique des entreprises. Notons au passage qu'une réponse "statique" à ce type de sollicitations consiste, pour des productions "complexes", à utiliser une "différenciation retardée" : standarisation des composants et rejet de la variété vers l'aval du processus de fabrication.

Le point capital est que l'on peut émettre l'hypothèse que l'une des principales différences qui caractérisent la flexibilité dynamique (par rapport à la flexibilité statique) est qu'elle constitue un objectif dominant autour duquel s'articulent les autres objectifs de l'entreprise. Si cette hypothèse est vérifiée, elle implique naturellement le besoin de reconcevoir en profondeur les critères et les méthodes d'évaluation de la production. Quelques arguments peuvent cependant être avancés, dès à présent, pour étayer cette hypothèse. Ainsi, alors que dans l'optique taylorienne, l'objectif primordial de productivité est visé par une réduction des temps unitaires d'exécution, une augmentation des séries de lancement et un accroissement des stocks (du fait, en particulier, d'une prise en compte peu soutenue des problèmes de fiabilité des équipements), en inversant le raisonnement, si l'impératif devient la réduction des temps de reconversion pour des produits variés (afin de satisfaire l'objectif de flexibilité dynamique) un véritable nouveau "cercle vertueux" peut se mettre en oeuvre avec une diminution des séries économiques de lancement et donc des stocks. On obtient alors une plus grande fluidité et une plus grande souplesse du processus (sans renoncer toutefois à satisfaire, mais de manière annexe cette fois-ci l'objectif de productivité). De même, on peut montrer que l'objectif de flexibilité dynamique entraîne une vision très différente de l'objectif de qualité. Dans une stratégie de recherche de flexibilité dynamique, la qualité, la fiabilité et la capabilité des équipements deviennent des préoccupations centrales, incontournables. En effet, l'un des moyens pour atteindre l'objectif de flexibilité consiste en une réduction des temps d'attente des produits, etc... c'est à dire en une suppression des redondances "inutiles" et des aléas perturbants. Par conséquent, pour que le système demeure viable, et surtout pour qu'il puisse fournir au marché

le bon produit au bon moment et sans défaut, c'est à dire pour qu'il corresponde aux critères du nouvel environnement, il faut agir directement sur les différentes composantes de la qualité: par un contrôle "on line" à chaque étape de la production, par chaque intervenant dans le processus, et par la mise en place de structures organisationnelles, de dispositifs de communication et de concertation adéquats. Pour reprendre le cas cité ci-dessus, il ne s'agit plus de rendre le système plus fiable étant donné le degré de défaillance des composants, mais de le rendre plus fiable en améliorant systématiquement et sans relâche la fiabilité des composants. L'objectif de qualité est ainsi "endogénéisé".

La recherche de flexibilité dynamique apparait ainsi comme un objectif fondamental autour duquel se réordonnent les autres objectifs de l'entreprise. Derrière ce phénomène, on peut considérer que l'on assiste à une rupture de l'enchainement extension du marché - division du travail, qui avait fondé le développement industriel sur une longue période. La nécessité nouvelle de décloisonner les fonctions, de privilégier une vision globale des ateliers plutôt qu'une spécialisation des tâches individuelles, la conception de nouveaux outils de production davantage orientés vers la réalisation d'opérations rapides, fiables et variées que vers la seule recherche de gain de productivité, sont autant de manifestations qui plaident pour centrer la réflexion autour de la flexibilité dynamique (ou autour de l'objectif de réactivité). C'est, en particulier, autour de cet objectif qu'il convient d'entreprendre un réexamen des méthodes et des critères d'évaluation. Or, cette recherche de flexibilité dynamique s'insère dans un environnement caractérisé par une information perturbée. Il nous sera donc impossible de faire l'économie d'une réflexion sur la nature de la rationalité des agents.

II.3. Vers des normes de gestion "extraverties"

La recherche de flexibilité dynamique dans le cadre du modèle de réactivité demande une réécriture des "tables de la loi". De plus, les nouvelles normes de gestion qu'elle implique tendront à être "extraverties".

La plupart des auteurs reconnaissent aujourd'hui bien volontiers que les méthodes et les critères d'évaluation qui étaient fondés sur le modèle de standardisation ne donnent plus satisfaction. Comme nous l'avons vu précédemment, les rigidités et les contradictions de

l'ancien modèle, la production de gaspillages de toute nature, la révélation des dysfonctionnements qui n'apparaissaient guère flagrants lorsqu'il s'agissait en priorité d'obtenir une réduction des temps unitaires pour la production d'un produit homogène, sont autant d'éléments qui contribuent à remettre profondément en cause l'"ancien" modèle de production et les outils qui y sont attachés.

Mais les conclusions dans la littératures différent, quant aux mesures pratiques à adopter. Une partie des auteurs préconisent le "remodelage" des critères anciens pour tenir compte des bouleversements récents. Une partie riche et abondante de la littérature s'est ainsi intéressée à l'évaluation de l'immatériel, à la redéfinition des modes de découpages de la comptabilité analytique, à l'inclusion des indicateurs physiques. Les améliorations apportées sont parfois substancielles. Elles permettent en particulier de rendre compte dans d'assez bonnes conditions, des problèmes d'évaluation en présence de **flexibilité statique** dans le modèle de variété, sachant que ce type de flexibilité, induisant des surcapacités, dépend d'un simple arbitrage avec la notion de productivité. La question sous-jacente à ce problème est de savoir quel est le prix, en termes de productivité, que l'entreprise veut payer pour augmenter sa redondance et sa fiabilité. Dans un tel cadre, l'instrumentation économique classique, moyennant certaines adaptations (introduction des paramètres de flexibilité statique dans les critères de décision : nombres d'équipements en parallèle - capacité de financement, par exemple) est capable de donner une réponse aux problèmes d'évaluation qui se trouvent posés.

Cependant, toutes ces voies de recherche, quoiqu'indispensables et répondant à de nombreux problèmes, se heurtent à un obstacle majeur qui vient de ce que l'on a affaire à un aménagement de l'ancien paradigme, et que certaines caractéristiques nouvelles ne peuvent être prise en compte (processus d'apprentissage, incertitude, masse critique, etc...) et qu'une cohérence globale fait défaut. Or, avec la flexibilité dynamique, le problème prend une toute autre dimension. On assiste à l'émergence de l'importance centrale du temps et de l'information perturbée, et de la nécessité de réduire l'incertitude par un processus d'apprentissage. Ainsi, la prise en compte du temps porteur d'informations nouvelles suppose nécessairement d'intégrer dans les références qui vont aider à la décision, l'évaluation des évolutions de l'environnement, car la valorisation d'une décision ou d'un processus décisionnel devra s'insérer dans la description d'un environnement évolutif. La question fondamentale devient alors: **comment valoriser un temps et notamment un temps de réaction ? Et, de manière plus précise, quels sont les gains nets résultant d'une réduction des temps de**

fabrication ou de conception ? Les réponses à ces questions sont difficiles, parce que:

- La nécessité de prendre en compte les évolutions de l'environnement qui ne relèvent, par nature, que d'une appréciation subjective par un décideur donné, impose, dans ce cadre de façon encore plus radicale que dans celui des modèles de standardisation et de variété, d'abandonner le postulat d'une rationalité parfaite pour s'appuyer sur celui d'une rationalité "limitée". Le fondement logique des décisions se trouve transformé en postulant explicitement une limitation du champ d'investigation du décideur. La complexité de l'environnement et la présence d'une incertitude irréductible (issue de la nature de la concurrence) restreignent la domaine des certitudes quantifiables envisagées par le décideur et ouvrent un champ difficilement appréhendable des possibles. Ces limites portent aussi bien sur l'étendue des potentialités prises en compte, que sur la détermination des gains qui peuvent en résulter, c'est-à-dire de leur mode d'évaluation. Cette remarque, pour d'autres raisons, est valide aussi dans le contexte des systèmes de production de l'ère taylorienne à nos jours. Indépendamment de toute évolution des conditions de la production et de son environnement, la remise en cause du postulat de rationalité parfaite **aurait du** conduire à des aménagements, plus ou moins profonds, des modèles de standardisation et de variété. L'incertitude comme fondement du modèle de réactivité rend incontournable l'utilisation du concept de rationalité "limitée". En effet, entre le modèle de standardisation et celui de variété, nous avons un simple accroissement de "complication" des systèmes de production. En revanche, le passage au modèle de réactivité représente un saut important dans le degré de "complexité".

- La nécessité de clairement admettre que dès l'acceptation du principe de rationalité limitée, les horizons temporel et/ou hiérarchique des décideurs et des organisations (un horizon hiérarchique étant la limite des zones de pouvoir d'un décideur ou d'une organisation) deviennent déterminants. En effet, le champ d'investigation sur lequel va s'appliquer le processus de recherche des solutions va dépendre de ces horizons. Si, dans une organisation, la structure est considérée comme une donnée indépendante de l'environnement, la procédure de décision va pouvoir s'effectuer dans un environnement quasi-certain, et postuler une rationalité parfaite (ou substancielle) est légitime. Dans un tel environnement, on a pu entretenir l'espoir raisonnable, notamment par l'utilisation de la puissance de calcul permise par l'informatique, de la détermination d'un optimum. La recherche opérationnelle a longtemps poursuivie un tel objectif. Or, si à chaque niveau d'agrégation envisageable, une telle rationalité est postulée, alors rien ne peut plus empêcher, logiquement, de postuler la cohérence entre les différents niveaux.

Cette cohérence est même primordiale si l'on veut qu'il existe un optimum global.

En effet, il résulte du caractère purement calculatoire de la rationalité parfaite, et de la prétendue exhaustivité du domaine des prévisibles, la possibilité de segmenter le processus de décisions en sous-problèmes affectés à chaque niveau hiérarchique et répondant à un critère d'optimisation local. En revanche, dans le cas d'une organisation en osmose avec son environnement et lorsque la valorisation est fondée sur une rationalité limitée, le problème de la cohérence se pose tout-à-fait différemment. En effet, il s'agira cette fois-ci de **définir des procédures locales cohérentes de recherche de solution, par rapport non pas à un objectif global, mais par rapport à une procédure globale de recherche de solution.** Ainsi, la cohérence serait assurée par la référence à des procédures structurant l'analyse et l'action des acteurs de l'entreprise. Cette transformation du processus décisionnel devrait s'accompagner et s'appuyer sur une évolution de la structure organisationnelle et sur des dispositifs de communication et de concertation. De manière schématique, il faudrait pouvoir "décliner" une procédure globale de recherche de solution en "subroutines" locales, prenant en compte les différences de champ d'investigation des solutions propres à chaque niveau de l'organisation. L'une des solutions consiste à ouvrir le champ d'investigation des décideurs, à élargir les horizons des membres de l'organisation (à enrichir leurs tâches).

Les réflexions précédentes ont naturellement de profondes répercussions sur la conception des méthodes et des critères d'évaluation. La difficulté principale est que toute tentative d'évaluation dans un modèle de réactivité doit admettre la prise en compte d'une subjectivité, c'est-à-dire que le système décisionnel n'est plus un système clos, mais est une fonction de l'appréciation par un décideur ou une organisation de son propre environnement. Chaque décision importante (investissement en capacité, en automatisation...) devra incorporer ces différents éléments de gains et de coûts "potentiels" ou "virtuels" liés au processus temporel et à l'incertitude sous jacents à chaque décision. Le champ des travaux qui s'ouvre à la recherche sur les problèmes d'évaluation est donc particulièrement large. Il faut souligner que ces travaux ne prétendent en aucune façon suggérer l'abandon des autres travaux réalisés dans le domaine de l'aménagement des "anciens" critères : d'une part, parce que si la tendance vers un modèle de réactivité semble actuellement bien affirmée, elle ne concerne qu'une très faible partie des unités de production, et que le mouvement de transition sera vraisemblablement très long, de sorte que la résolution des problèmes d'évaluation devra encore pratiquement reposer sur les outils traditionnels ; d'autre part, parce qu'en fait, les nouveaux outils d'évaluation et les anciens

resteront étroitement complémentaires, chacun orientant un certain type de décision selon la nature des problèmes. En revanche, l'idée d'un même outil valable quel que soit le décideur et quel que soit l'horizon hiérarchique ou temporel de ce dernier, semble devoir définitivement être abandonnée. L'outil de mesure des comptables ne sera plus nécessairement l'outil de mesure des responsables de la stratégie. C'est à la fois l'universalité de l'outil et son mode d'usage qui sont en cause.

Pour prendre un exemple, on peut considérer le problème de la valorisation d'un délai de réaction (Cf. la figure 2). Ce problème correspondra toujours du point de vue comptable à une évaluation en termes de valeur de la réduction des encours. Mais du point de vue de la stratégie de l'entreprise, cette réduction du délai de réaction a (non plus vis-à-vis de l'organisation interne de l'entreprise, mais vis-à-vis du marché) une valeur potentielle qui correspond à un gain (ou un maintien) virtuel de parts de marché par rapport à la concurrence dans la mesure où l'on est par exemple capable de livrer plus tôt la clientèle.

Un autre exemple peut être donné à une échelle plus globale. Si on prend le cas de deux activités A et B qui reposent chacune sur un stock d'actifs, on peut considérer que chacune de ces activités aura une valeur de marché, soit parce qu'il s'agit d'entreprises cotées, soit par une évaluation au prix du marché des actifs (Cf. la figure 3). La comparaison de ces valeurs d'actifs apparait être bénéfique à l'activité B. Or, si nous supposons que notre appréciation de l'avenir de ces activités nous amènent à considérer que l'activité A de par sa nature propre ou encore en raison de son environnement (et ce pour des motifs qui consistent à apprécier subjectivement des variables telles que la qualité de la recherche, image de marque, etc...) a des capacités de développement futur nettement plus élévées que l'activité B, alors il existe un gisement de gains potentiels pouvant inverser les termes de la comparaison. Cette illustration montre le caractère à la fois subjectif et prospectif de l'évaluation des gains potentiels contingents aux modifications de l'environnement.

Ces réflexions sur les nouvelles normes de gestion ont privilégié l'analyse des conditions d'une mise en phase des normes de gestion avec les principes économiques qui régissent les systèmes de production. Parmi ces conditions, la plus importante semble être la nécessité d'une incorporation des aspects temporels et informationnels des prises de décision. La forme et les prodécures d'évaluation deviennent alors fonction de la nature de l'information qui parvient à l'entrpreneur. En information perturbée cette évaluation est subjective et contingente à l'appréciation du décideur et à l'évolution de l'environnement. Dans un monde complexe et incertain, il deviendra de plus en plus urgent de procéder à l'évaluation des gains potentiels (nets) pour pouvoir procéder à des comparaisons de choix alternatifs. Ce type de recherche devrait compléter et enrichir les approches de recherche en matière d'évaluation qui tente de corriger les critères anciens en prenant en considération des phénomènes tels que les coûts cachés. Mais au delà de l'aspect de l'évaluation proprement dit, l'évolution de l'environnement doit être incorporée dans la concept de l'organisation des firmes. Nous avons déjà évoqué la redéfinition des tâches afin de s'adapter aux procédures de décision liées à l'incertitude. De façon générale, la recherche de flexibilité va être également une source de reconception de l'organisation de l'entreprise, notamment par des processus d'intégration.

III. UNE INTERPRETATION DE L'EVOLUTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION ET DU ROLE DE L'INTEGRATION

L'évolution des systèmes de production du modèle de standardisation vers le modèle de variété, puis vers le modèle de réactivité, montre une capacité croissante pour les firmes d'opérer à des niveaux de complexité de plus en plus élevés. Néanmoins, la logique de cette évolution, et les forces qui sont à la base de cette dynamique n'apparaissent pas toujours de manière évidente. L'hypothèse de travail, qui est soutenue ici est, d'une part, que c'est la recherche d'une **flexibilité** sans cesse accrue qui est à la base de la dynamique de l'évolution des systèmes de production mais que, d'autre part, cette évolution n'a été rendue possible que grâce à la mise en oeuvre de processus d'**intégration** qui ont assuré la viabilité économique des nouvelles formes d'organisation qui étaient expérimentées.

Ayant défini ci-dessus les deux principales formes de flexibilité, flexibilité statique et flexibilité dynamique, il est possible d'en étudier directement les conséquences pour l'organisation de l'entreprise.

La conséquence majeure de la recherche de flexibilité dynamique est la nécessité d'introduire dans l'organisation de l'entreprise **des procédures d'intégration pour rendre économiquement viable le nouveau système**. En effet, dans un contexte de recherche de réactivité, les éléments qui composent le système de production doivent être conçus de manière à pouvoir être intégrés, pour permettre grâce à leur articulation une adaptation rapide aux différentes configurations exigées par la nécessité de satisfaire la demande. L'intégration, dans le sens dans lequel on vient de l'entendre, apparaît ici comme une condition permissive de fonctionnement du système de réactivité. Néanmoins, dans la mesure où l'intégration apparaît (comme la flexibilité) être un concept multidimensionnel, un examen de la définition précise de ce concept est maintenant nécessaire. Cet examen sera mené à la lumière des trois modèles de production exposés précédemment.

III.1. Le rôle de l'intégration comme facteur-clé de fonctionnement des systèmes de production

L'hypothèse de travail que l'on soutiendra ici est que l'intégration correspond à un ensemble de procédures, variables selon les impératifs de la production, permettant de rendre économiquement viables des organisations cherchant à satisfaire les objectifs qu'elles se sont fixés. Il est ainsi remarquable de noter que, selon le modèle que l'on considère, l'intégration correspond à des procédures différentes dépendant de l'objectif économique que l'on cherche à atteindre. Ainsi :

- Dans le cadre du **modèle de standardisation**, où l'objectif est d'atteindre la productivité maximale à travers la recherche d'économie d'échelle, la procédure qui a permis de rendre viable le fonctionnement du système, est une procédure d'"**intégration**" consistant à rassembler, au sein de sections spécialisées de la production, des machines conventionnelles agencées en travées (on considèrera ainsi la section des tours, des fraiseuses, des aleseuses, etc ...). Cette forme d'intégration "spatiale" revient à rassembler, dans un lieu donné, des moyens de production auparavant éclatés dans l'espace.

- Dans le cadre du **modèle de variété**, les procédures d'intégration s'articulent autour de la stratégie de différentiation retardée. On "intègre" le plus possible, à l'amont par exemple, en standardisant les composants pour obtenir le maximum de variété à l'aval. Des méthodes telles que la TGAO correspondent aux objectifs d'intégration du modèle de variété. L'intégration consiste ainsi dans ce modèle, essentiellement en une simplificaton "physique" de la nature des produits fabriqués, pour faire apparaître entre les différentes gammes et différents modèles le plus d'éléments communs possibles pour rendre viable le régime de variété.

- Dans le **modèle de réactivité**, les procédures d'intégration visent à assurer une meilleure coordination entre les différents éléments de la production. Des moyens tels que les réseaux locaux ou des méthodes telles que le juste-à-temps illustrent bien ce type de méthodes d'intégration requises pour permettre d'obtenir le plus court délai de réaction possible vis-à-vis de l'environnement. L'intégration dans le modèle de réactivité est essentiellement celle de flux "informationnels" (dans le cas des réseaux locaux) ou de flux physiques de production (dans le cas de juste-à-temps).

Ce regard "historique" sur l'intégration permet de mieux situer le concept et de ne pas conférer trop vite à celui-ci le sens exclusif (physiologique) du dictionnaire "coordination des activités de plusieurs organes, en vue d'un fonctionnement harmonieux, réalisée par divers centres nerveux" (Larousse, 1981). Même si cette définition capture une partie importante du concept tel qu'on l'utilise en production, elle ne rend pas compte de différents aspects de l'intégration. Assimiler, en effet, l'intégration à la volonté de rendre cohérent quelque chose qui est dans un tout ne permettrait, par exemple, pas de distinguer entre le modèle fordien et le modèle de réactivité, puisque le modèle fordien était parfaitement cohérent (par rapport aux objectifs qu'il s'était fixés et, compte tenu de l'environnement économique de l'époque). Pour préciser la notion d'intégration, il faut prendre aussi en considération les propriétés suivantes :

- La forme concrète que revêt la procédure d'intégration est fondamentalement dépendante des objectifs poursuivis par la firme (intégration davantage spatiale dans le modèle de standardisation, intégration davantage physique dans le modèle de variété, intégration informationnelle dans le modèle de réactivité). Toutefois, ces procédures ne sont pas exclusivement "dédiées" à un modèle particulier. Par exemple, dans le modèle de réactivité, à côté des méthodes d'intégration des flux physiques et informationnels, on peut tout-à-fait concevoir des mises en oeuvre de stratégie d'intégration spatiale (pour minimiser l'espace occupé par le système productif) ou d'intégration physique (pour réduire la complexité des pièces).

- Les procédures d'intégration correspondent toujours à la mise en place d'une certaine forme de **rigidité** dans l'organisation de l'entreprise. Cette rigidité assure les principes structurants autour desquels s'organise l'entreprise, en fonction des objectifs prioritaires de celle-ci. Mais l'introduction d'une forme de rigidité induit aussi naturellement une certaine perte de flexibilité. De manière plus précise, on peut vérifier qu'une procédure d'intégration correspond toujours à l'abandon d'une certaine forme de flexibilité, au profit d'une autre forme de flexibilité. **L'intégration est donc un principe d'allocation**. Par exemple, si l'on considère la procédure d'intégration par différentiation retardée, on abandonne, à l'amont, une certaine forme de flexibilité dans la conception des composants pour privilégier une flexibilité plus grande à l'aval ; de même, si l'on considère la procédure d'intégration par le recours au juste-à-temps, on améliore la réactivité (flexibilité dynamique) d'un poste en l'"intégrant" aux postes amont, et donc en lui faisant perdre un certain nombre de degrés de liberté, etc ... Naturellement, dans

l'allocation entre deux formes de flexibilité, que réalise la procédure d'intégration, la forme de flexibilité qui est privilégiée correspond à l'objectif prioritaire de l'entreprise. Cette situation d'arbitrage provient de ce que la flexibilité n'est pas "**gratuite**", et qu'une entreprise, à un moment donné, ne peut pas disposer de la possibilité de posséder toutes les formes de flexibilité (statique : capacités excédentaires, stocks, polyvalence ; ou dynamique : réactivité, capacité de disposer de plusieurs options, etc ...), mais qu'il lui faut choisir en quelque sorte, aussi bien au niveau de chaque élément de production qu'au niveau global, la "composition" optimale de flexibilité en fonction des objectifs et des considérations de coûts. Et, ce sont les procédures d'intégration qui "opèrent" le choix de l'allocation, tout en structurant l'organisation de l'entreprise, selon le modèle désigné.

- Les procédures d'intégration peuvent aussi être considérées comme des moyens de réduire la **complexité** de l'entreprise. Cette propriété est une autre manière de considérer la propriété précédente, car il existe une relation directe entre flexibilité et complexité. Introduire dans un système une flexibilité supplémentaire revient, en effet, à augmenter les interactions entre les composants d'un système et entre ses composants et l'environnement. En d'autres termes, il en résulte une plus grande complexité. L'augmentation de la complexité peut résulter aussi bien d'un nombre d'éléments plus élevés dans le système (par exemple, une juxtaposition de processus pour la versatilité) que d'une multiplication des interactions entre les éléments et/ou de l'existence d'interactions qui ne sont plus immuables mais fonctions des circonstances (flexibilité dynamique).

Nous plaçons ce concept de complexité au centre du mécanisme d'évolution du processus de production, car il fonctionne comme un révélateur du changement de la logique de production. Dans le modèle de standardisation, par exemple, le raisonnement se fait à **complexité constante**. Dans ce cadre, les investissements consistent en de simples substitutions, ne bouleversant pas les principes d'organisation. En revanche, le modèle de réactivité implique une étroite dépendance entre l'organisation de l'entreprise et l'évolution de l'environnement. Le niveau de complexité devient alors une variable endogène qu'il faut maîtriser. Dans le cas d'un accroissement de la flexibilité du processus, nous avons une connexion plus étroite de celui-ci avec son environnement. Pour l'assurer, cela nécessite un volume accru d'informations à traiter et, par conséquent, une complexité plus importante du système. L'exemple d'une flexibilité acquise par une mise en parallèle de processus est, à cet égard, symptomatique. Le nombre de composants ainsi que des interconnexions augmente, et

donc, la complexité du système aussi.

Il découle de cet accroissement de la complexité, au moins deux conséquences : la première prend la forme d'un théorème intuitif (un "folk-theorem"), la seconde celle d'un constat économique.

Le "folk-theorem" établit une relation entre l'accroissement de la complexité et celui de la stabilité d'un systsème. "L'argument intuitif ... est qu'une plus grande complexité génère un réseau plus dense d'interconnexions entre les composants du système et, de ce réseau plus dense, résulte un système capable d'absorber des perturbations déstabilisantes"(CASTI, 1986).

Le constat économique est plus simple à établir - qui dit complexité accrue, dit aussi une gestion du système plus difficile, un volume d'informations plus important, et donc **une augmentation du coût de gestion du système.** Ces coûts croissants, avec le degré de complexité, constituent une caractéristique déterminante pour la recherche de la flexibilité. Les entreprises vont alors chercher à réduire ces coûts pour une **maîtrise de la complexité.** Pour cela, elles ont recours à un certain nombre de principes opératoires qui prennent principalement la forme de **processus d'intégrations de natures différentes.**

Il est possible, à ce stade, de distinguer plus précisément dans la nature de la complexité, et donc, d'effectuer une distinction dans la nature des procédures d'intégration associées. En effet, la complexité est un concept qui recouvre :

A . D'une part, l'idée qu'un objet (ou un système) est complexe parce qu'il est composé de nombreux éléments. On peut parler ici de "complication". Dans ce cas, en l'absence de tout caractère incertain, les procédures d'intégration, du moment où elles sont justifiées économiquement, seront toujours souhaitables, quelque soit le modèle de référence envisagé.

Ainsi, par exemple, l'intégration (technologique) de pièces, où l'on réduit le nombre de pièces composant un objet donné afin de réduire le coût de l'assemblage. Ce phénomène est particuièrement fréquent dans le cas des substitutions de matériaux (Cf. COHENDET P., LLERENA P., 1987).

B . D'autre part, l'idée que la complexité est née de la nécessité d'introduire, volontairement ou involontairement, des redondances dans un système (mise en parallèle d'équipements, par

exemple), pour assurer (par une flexibilité statique) l'adaptation (passive) à l'environnement risqué. Le type d'intégration qui est lié à cette forme de complexité (relative à une incertitude dont on connaît les lois de probabilités) s'applique principalement (mais pas exclusivement) au modèle de variété ; la procédure d'**intégration des phases productives** répond bien à ce contexte. Elle consiste à réduire la complexité, soit en faisant disparaître certaines phases de production, soit par l'exécution en une seule et même opération de ce que jusqu'alors exigeaient deux ou plusieurs opérations consécutives. Le mécanisme et l'intérêt de cette procédure d'intégration peuvent s'analyser à partir d'un modèle cybernétique très simplifié (Cf. COHENDET P., LLERENA P., 1987)

C. Enfin, il existe une autre acception de la complexité, qui s'applique à des systèmes présentant outre les divers éléments et les différents niveaux hiérarchiques qui les composent, des flux dynamiques d'information (non régulière). La réduction de la complexité (à l'aide de procédures d'intégration) passe par la régulation de ces flux d'information. C'est dans cette optique que se situent, par exemple, les procédures d'intégration par la mise en oeuvre de réseaux locaux. C'est naturellement dans le cadre de ce modèle de réactivité que le recours à la réduction de complexité par intégration informationnelle apparaît la plus appropriée.

Les réflexions précédentes ont montré la richesse des procédures d'intégration qui s'offrent aux entreprises, pour atteindre les objectifs qu'elles se sont fixés. A titre d'illustration, le tableau suivant résume les principaux cas concrets d'application que l'on rencontre en pratique.

Tableau 1 : Exemples de procédures d'intégration.

Propriétés Cas d' intégration	Nature de l'intégration	Objectif recherché	Modèle de référence le plus approprié
Constitution de sections homogènes.	Intégration spatiale.	Economies d'échelle.	Modèle de standardisation.
Intégration de phases.	Intégration physique (technologique).	Economies sur les facteurs de production.	Tous les modèles.
Intégration de pièces.	Intégration physique (technologique).	Economies sur les facteurs de production.	Tous les modèles.
Différenciation retardée.	Intégration physique (organisationnelle).	Accroissement de la variété aval.	Modèle de variété.
TGAO.	Intégration physique (technologique).	Accroissement de la variété aval.	Modèle de variété.
Intégration de fonction.	Intégration organisationnelle (exemple : CFAO, décloisonnement).	Meilleure réactivité.	Modèle de réactivité.
Juste-à-temps.	Intégration organisationnelle.	Meilleure réactivité.	Modèle de réactivité.
Réseaux locaux.	Intégration informationnelle et technologique.	Meilleure réactivité.	Modèle de réactivité.
Réduction de l'espace productif.	Intégration spatiale.	Economies sur les facteurs de production.	Tous les modèles.

III.2. Le choix stratégique de l'intégration dans le modèle de réactivité

Ayant défini et situé la notion d'intégration dans une perspective historique, il est maintenant possible d'interpréter les changements en cours que nous observons dans le modèle dit de "réactivité". Ces changements en cours incitent à un changement radical de perspective dans la conception de l'organisation de la firme. Pour le montrer et pour situer dans ce contexte la nature précise et l'intérêt d'une politique d'intégration, on reviendra, au préalable, sur la caractéristique majeure qui définit le nouveau modèle de production : la nécessité d'opérer dans un régime d'informations **pertubées**, impliquant en particulier des prises de décisions pour l'entreprise qui sont non programmables.

Les modifications qu'implique le fonctionnement en régime d'information perturbée

Nous avons vu que la prise en compte d'un temps porteur d'informations nouvelles et perturbée a pour conséquence qu'un décideur donné ne peut plus appréhender son environnement par le biais d'une appréciation objective des phénomènes, mais bien au contraire par une appréciation subjective de ceux-ci. Il y a donc glissement, pour le décideur, d'une rationalité parfaite vers une rationalité "procédurale" (ou "limitée").

Le fondement logique des décisions est donc transformé en postulant explicitement une limitation du champ d'investigation de ce dernier. La complexité de l'environnement et la présence d'une incertitude irréductible (issue de la nature de la concurrence) restreignent le domaine des possibles envisagés par le décideur. Ces limites portent aussi bien sur l'étendue des potentialités prises en compte que sur la détermination des gains qui peuvent en résulter, c'est-à-dire de leur mode d'évaluation.

Dans un tel contexte, il est également apparu que les différences d'horizon (temporel et hiérarchique) deviennent primordiales. Car, dès que l'on accepte le principe d'une rationalité

limitée, les horizons temporel et hiérarchique des décideurs et des organisations deviennent déterminants. En effet, le champ d'investigation sur lequel va s'appliquer le processus de recherche des solutions va dépendre de ces horizons. Or, l'un des moyens pour pallier, au moins partiellement, aux inconvénients de cette limitation du champ d'investiguation des micro-décideurs est d'enrichir les tâches. En d'autres termes, on cherchera à réduire le nombre de niveaux hiérarchiques dans l'entreprise, et à intégrer les fonctions. Grossièrement, on assiste à un affaiblissement de la hiérarchisation des entreprises. Mais ce constat, bien qu'indiquant une voie de recherche possible, ne nous dit rien sur l'une des questions qui devient alors centrale : **quel est le découpage le plus approprié, le plus pertinent dans l'entreprise, pour améliorer la recherche de solutions, c'est-à-dire la prise de décision ?** Et, de plus, même si ce découpage existe, il ne résoudrait en rien l'incontournable absence de cohérence entre les différents acteurs du processus de décision. Or, sur ce point précis, on peut émettre l'hypothèse que bien qu'il soit utile de réduire les effets de cette absence (par un élargissement des champs d'investigation), la cohérence interne, prise dans le sens strict de rationalité parfaite, n'est en rien nécessaire. En effet, les divergences et les conflits vont être les moteurs d'une négociation entre les différents acteurs, vont être le signe d'une richesse d'analyse bénéfique pour la conduite d'un processus d'apprentissage court et efficace. Il y a dans cette recherche de "consensus" ou de "compromis" un aspect pédagogique non négligeable pour comprendre le bon déroulement d'un processus de décision en rationalité limitée. Ces réflexions rejoignent celles exprimées par O. FAVEREAU pour qui "une organisation hiérarchique n'est pas une forme stable dans les systèmes sociaux empiriques". En effet, une organisation hiérarchique possède une structure décomposable, c'est-à-dire qu'elle peut être subdivisée en sous-partie, structurée par un lien de causalité. Si les interrelations entre les membres de l'organisation sont représentées par une matrice, nous avons une matrice triangulaire du type :

$$\begin{matrix} a_1 & a_2 \\ 0 & a_3 \end{matrix}$$

Une telle organisation a une tendance "naturelle" à évoluer vers une structure parfaitement décomposable, où les sous-parties s'autonomisent, deviennent totalement indépendantes de

l'environnement et de l'organisation globale ($a_2 = 0$, la matrice devient diagonale). Cette structure perd alors les avantages de la structure décomposable puisqu'il n'y a pas de coordination souple entre les sous-systèmes. L'une des raisons de cette autonomisation est la multiplication des règles limitatives, au-delà des règles strictement nécessaires ("constitutives") pour l'existence de l'organisation. Or, cet excès de règles limitatives va avoir pour principal effet une indépendance croissante du sous-système vis-à-vis du système dans son ensemble, et du système par rapport à son environnement. Le cas du développement d'un marché interne du travail est symptomatique de cette évolution. Celle-ci est renforcée par l'existence d'une "tendance de tout un ensemble humain à s'autonomiser par rapport au monde extérieur, en s'organisant de plus en plus autour de considérations et de motivations internes" (FAVEREAU, 1989). La question qui est alors posée est celle de l'évolution du système vers une nouvelle structure décomposable, voire indécomposable, où il existe "à nouveau" des liens organiques entre les sous-systèmes assurant, en partie, la coordination de l'ensemble et permettant de dépasser l 'inertie inhérente aux systèmes parfaitement décomposables. L'apparition des "cercles de qualité", l'accent mis sur la nécessité d'intégrer les fonctions dans l'entreprise, etc ..., participe de cette évolution vers un système d'entreprise "moins décomposable".

L'importance du flux informationnel

Puisque entre les modèles de production précédents et le nouveau modèle de réactivité, la rupture fondamentale est issue du changement dans la nature de l'information (de l'information "stable" à l'information "perturbée"), on peut logiquement en déduire que la nouvelle organisation qui est à concevoir doit refléter fortement ce changement dans la nature de l'information. De manière plus précise, l'organisation dans les modèles de production à information stable était structurée autour du flux matière, selon un principe séquentiel, et un système de décision correspondant à une hiérarchie immuable, puisque chaque décision pouvait être "programmée" à l'avance. Il n'y a pas la place dans de tels modèles pour des initiatives locales, inutiles et pertubatrices, pas d'intérêt non plus pour que se développent des processus d'apprentissage locaux, puisque tout peut être programmé à l'échelle globale, puis décentralisé.

Dans le cas d'un régime d'information perturbée, il n'est plus possible de programmer les décisions de manière globale, puisqu'il n'y a plus de support informationnel suffisamment

répétitif pour fonder ces décisions. L'intensité et la nature du flux matière deviennent fortement incertaines. Il est donc nécessaire de structurer l'entreprise de manière à se comporter de façon la plus efficace possible face à un flux d'information perturbée. Or, dans ce contexte, **l'hypothèse que nous soutenons est que c'est la mise en oeuvre de processus locaux d'apprentissage qui constitue la réponse organisationnelle la plus appropriée pour rendre viable une organisation.** A partir de cette hypothèse de travail, trois questions principales se posent : comment se définissent ces "processus locaux d'apprentissage" ? comment "intégrer" l'ensemble de ces processus dans un ensemble cohérent ? comment passer en pratique d'un ancien modèle de production au nouveau, si l'on doit modifier radicalement l'organisation ?

Les processus locaux d'apprentissage constituent les éléments les plus invariants de l'entreprise dans un régime d'information perturbée. Ils se définissent non seulement à partir de l'information perturbée provenant de l'environnement de la firme mais aussi de l'horizon temporel et décisionnel de chaque groupe de décideurs. Ainsi, il existe une double détermination des limites du support de l'apprentissage: l'horizon et la nature de l'information nécessaires à la prise de décision. Ces processus d'apprentissage reposent sur la notion d'"équipe" locale capable, à partir de la réception d'informations extérieures, de satisfaire un service ou de résoudre un problème en disposant des caractéristiques suivantes :

- Capacité d'identifier le problème.
- Capacité d'assimiler l'information extérieure, de comparer cette information extérieure, de comparer cette information avec les situations précédemment expérimentées pour élaborer une décision.
- Capacité de transformer le signal reçu en une production (matérielle ou immatérielle).
- Capacité d'identifier et de communiquer que les autres éléments de l'entreprise impliqués dans la production considérée.
- Capacité de préparer la décision de production.
- Capacité de contrôler la production et d'assurer la maintenancedes équipements.
- Capacité de transmettre aux autres éléments les informations réalisées à la production réalisée.
- Capacité de faire un bilan de la production réalisée et d'enregistrer l'information.

De telles caractéristiques impliquent que les processus d'apprentissage en question ne se

résument pas à une "routine" a priori automatisable, puisque des conditions sur l'accumulation d'expérience sont requises; ils ne se résument pas non plus à la définition classique d'un atelier dont le découpage est imposé par la hiérarchie et qui est dépourvu généralement des capacités de dialogue avec les autres éléments de production. L'autre différence avec l'atelier classique est que le fonctionnement de telles "équipes" ne suppose pas une stricte division des tâches à l'intérieur de l'équipe, ni d'une hiérarchie stricte à l'intérieur de l'équipe. Il peut y avoir, par exemple, des "postes tournants" pour aboutir à une forme de savoir collectif, y compris pour la fonction de contrôle de l'équipe. Toutefois, il est clair que la définition de telles équipes ne peut pas complètement s'éloigner des formes traditionnelles d'organisations locales. Ainsi, si l'on admet le découpage en plusieurs niveaux de régulation du système d'information de l'entreprise, il est probable que chaque équipe que l'on considère se situera le plus généralement en majorité sur un seul niveau, car il est difficile d'imaginer un apprentissage local jouant sur l'ensemble des niveaux. En revanche, ce qui caractérise ici le processus local d'apprentissage, c'est qu'il doit incorporer des connaissances sur l'ensemble de l'entreprise, et donc posséder une connection avec les niveaux de régulation supérieurs et inférieurs. Nous retrouvons ainsi en partie les résultats de AOKI (1986) dans le cas particulier de la gestion d'un processus de production soumis à un aléas probabilisable.

L'analyse de AOKI M., qui procède à une comparaison de structures stylisées d'informations d'une entreprise japonaise dite "J-firm" et d'une entreprise (américaine) dite "A-firm" peut se résumer de la manière suivante:

Tableau 2 : Comparaison des structures informationnelles.

Structure d'information horizontale

- Coordinations horizontales d'ateliers semi-autonomes.
- Connaissances incomplètes du processus global de production.
- Réponse rapide aux aléas et apprentissages de la solution optimale.

Structure d'information verticale

- Connaissance complète de l'ensemble des technologies.
- Imperfections dans la perception des aléas.
- Retard dans l'application des solutions.

Paramètres de la comparaison

- Retard d'adaptation aux événements.
- Degré d'imprécision de la perception des aléas par la direction.
- Capacité et vitesse d'apprentissage des ateliers
- Degré d'imperfection de la coordination horizontale entre ateliers.

Le tableau 2 explicite ces deux structures. La première, se caractérise par une coordination horizontale. Cette coordination horizontale permet de procéder à un ajustement fin aux modifications des exigences du marché, de l'aval vers l'amont, dans le cadre de plans de production plus généraux conçus par le niveau hiérarchique supérieur. Une telle structure d'information se fonde sur des équipes de travail semi-autonomes qui ont la capacité et le know-how pour réagir aux aléas du marché et/ou du processus de production. Pour y parvenir, une certaine connaissance du processus de production est nécessaire et elle est acquise par un

"learning by doing", rendu possible grâce à une rotation dans les tâches à exécuter par les différents opérateurs. La principale qualité de cette structure est de permettre une réponse rapide aux aléas et une grande souplesse dans l'organisation des productions. L'archétype d'une telle structure est le système Kanban, où l'information circule et la coordination se fait de l'aval vers l'amont.

Cette coordination horizontale s'oppose à une organisation verticale, au contrôle hiérarchique important, héritée de la tradition "taylorienne". Pour cette structure informationnelle, il existe une connaissance parfaite du processus de production et une conception centralisée des décisions, et donc des réactions aux aléas. L'efficacité de ces réactions dépendra de la qualité de la perception des aléas et du délai d'application des solutions.

Pour procéder à une comparaison des structures informationnelles, nous disposons notamment de quatre paramètres :
- délai d'adaptation aux événements ;
- degré de précision de la perception des aléas par la direction ;
- capacité et vitesse d'apprentissage des ateliers ;
- efficacité de la coordination horizontale entre ateliers.

S'il existe d'importants délais de réaction, une imprécision dans la perception des aléas, un savoir-faire important des ateliers et une bonne coordination horizontale, alors une structure horizontale est plus appropriée. Or, un accroissement de l'instabilité implique aussi bien des délais de réaction allongés, une plus grande imprécision et une coordination horizontale plus difficile. Inversement, si l'on tente une évaluation grossière des effets d'une intégration telle que les réseaux locaux industriels, il est probable que les délais de réaction soient plus courts, la précision plus importante et la coordination horizontale améliorée.

En d'autres termes, la comparaison des structures d'informations ne permet pas de mettre en évidence la supériorité intrinsèque d'une organisation sur l'autre. En revanche, l'organisation "à la japonaise", d'après M. AOKI, semble plus adaptée aux situations où l'environnement est instable car une coordination horizontale (ou intégrée) permet de faire l'économie d'une cohérence et d'une efficacité du contrôle hiérarchique accrue, rendue nécessaire par l'environnement. Dans le cas de l'analyse menée par AOKI, il est intéressant de noter l'importance de l'apprentissage. Pour que la structure horizontale soit supérieure, il faut

notamment que non seulement les connaissances de départ soient suffisamment élevées mais aussi que l'assimilation des informations nouvelles soit rapide. Ce résultat confirme notre hypothèse que, face à une information incertaine, mais surtout face à une information perturbée, le rôle des processus d'apprentissage devient primordiale. Par conséquent, s'il doit y avoir des formes d'intégration permettant de maitriser ce type de complexité, elles doivent se fonder sur ces mêmes processus.

L'objet de ce texte est de montrer le rôle de la nature de l'information dans la définition de modes d'évaluation et d'organisation des entreprises. De cette analyse résultent deux constats: d'une part, les modes d'évaluation et l'organisation des entreprises doivent nécéssairement s'articuler autour de processus d'apprentissage dès lors qu'il existe une information perturbée et d'autre part, cette information perturbée rend incontournable le passage d'une rationalité absolue à une rationalité procédurale. Il faut cependant reconnaitre que ces deux constats ne font qu'ouvrir certaines interrogations et évoquer certaines pistes de recherche future.

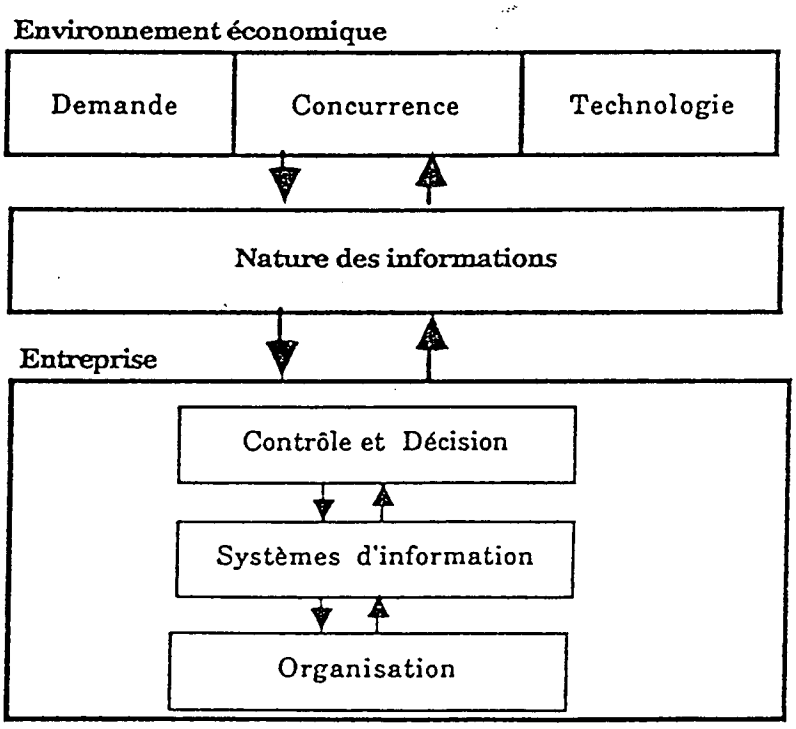


Figure 1: le modèle de référence

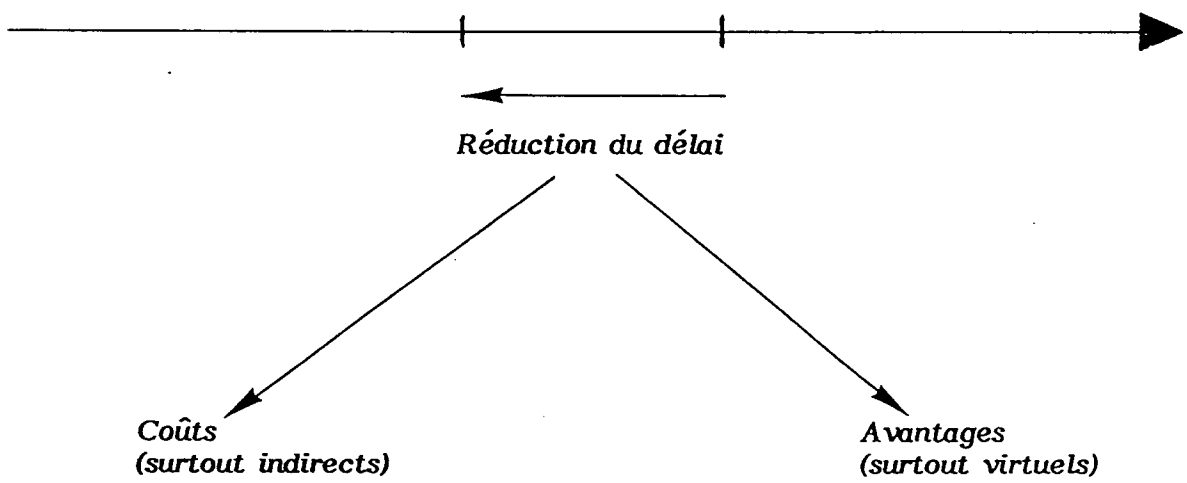

Réduction du délai
Coûts
(surtout indirects)
Avantages
(surtout virtuels)

FIGURE 2.

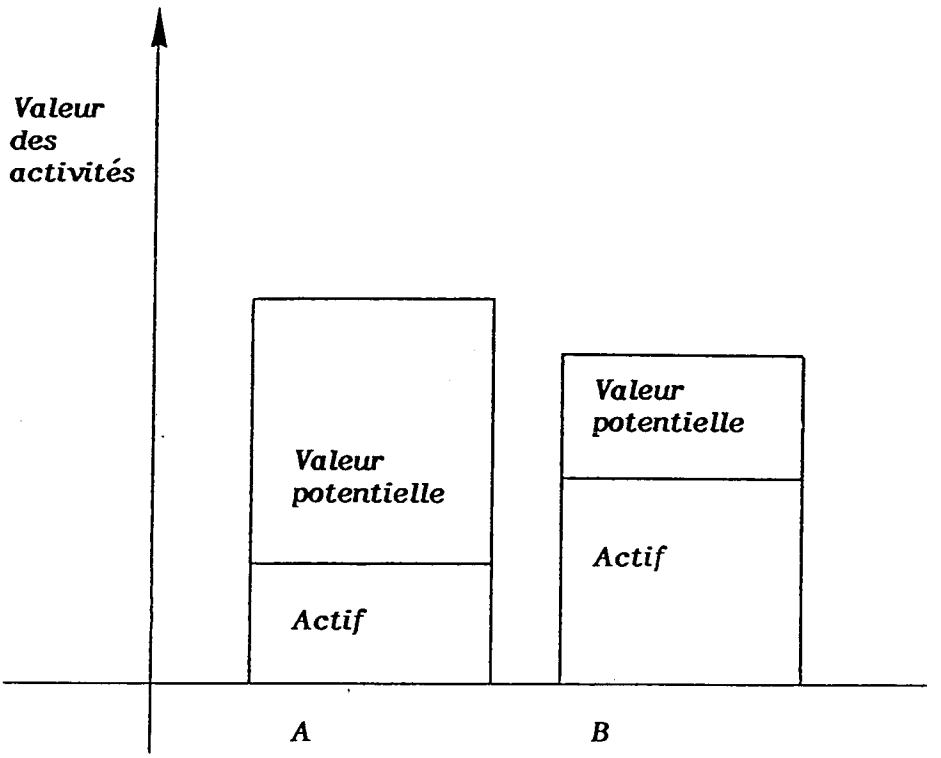

Valeur des activités
Valeur potentielle
Actif
Valeur potentielle
Actif
A
B

FIGURE 3

BIBLIOGRAPHIE

AOKI M. [1986]: "Horizontal versus vertical information structure of the firm", American Economic Review, Vol. 76, n°5, pp. 971-983.

BULTEL J. [1983]: "Flexibilité de production et rentabilité des investissements. L'exemple de la robotisation de l'assemblage solaire ou soudage par points", Revue d'Economie Industrielle, 4ème trim., 1983.

CASTI J. [1986]: "Manufacturing as a system determined science", I.I.A.S.A., Laxenbourg, 1986.

COHENDET P., LLERENA P. [1987]: "Flexibilités, complexité et intégrations dans les processus de production", in B. ANCORI et alii, "Evolution economique et théorie de l'informaiton", Rapport pour l'ARI Sciences de la Communication, ATP Droit et Economie de l'Information et de la Communication, Mars 1987.

COHENDET P., LLERENA P. [1989a] : "Flexibilité, information et décision", Economica, Paris, 1989.

COHENDET P., LLERENA P. [1989b] : "Flexibilités, risque et incertitude dans la théorie de la firme : un survey", in P. Cohendet, P. Llerena [1989a].

FAVEREAU O. [1989] : "Valeur d'option et fléxibilité : de la rationalité substantielle à la rationalité procédurale", in P. Cohendet, P. Llerena [1989a].

SMITH A. [1776] : "Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations", 1776, édition partielle en français, Gallimard, 1976.

APPRENTISSAGE INFORMATIONNEL ET RATIONALITE ECONOMIQUE DES CRITERES D'INVESTISSEMENT

par

Gilles LAMBERT

INTRODUCTION

L'impact d'une procédure d'investissement sur la firme n'est pas neutre, comme le considère l'analyse financière classique des investissements. Parallèlement aux flux financiers générés par le projet d'investissement, deux autres types d'effets peuvent être appréhendés par le calcul économique afin d'enrichir l'analyse d'influence de l'investissement sur l'entreprise.

Il s'agit, d'une part, d'analyser le rôle joué par la décision d'investissement sur la **capacité d'adaptation** à court et moyen termes de la firme aux prises avec des incertitudes sur le prix des intrants, sur le niveau et la nature de la demande et sur la technologie. Une façon d'y parvenir consiste à prendre en considération le degré d'irréversibilité de la décision en l'intégrant au calcul de la rentabilité de l'investissement (A. RICHARD [1982], G. LAMBERT [1988]). Il est important, d'autre part, de ne pas négliger la **dimension organisationnelle** de l'investissement pouvant générer des effets de structure qui dépassent le cadre strict classiquement retenu pour analyser le projet. En effet, un investissement est très souvent générateur d'apprentissages technologique et organisationnel, modifiant de façon significative la rentabilité attendue d'un projet. Certes, ce second aspect est parfois difficilement tangible au moment du calcul de rentabilité permettant de guider le choix des décideurs, et nous nous efforcerons de faire la part des choses en délimitant les portées de la méthode que nous proposerons.

Cette volonté d'ouvrir le champ d'investigation des critères de choix en matière d'investissement répond à un double objectif. Tout d'abord, elle permet, selon nous, de réhabiliter les critères d'investissement en les rendant mieux adaptés aux prises de décision dans un environnement économique incertain conduisant les décideurs à rechercher des solutions flexibles. Elle fait ensuite écho, en ce qui concerne le calcul de rentabilité au niveau de la firme, à l'évolution récente de l'analyse économique de projets publics dont l'ambition est d'évaluer tous les impacts d'un projet d'investissement au plan social (A.K. DASGUPTA, D.W. PEARCE [1972], E.J. MISHAN [1984], J. BENARD [1989]).Ces impacts peuvent être directs ou indirects (c'est-à-dire sortant du cadre du projet proprement dit), tangibles ou intangibles (c'est-à-dire n'ayant pas de valeur monètaire issue d'un marché). L' évaluation des projets d'investissement sur la base d'une analyse

---

La compréhension de cet article n'exige pas la lecture des modélisations en italiques. Celles-ci sont conçues comme support théorique aux idées que nous développons, et n'apparaissent que dans un but pédagogique.

coûts-avantages intègre des éléments tels que l'impact du projet sur la productivité du secteur ou de l'activité industrielle en générale, ou encore la mesure économique d'externalités négatives engendrées par le projet comme, par exemple, les nuisances environnementales (bruit, pollution,...). La méthode proposée pour analyser l'impact sur la productivité repose sur le modèle input-output qui retrace la diffusion intersectorielle du progrès technique en se basant sur une information macoéconomique provenant du tableau d'entrées-sorties. La mesure des effets de nature environnementale fait appel à deux techniques d'évaluation distinctes. La première consiste en une évaluation directe des dommages environnementaux générés par le projet (santé, habitations, corrosion des matériaux,...), et suppose par conséquent l'existence de nomenclatures fiables et homogènes en la matière. La seconde technique d'évaluation mesure indirectement ces effets en observant la dépréciation qu'ont subit, ou que pourraient subir, des biens et sites touchés par la pollution (valeur des immeubles par exemple). La valeur de la dépréciation est alors supposée égale au coût de la pollution, engendrée par le projet. De tels développements devraient avoir lieu au niveau du calcul économique de la firme, avec éventuellement d'autres méthodes de comptage, dans la mesure où le progrès technique issu d'un processus d'apprentissage comme les problèmes de pollution vont rétroagir sur la rentabilité escomptée de l'investissement.

Les travaux de H. SIMON [1976-1978] en ce qui concerne la rationalité des preneurs de décision constituent un point d'appui non négligeable afin de mener à bien notre projet. Il convient toutefois de préciser la nature exacte de cet emprunt à la théorie économique. Car, en effet, deux sens distincts, ne recouvrant pas les mêmes incidences théoriques, peuvent être donnés au concept de rationalité simonienne. Le premier, le plus couramment répandu, ne retient dans la **rationalité limitée** que le caractère fortement restreint des capacités de calcul du décideur. Cette constatation conduit à analyser le comportement du preneur de décision, non pas en maximisateur, mais en bon statisticien, se basant sur une information partielle. Malgré l'importance que revêt cette correction comportementale du point de vue scientifique, elle ne nous paraît pas fondamentale en vue de l'élaboration d'une règle de décision pouvant aider à la prise de décision dans l'entreprise. Le second apport simonien oppose le caractère **substantiel** et **procédural** de la rationalité du décideur. L'interprétation que nous pouvons faire de la rationalité procédurale, pour laquelle la façon dont a été élaborée la décision importe autant que le résultat financier direct attendu, révèle des dimensions intéressantes de l'investissement nous conduisant à corriger la manière d'aborder l'évaluation d'un projet pour la firme. L'introduction du concept de **valeur d'option** (C.HENRY [1974 a,b]) dans les critères classiques de choix d'investissement, constitue un premier pas significatif en ce sens.Le concept de valeur d'option est apparu de façon intuitive dans la littérature économique (B. WEISBROB, 1964) dans les domaines de décision où l'irréversibilité est la plus lourde de conséquence: la décision environnementale qui porte sur des actifs irremplaçables (une forêt par exemple). Elle correspond dans ce contexte à la valeur monétaire qu'un agent est prêt à payer pour la préservation de l'actif irremplaçable. Cette définition est proche du "test de compensation" d'Hicks-Kaldor (J.H. HICKS [1940], N. KALDOR [1969]) permettant de donner une valeur économique à des effets intangibles. Parallélement aux développements théoriques qui ont eu lieu autour du concept dans un cadre décisionnel statique (R. SCHMALENSEE [1972], C.J. CICCHETI- A.M. FREEMAN [1974], P. BOHM [1975], R.J. ANDERSON [1981], R.C. BISHOP [1982], V.K. SMITH [1983]), des cas d'applications ont eu lieu dans le domaine des décisions environnementales (A.M.III FREEMAN [1979], V.K. SMITH - W.H DESVOUGES - A. FISHER [1983], C.F. RUNGE [1984]).

Dans le cadre de la firme, le concept de valeur d'option permet, d'une part, de mettre en évidence la focalisation du décideur en situation d'incertitude sur les décisions les plus irréversibles. Cet argument conduit à un "sériage" dans les différents états du monde. Ce processus de sélection des perspectives de gains attachés à un projet va dans le sens d'un plus grand poids donné aux coûts des décisions irréversibles dans le calcul économique. Ce comportement explique des phénomènes de report d'investissement en vue de réaliser une décision d'investissement sur une meilleure base informationnelle (contexte d'information croissante). C'est le cadre classique des modèles de valeur d'option appliqués à la décision d'investissement (B.S. BERNANKE [1983], P. COHENDET [1983]). La valeur d'option met, par ailleurs, en évidence l'aptitude de certaines procédures d'investissement à générer des phénomènes d'apprentissage (G. LAMBERT [1987]). Ces procédures sont très souvent les plus lourdes, financièrement, et donc les plus irréversibles pour l'entreprise. La valeur d'option permet alors de prendre en compte des processus d'apprentissage au niveau du calcul économique (projet d'investissement générateur de progrès technique, par exemple). Ces effets d'apprentissage sont générés par la procédure d'investissement elle-même, et échappent à toute analyse classique en termes de dépenses/résultats.

Le point commun entre ces différentes évolutions des critères de choix en matière d'investissement réside dans la part qui est faite à **l'information** dans le processus décisionnel, ainsi que dans la distinction de nature de celle-ci (exogène ou endogène). Ainsi, dans un cadre procédural de décision, l'information est considérée comme étant un bien productif au même titre que les hommes ou les machines. Nous verrons, en effet, dans une première partie consacrée à la prise en compte des effets irréversibles de la décision d'investissement, que l'information sur les variables de l'environnement, pouvant influencer la rentabilité du projet d'investissement, est une variable stratégique. La seule perspective de son acquisition peut justifier le report d'un projet d'investissement (§1). Dans ce contexte, l'information de nature exogène peut faire l'objet d'une décision d'investissement au sens propre lorsque, dans le but d'accélérer son processus d'acquisition, l'industriel envisage de faire, par exemple, appel à un audit. Enfin, dans une seconde partie (§2),nous évoquerons en quoi l'investissement peut être lui-même générateur d'informations (concept d'information endogène) technologique et organisationnelle pour la firme, et ainsi par des effets de structure, rétroagir sur le niveau de rentabilité réel du projet.

§1. FLEXIBILITE D'ADAPTATION DE LA FIRME ET ANALYSE BAYESIENNE DE LA DECISION D'INVESTISSEMENT

Il existe des techniques très simples permettant de prendre en compte, dans le calcul d'investissement, le degré d'irréversibilité engendré par la décision d'investissement. Elles permettent de relier directement dans l'évolution financière d'un projet l'exigence de flexibilité et la rentabilité. C'est l'objectif de notre première section. Nous évoquerons, dans une seconde section, une attitude plus active vis-à-vis de l'information en analysant les possibilités d'achat d'informations stratégiques préalablement à la décision d'investissement.

1. Critère séquentiel a posteriori de décision d'investissement avec irréversibilité et croissance de l'information : le concept de valeur d'option

L'analyse financière d'un projet d'investissement délimite le diagnostic à l'aspect "dépenses-recettes" engendrées par celui-ci. Elle néglige, par conséquent, le fait que la décision d'investissement peut modifier les capacités d'adaptation de la firme. Le principe d'indépendance entre les plans d'investissement et de financement qui est au fondement des modèles d'évaluation financière des projets d'investissement (valeur actualisée nette, taux interne de rentabilité, etc ...) conduit à scinder le problème des ressources de financement avec celui de la rentabilité des projets. Cette rupture dans la chaîne causale des décisions, par ailleurs totalement justifiée quand il s'agit de comparer plusieurs projets, a eu pour conséquence de négliger l'incidence inverse, c'est-à-dire celle de la décision d'investissement sur la trésorerie de l'entreprise pendant toute la durée de vie du projet. Ceci explique pour une large part l'insuccès des critères de décision actuariels inadaptés à la prise de décision lorsque les variables environnementales contraignent la firme à une adaptation continue.

Si l'on considère comme stable l'environnement économique de la firme, les problèmes de trésorerie se posent au début du processus de décision, au moment du choix des sources de financement. Les propositions comptables reviennent à ne choisir que les solutions qui respectent un équilibre financier entre capitaux propres et endettement (A. CHARRUE [1980]). Elles se restreignent à l'examen du bilan annuel comptable. L'exigence qui consiste à respecter cet équilibre sur une période plus longue réside dans le choix d'un taux d'actualisation des bénéfices, reflet de la rentabilité minimale exigée d'un investissement (notion de coût du capital).

Dans un contexte d'instabilité de l'environnement économique, la trésorerie constitue une source perpétuelle de financement d'investissement, et donc, d'adaptation de la firme aux incertitudes affectant sa performance économique. R.A. THOMPSON & J. THUESEN [1985] font une proposition intéressante dans cette direction . Sur la base d'un critère séquentiel de décision basé sur la notion de valeur actuelle nette, les auteurs lient l'impact comptable engendré par la décision d'investissement au ratio d'autonomie financière. L'astuce théorique consiste à ne pas raisonner sur des cash-flows au niveau de la valeur actuelle nette, mais sur les **changements intervenus dans les fonds propres** (notion plus globale), et ceci pour chaque période de l'investissement. Toutefois, si l'idée est originale, le raisonnement tenu par les auteurs repose sur la notion d'utilité et suppose donc connu le degré d'aversion face au risque du décideur.

L'analyse bayesienne nous permet, au sein d'un critère unique de décision, de rétablir cette relation dynamique entre les exigences de trésorerie en vue d'une capacité d'adaptation de la firme et de la décision d'investissement. Elle permet :

- D'une part, d'introduire, dans un contexte de croissance de l'information,une hypothèse d'irréversibilité de la décision. Cette hypothèse s'oppose à la myopie du décideur dans les critères de choix d'investissement (P. COHENDET [1983]) qui considère l'investissement productif parfaitement fluide, c'est-à-dire à tout moment liquidable à sa valeur comptable.
- D'autre part, de comparer financièrement à chaque décision d'investissement la solution flexible qui consiste à reporter l'investissement et donc à bénéficier d'un surplus informationnel sur l'incertitude, au moment du choix.

Deux formalisations (A. RICHARD [1982], G. LAMBERT [1988]) intégrant ces aspects ont été proposées sur la base du critère de valeur actuelle nette. Elles proposent un critère de choix en matière d'investissement, directement applicable par l'entreprise, et aboutissent à une synthèse entre les objectifs de liquidité permettant à l'entreprise de réitérer ces choix et l'objectif de rentabilité globale de l'investissement.

Face au critère de prudence extrême, représenté par le délai de récupération et ses dérivés (temps de retour, ROI, etc ...), l'utilisation d'une valeur actualisée nette permet de rendre compte de la rentabilité globale d'un investissement sur l'ensemble de sa durée. Le critère que nous proposons débouche sur un processus de décision des projets d'investissement plus fin qui évite le va-et-vient observé dans la pratique (suivant l'état de la conjoncture) entre un critère de sélection exclusivement tourné vers le **retour des liquidités** (délai de récupération) et un critère de pure **maximisation des bénéfices** (valeur actuelle nette).

Modélisation du critère: Supposons qu'une entreprise, pour satisfaire sa demande en $t = 1$, envisage de réaliser un investissement de capacité en $t = 0$. Le niveau de demande n'est pas certain de se maintenir sur toute la durée de vie du capital productif. Une décision susceptible de modifier le niveau futur de la demande devant avoir lieu en $t = k-1$, elle n'entrera en vigueur qu'en $t = k$ ($k \in [1, 10]$), date à laquelle l'industriel anticipe deux états du monde possibles :

-l'état 1 avec une probabilité de réalisation Π : existence d'une concurrence extérieure forte en $t = k,...10$, et qui diminue en partie la demande à la firme,

-l'etat 2 avec une probabilité de réalisation $1 - \Pi$: la concurrence extérieure faible ne diminue pas la demande à la firme.

L'investissement dans la nouvelle capacité en $t = 0$ constitut un choix irréversible, et l'industriel devra subir des coûts de surcapacité dans le cas où l'état 1 se réalise. Le capital productif qui fait l'object de la décision d'investissement est divisible ex-ante, mais ne peut être décapitalisé ex-post. La concurrence est supposée se maintenir jusqu'à la fin de l'horizon et entraîne une baisse significative des cash-flows. La structure d'information est supposée parfaite, ce qui se traduit dans le critère par la connaissance en $k-1$ de l'état du monde qui va prévaloire en k.

Le problème pour l'entrepreneur consiste donc à prendre une décision d'investissement alors que l'information sur les conséquences de ce choix n'arrive qu'ultérieurement. Plusieurs stratégies sont donc possibles, chacunes d'elles donnant lieu à un résultat espéré qu'il conviendra de comparer.

Une décision irréversible (notée $\bar{d}$) consiste à réaliser, quel que soit l'état du monde futur, l'investissement de capacité (noté I) dans sa totalité en début de période. Cette décision permet d'améliorer les cash-flows des premières périodes en prenant le risque de subir des coûts de surproduction sur la fin de l'horizon

La valeur actualisée nette de cette décision irréversible s'écrit :

$$VAN_{\bar{d}} = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^{t} \overline{C_t} + \alpha^{k-1} \left((\Pi) \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} \overline{C_t^1} \right.$$

$$\left. + (1-\Pi) \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} \overline{C_t^2} \right) - I$$

où n : *durée de vie du capital,*
$\overline{C_t}$: *cash-flow de la période t,*
$\overline{C_t^i}$: *cash-flow de la période t dans l'état i*
I : *montant initial de l'investissement,*
α^t : *facteur d'actualisation.*

L'effet d'une baisse de la demande en t = k entraîne des coûts de surcapacité tels que :

$$\overline{C_t^1} < \overline{C_t^2}$$

Le décideur neutre vis - à - vis du risque réalisera la totalité de l'investissement I si :

$$VAN\ (\bar{d}) > 0$$

L'entrepreneur peut opter pour une ***décision flexible*** *(notée d) qui consiste à différer l'investissement. S'il est sensible au gain d'information (supposée ici parfaite) sur les états du monde qu'il peut obtenir de l'attente, il comparera la rentabilité d'une telle stratégie par rapport à la stratégie irréversible. Il investira donc en t = O dans la capacité juste nécessaire pour assurer le niveau de demande qui est certain. Il réalisera l'investissement de complément en k - 1 dans le cas où c'est l'état 2 qui prévaut. Une propriété de divisibilité du capital productif lui permet de différer une partie de l'investissement.*

La valeur actualisée nette s'écrit alors :

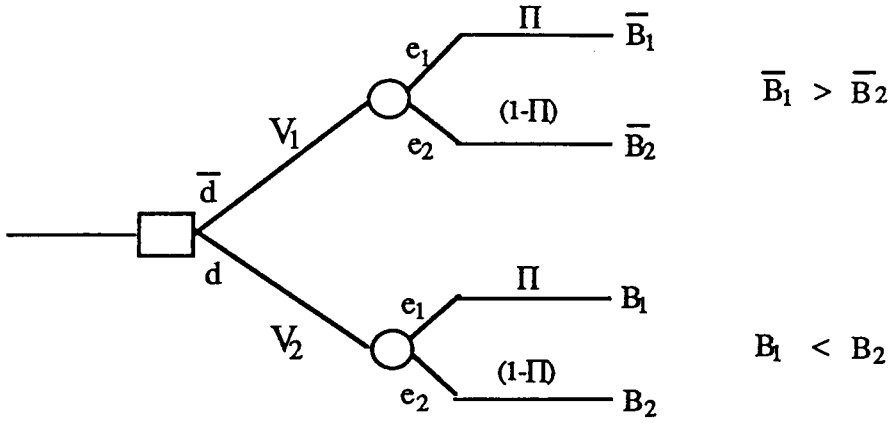
$$VAN_{d} = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^{t} C_t + \alpha^{k-1} \left[(\Pi) \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} C_t^1 + (1-\Pi) \left(\sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} C_t^2 - I_{k-1} \right) \right] - I'$$

où I' : *montant de l'investissement réalisé en t = o et correspondant au niveau de demande certaine.*

I_{k-1} : *montant de l'investissement différé.*

Pour être conforme à la réalité, supposons qu'un phénomène d'économies d'échelle existe en ce qui concerne le dimensionnement du capital productif. Il se traduit par l'inégalité suivante : $I < I' + I_{k-1}$.

Le choix du décideur consiste donc à comparer les solutions irréversible et flexible d'investissement conformément à l'arbre de décision ci-dessous:



$\overline{B}_1 > \overline{B}_2$

$B_1 < B_2$

Avec:

$$\overline{B}_1 = \alpha^{\kappa-1} \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} \overline{C_t^1}$$

$$\overline{B}_2 = \alpha^{\kappa-1} \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} \overline{C_t^2}$$

$$B_1 = \alpha^{\kappa-1} \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} C_t^1$$

$$B_2 = \alpha^{\kappa-1} \sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} C_t^2$$

et

$$VAN_{\overline{d}} = v_1 \qquad\qquad VAN_d = v_2$$

La stratégie flexible de report d'investissement permet d'éviter un état de surcapacité relatif à la demande du marché mais ceci au prix d'un manque à gagner dans les premières périodes tel que l'on vérifie les inégalitées suivantes:

$$\forall t \in [1, k-1] \quad , \quad \overline{C_t} > C_t$$

$$\forall t \in [k, n] \quad , \quad C_t^1 > \overline{C_t^1}$$

$$\overline{C_t^2} \geq C_t^2$$

Un degré d'aversion au risque supplémentaire peut être obtenu avec l'introduction de l'effet irréversibilité dans le critère de la valeur actuelle nette. Ce pas supplémentaire vers la prudence du décideur est franchi lorsque l'on utilise le concept de

valeur d'option tel qu'il est défini par C. HENRY (1974 b.) et B.S. BERNANKE (1983). Ce concept équivaut au regret que le décideur pourrait avoir s'il choisissait la stratégie irréversible. Il se note :

$$V = \Pi.\alpha^{k-1} \left(\sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} (C_t^1 - \overline{C_t^1}) \right) + (1-\Pi)\, \alpha^{K-1} \left(\sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} (C_t^2 - \overline{C_t^2}) \right)$$

Le critère de décision s'obtient alors en comparant cette valeur d'option avec les gains relatifs certains de la solution irréversible dans les premières périodes.
La solution flexible sera adoptée si :

$$V - \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t (\overline{C_t} - C_t) + I - I' - \alpha^{K-1} I_{K-1} > 0$$

Un degré de finesse supplémentaire entre les objectifs souvent opposés de maximisation du bénéfice et minimisation du risque d'illiquidité peut être obtenu dans le critère de sélection des projets, la solution consiste à déplacer le poids des exigences du décideur (mesurées en termes de probabilités subjectives) en faveur de la flexibilité.La valeur maximale de la perte encourue dans la seconde période s'écrit :

$$V' = \Pi.\alpha^{k-1} \left(\sum_{t=k}^{n} \alpha^{t-(k-1)} (C_t^1 - \overline{C_t^1}) \right)$$

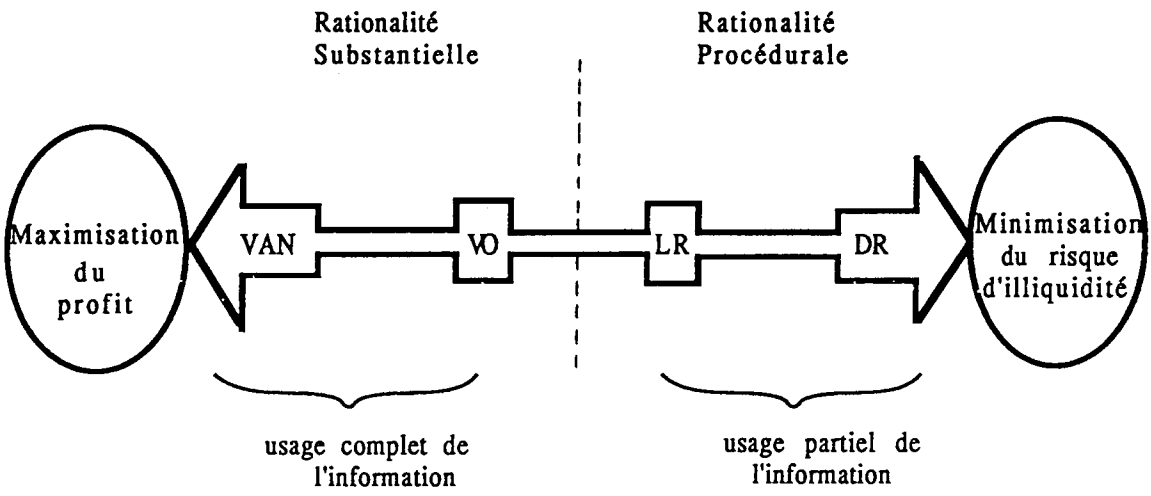
Le décideur , supposé neutre vis - à - vis du risque, comparera cette perte espérée maximale aux bénéfices certains des premières périodes (0, k-1) dégagés par la décision $\bar{d}$ par rapport à la décision d. Il n'investira pas tant que :

$$LR = V' - \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t (\overline{C_t} - C_t) + I - I' - \alpha^{K-1} I_{K-1} > 0$$

Le critère LR (Liquidité-Rentabilité) que nous proposons (G. LAMBERT [1988]) montre que, dans certains cas, le décideur se focalise sur les perspectives extrêmes lors d'une prise de décision dans un environnement instable. La rationalité d'un tel critère se rapproche de celle du délai de récupération dans la mesure où elle se base sur un usage incomplet de l'information disponible dans le but d'accroître la prudence du décideur. Le critère opère donc un glissement dans la rationalité relativement aux critères de la valeur actuelle et de valeur d'option puisque l'agent ne se comporte plus en pur maximisateur. Alors qu'avec la valeur d'option le critère de décision reste inscrit dans une rationalité **substantielle** intéressée par les résultats du choix, le critère LR débouche sur une rationalité de type procédurale proche de celle définie par (H.A. SIMON [1978]). Dans son comportement l'individu, explique H.A. SIMON, ne cherche pas à optimiser toutes ses décisions car le processus du choix est limité. L'agent ne maximise pas mais il choisit la

première solution qui le satisfasse. H.A. SIMON écrit : "*yet as economic analysis acquires a broader concern with dynamics of choice under uncertainty, it will become more and more essential to consider choice processes* ".

L'interprétation de la rationalité procédurale, présente dans le critère, est que l'objectif rationnel de maximisation du bénéfice cède le pas sur la préoccupation de l'agent à maintenir intact son espace de choix possibles futurs. La rationalité procédurale est donc ici entendue au sens où l'agent est sensible à la contrainte que les choix présents font peser sur les choix futurs. On peut synthétiser ceci à l'aide de la figure suivante :



Le cadre de la théorie bayesienne nous permet, autour d'une notion simple d'espérance mathématique de gains, d'échafauder un critère qui apporte une réponse à un dilemme souvent présent dans les procédures de choix d'investissement dans l'entreprise. Les aménagements apportés à la notion de valeur actualisée nette ont, tout d'abord, consisté à introduire l'irréversibilité de la décision d'investissement et, dans une seconde étape, à appliquer des correctifs sur la structure initiale d'information du décideur.

Ce deuxième aspect est fondamentale car il permet, dans un cadre décisionnel de neutralité vis à vis du risque, de réintroduire un degré de prudence dans le critère de décision. Les préférences du décideur sur la distribution des probabilités introduit un degré de prudence face au risque qui ne nécessite pas l'utilisation du concept d'utilité plus délicat à définir. Dans notre critère, le décideur ne déforme pas les valeurs monétaires (que reflète normalement la courbure de la fonction d'utilité), mais il va traduire son attitude face au risque en privilégiant une distribution de probabilités des états du monde. L'intérêt théorique d'une telle démarche réside dans le fait que le critère qui en découle ne fige pas le comportement du décideur, comme dans le critère d'utilité espérée, mais son aversion face au risque peut évoluer en fonction de son appréciation de l'incertitude. Dans un article éclairant à ce sujet, W. FELLNER [1961] montre que les distortions des probabilités subjectives, que peuvent introduire les agents dans certain cas avant de réellement prendre leur décision, reflètent leur réaction à l'incertitude. Les critère de décision proposés par M. ALLAIS [1986], et de façon plus prononcée encore par M.J. MACHINA 1983], font une large place à la distribution des probabilités dans l'attitude face au risque du décideur. M.J. MACHINA introduit la notion de **préférence sur les distributions de probabilités**, ces dernière ayant de fortes incidences sur le degré d'aversion face au risque du décideur.

Cette démarche présente un intérêt théorique et opérationnel évident dans la mesure où l'attitude face au risque peut varier sans que l'appréciation de la valeur d'une même perspective de gain change (notion d'utilité invariante), il suffit que se modifient les croyances du décideur (reflètés par les probabilités). Dans le critère que nous proposons, le degré de prudence du décideur est accru au voisinage de l'irréversibilité, et cela malgré l'hypothèse de neutralité vis-à-vis du risque au sens du ratio d'ARROW-PRATT (fonctions d'utilité linéaires).

La notion de temps séquentiel présente dans le critère classique de valeur actuelle nette est reléguée ici par un **temps de la mémoire** davantage préoccupé par l'incidence des décisions présentes sur l'ensemble de choix des périodes futures. L'investissement n'est plus indépendant de la capacité d'adaptation de la firme comme le considère la théorie financière, il l'influence, mieux, il la détermine. Ce critère bayesien de décision rompt avec les résultats classiques de l'analyse financière dans le sens où il montre qu'il est parfois opportun de rejeter un projet d'investissement, malgré une rentabilité escomptée strictement positive (VAN > 0). Avec ce critère, l'investissement n'est plus considéré comme un placement financier parfaitement liquide, mais comme un acte pouvant diminuer l'ensemble des choix futurs possibles. Ce résultat constitue une alternative théorique non négligeable à l'argumentaire communément utilisé pour décrire la décision de désinvestissement dans l'entreprise ; argumentaire qui repose sur le principe de la cession d'actifs supposant l'existence de marchés de l'occasion pour les équipements productifs (P. MASSE [1968], A. QUINTART & R. ZISSWILLER [1982]).

La présence explicite de l'irréversibilité dans les critères de choix enrichit considérablement l'analyse financière des projets et évite d'avoir recours à des critères exagérément tournés vers le court terme. Toutefois, nous pourrions franchir un pas supplémentaire dans l'évolution des critères de décision. En effet, le comportement du décideur décrit dans le critère précédent se situe dans un cadre **bayesien a posteriori**, c'est-à-dire dans un contexte où la décision doit être prise, connaissant la croissance de l'information au cours des périodes futures. Nous pourrions modifier ce cadre décisionnel en supposant que l'agent ait la possibilité d'accélérer ce processus d'acquisition de l'information en ayant recours à un conseil d'expert ou des études de marchés, par exemple. Le problème qui apparaît pour le gestionnaire revient à se prononcer sur le prix limite de cet investissement informationnel préalable à la décision d'investissement proprement dite.

2. Critère séquentiel pre posteriori : lorsque l'investissement informationnel précède la décision d'investissement

Le comportement du décideur décrit jusqu'ici consistait à attendre que la "Nature" (c'est à dire l'environnement économique de la firme) révèle les informations, afin de corriger la perception de l'incertitude et, progressivement, l'éliminer du problème de décision. L'apport essentiel consistait à introduire à la fois l'irréversibilité et la croissance de l'information supposée constante dans les critères classiques de décision. Toutefois, relativement à une attente passive de l'information, on peut se demander ce qu'il advient de la décision d'investissement lorsque le décideur a une politique de recherche active de l'information.

Le recours à un audit informationnel, en vue de diminuer la part d'incertitude dans les paramètres de décision de l'entreprise se réfère à un cadre décisionnel bayesien de type "pre posteriori", c'est-à-dire celui de l'examen de la valeur de l'information

supplémentaire (voir par exemple J.P. Védrine [1985]). Ce cadre peut être étudié selon deux perspectives. Il peut, tout d'abord, s'envisager comme **un moyen d'affiner la distribution des probabilités du décideur**, et ainsi, corriger ses croyances relatives à chaque état du monde. Mais l'évaluation des gains engendrés par une telle solution pose le problème de la connaissance a priori des résultats de l'expertise et conduit ainsi à remplacer, dans le critère de décision, les probabilités de l'agent par celles de l'expert. Si, techniquement, le cadre de la théorie bayesienne nous permet de résoudre le problème, le calcul à la période courante d'un tel critère exigerait la prescience du décideur industriel. La conséquence de ceci, au niveau du calcul économique, est que l'évaluation de la valeur des informations supplémentaires achetées à des audits nécessite de la part de l'acheteur une connaissance précise du contenu de cette information future.

La seconde perspective plus fructueuse pour le calcul économique consiste à examiner le cas où l'audit permet à l'industriel de connaître, dans la période courante, l'état du monde qui va prévaloir dans les périodes futures, et ceci avec un degré de fiabilité propre à la société qui fournit le service informationnel. L'audit ne corrige plus la distribution du décideur comme précédemment, mais il va tout simplement lui révéler l'état du monde avec un degré de fiabilité supposé connu.

Si, de plus en plus d'entreprises font appel à ce type de service afin de décider d'un investissement, déléguant ainsi à un tiers la recherche de l'information relative à l'environnement économique qui conditionnera la rentabilité du projet, la question de la valeur de l'information supplémentaire et du prix limite que ces entreprises sont prêtes à payer devient essentielle. En effet, la consultation d'expert est une pratique qui se développe surtout dans les secteurs d'activités sujets à un environnement économique dynamique (réduction de la durée de vie des produits, etc ...), et parfois instable. Ce recours à un organisme externe à l'entreprise est d'autant plus vital pour les entreprises dont la taille ne permet pas la réalisation par ses services d'études de marché propres, comme c'est souvent le cas pour les PME. Mais l'évaluation d'une recherche d'information supplémentaire concerne aussi bien les cas de consultation externe que ceux où le décideur réalise lui-même une étude de marché ou un marché-test qui l'éclairera sur l'état de la demande. Le problème qui apparaît alors, précèdant le calcul de la rentabilité d'un projet d'investissement, est celui de l'évaluation du recours à l'expert en tant que **surplus informationnel** pour le problème de décision. La réponse à ce problème nous conduit, par voie de conséquence, à rechercher les paramètres qui influencent la propension du décideur à acheter de l'information supplémentaire.

Modélisation du critère : L'entrepreneur tente ici d'évaluer la valeur des services de l'expert afin d'accepter ou de rejeter l'achat d'un supplément d'information. Il affecte aux services de l'expert un degré de fiabilité qu'il détermine sur la base de prévisions réalisées par celui-ci dans le passé. Nous supposerons, pour simplifier, que cette fiabilité de l'information, fournie par l'expert, est identique quel que soit l'état du monde, c'est-à-dire est indépendante des états de l'environnement. Ainsi, pour tout message I fourni, indiquant l'état du monde e, nous avons :

$$\Pi(I_1 / e_1) = \Pi(I_2 / e_2) = \alpha \qquad \textit{(bonne prévision)}$$

$$\Pi(I_1 / e_2) = \Pi(I_2 / e_1) = 1 - \alpha \qquad \textit{(mauvaise prévision)}$$

La probabilité que l'expert indique au décideur l'état e_1 résulte de ses propres probabilités subjectives sur chaque état (elles constituent l'unique base d'appréciation pour le décideur au moment du calcul. Il s'agit en fait d'évaluer un service informationnel avant d'en connaître le contenu exact.

Le théorème des probabilités totales nous donne la probabilité du décideur d'obtenir le message I_1 de l'expert. Elle s'écrit :

$$\Pi(I_1) = \Pi(I_1 / e_1) . \Pi(e_1) + \Pi(I_1 / e_2) . \Pi(e_2)$$

Précisons que $\Pi(I_1)$ est la probabilité subjective pour le décideur de recevoir le message I_1 de la part de l'audit. Elle dépend à la fois des croyances du décideur vis-à-vis de la loi d'occurrence des états du monde, ainsi que de la marge d'erreur qu'il prête à l'information reçue. Pour l'audit, cette probabilité sera sans doute différente, mais elle n'est pas connue ex-ante du décideur et ne peut donc fonder aucune base d'appréciation dans l'estimation de la rentabilité espérée.

Les probabilités de l'entrepreneur relatives à chaque état du monde sont complémentaires conformément au modèle précédent :

$$\Pi(e_1) = \Pi \qquad \text{et} \qquad \Pi(e_2) = 1 - \Pi$$

Par ailleurs, la théorie bayesienne des probabilités nous permet d'écrire les probabilités de chaque état conditionnellement à l'information reçue au début de l'horizon :

$$\Pi(e_1 / I_1) = \frac{\Pi(e_1) . \Pi(I_1 / e_1)}{\Pi(I_1)} = \frac{\Pi . \alpha}{1 - \alpha - \Pi + 2\alpha\Pi}$$

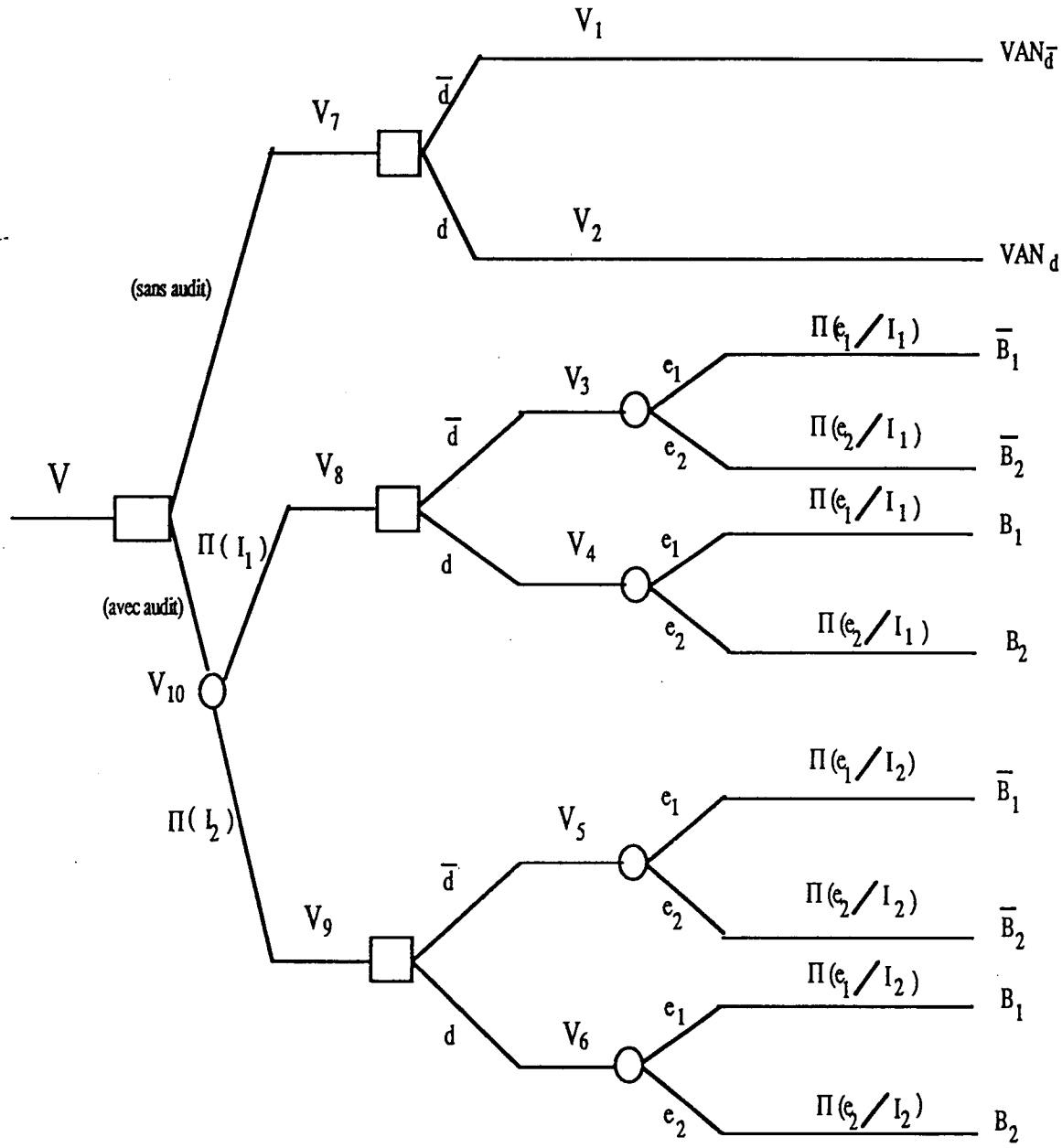
L'entreprise fait face au problème de décision suivant. Tout d'abord, elle peut avoir recours à l'audit et se fier entièrement à son information pour la décision d'investissement. Elle peut aussi poursuivre un processus bayesien classique d'acquisition de l'information, révélée par l'environnement. L'ensemble des cas de figure possibles sont représentés sur l'arbre de décision de la page suivante.
Les B_i correspondent aux valeurs actualisées des cash-flows dans l'intervalle [k,n] pour chacune des possibilités. Ils se définissent selon la décision retenue, ainsi que l'état du monde de la façon suivante :

$$VAN_d(e_1) = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t C_t + B_1 - I'$$

$$VAN_d(e_2) = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t C_t + B_2 . \alpha^{t-1} I_{k-1} - I'$$

$$VAN_{\bar{d}}(e_1) = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t \overline{C_t} + \overline{B_1} - I$$

$$VAN_{\bar{d}}(e_2) = \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t \overline{C_t} + \overline{B_2} - I$$



Les valeurs, sur chaque branche de l'arbre, sont les suivantes :

$V_1 = VAN(\bar{d})$ $\quad V_2 = VAN(d)$ $\quad V_7 = \max(V_1, V_2)$

$$V_3 = \Pi(e_1/I_1)\,\overline{B_1} + \Pi(e_2/I_1)\,\overline{B_2} + \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t \overline{C_t} - I$$

$$V_4 = \Pi(e_1 / I_1)\, B_1 + \Pi(e_2 / I_1)\, B_2 + \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t C_t - I'$$

$$V_8 = \max(V_3, V_4)$$

$$V_5 = \Pi(e_1 / I_2)\, \overline{B_1} + \Pi(e_2 / I_2)\, \overline{B_2} + \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t \overline{C_t} - I$$

$$V_6 = \Pi(e_1 / I_2)\, B_1 + \Pi(e_2 / I_2)\, B_2 + \sum_{t=1}^{k-1} \alpha^t C_t - I'$$

$$V_9 = \max(V_5, V_6)$$

$$V_{10} = \pi(I_1).V_8 + \pi(I_2).V_9$$

enfin $V = \max(V_7, V_{10})$.

Le prix limite que le décideur est prêt à payer pour le supplément informationnel se déduit en comparant V_7 *et* V_{10} *. Si le recours à l'expert permet d'espérer un gain substantiel, le prix limite n'est rien d'autre que la différence entre* V_{10} *et* V_7 *. Le prix limite p se définit alors de la manière suivante :*

$$p = \max(0, V_{10} - V_7).$$

Dans la solution que nous proposons pour résoudre ce problème, les hypothèses du critère évoqué précédemment sont reconduites (irréversibilité et croissance de l'information). La modification majeure provient du fait que désormais la première décision de l'entrepreneur concerne l'évaluation de la valeur des services de l'expert afin d'accepter ou de rejeter l'achat d'un supplément informationnel.

Une propriété tout à fait intéressante peut être dérivée de ce cadre décisionnel. Il s'agit du lien entre la valeur de l'information accordée par le décideur et le degré d'incertitude dans lequel il se trouve. Les résultats obtenus, par ailleurs, dans ce domaine, montrent la présence d'une forte complémentarité entre niveau d'incertitude et de la valeur de l'information. Cette relation n'est plus valable dans un contexte pre posteriori de la décision d'investissement où le prix que le décideur est prêt à payer pour obtenir l'information est indépendant du degré d'incertitude dans lequel il se trouve au départ. La proposition suivante peut être évoquée (voir G. LAMBERT [1989]) :

<u>Proposition</u> : Lors d'une procédure de décision pre posteriori d'investissement, la valeur de l'information supplémentaire est indépendante du degré d'incertitude dans lequel se trouve le décideur ; elle dépend exclusivement du caractère dissuasif de cette information, c'est-à-dire de sa capacité à faire changer d'avis le décideur.

Le modèle décrit ici permet aux entreprises d'avoir un critère de décision

intégrant l'étape préalable à la décision d'investissement qui correspond à la recherche d'information. L'acquisition du bien informationnel est alors analysée comme un investissement immatériel réalisé par la firme dans le but de choisir la meilleure décision d'investissement. Le couplage de l'effet irréversibilité et de l'évaluation du paramètre informationnel renforce l'incidence de la procédure d'investissement relativement à l'aspect strictement financier des critères de gestion classiques (valeur actuelle nette) puisque le choix du décideur ne porte plus exclusivement sur les résultats d'un projet d'investissement, mais également sur les éléments constitutifs de ce choix.

Enfin, le glissement du cadre a posteriori à un cadre pre posteriori de la décision, caractérisé ici par le recours à l'expert, débouche sur un statut différent du bien informationnel. Lorsque l'information est naturellement révélée par la nature, la valeur que le décideur accorde à celle-ci est fortement dépendante du paramètre d'incertitude. En revanche, cette dépendance n'est plus valable si l'information relative aux états du monde est révélée par un expert. C'est alors le caractère dissuasif de cette information vis-à-vis des différentes options qui va lui procurer de la valeur. Ainsi, l'apport informationnel du service proposé par l'expert sera d'autant plus important pour le décideur industriel que ses croyances initiales (caractérisées par les probabilités subjectives sur chaque état) sont proches du paramètre d'incertitude qui représente le point d'indifférenciation entre les projets d'investissement (notion de taux pivot d'I. FISCHER [1930]).

§2. LA DIMENSION ORGANISATIONNELLE DE L'INVESTISSEMENT

L'évocation de phénomènes d'apprentissage dans le domaine de la production industrielle n'est pas un fait nouveau. L'observation des courbes d'apprentissage dans différents secteurs de l'industrie (W.B. HIRSCHMANN [1964]) permettait de mettre en évidence un lien entre le volume d'investissement et les coûts de production. Dans ces travaux, qui reposent sur des mesures empiriques dans différents secteurs de l'industrie américaine, l'auteur montre l'existence d'économies d'échelle se traduisant par des coûts de production moindres et provenant d'un simple accroissement du volume de la production. Si l'effet mécanique de ces phénomènes d'apprentissage rencontre une limite au-delà de laquelle une augmentation du volume de la production va accroître le coût unitaire de production, W.J. ABERNATY - K. WAYNE [1974] font ressortir d'autres limites comme, par exemple, la perte de flexibilité qui peut entraîner la recherche d'économies d'échelle pour l'entreprise. L'arbitrage entre la flexibilité de la firme et la recherche d'économies d'échelle (provenant de phénomènes d'apprentissage générés dans une structure industrielle fixe) est présent dans l'outil d'aide à la décision, que nous proposons dans notre première partie. Dans un tel critère, l'observation ex post dont faisait l'objet ce type de phénomène est alors directement intégrée dans les plans du manager, c'est-à-dire au niveau du calcul ex ante de la rentabilité économique d'un projet.

1. Choix technologique et apprentissage organisationnel

La nature de l'apprentissage décrit au paragraphe précédent, correspond à ce que R.M. CYERT - J.G. MARCH (1963) appellent **l'apprentissage adaptatif**, qui consiste en une meilleure adaptabilité de la firme dans une structure industrielle stable. Plus récemment, certains travaux effectués en sociologie des organisations (J. CHILD [1972]) vont dans le même sens, en mettant en exergue la capacité d'adaptation des organisations face à des changements de l'environnement. Analytiquement, le comportement sous-jacent à ceci repose sur la description d'une interaction entre un décideur et un environnement purement exogène caractérisé par un ensemble d'états possibles. Dans cette optique, le décideur gère un système en supposant qu'il n'exerce aucune influence sur les variables d'état. La nature de l'information relative à ces états est donc purement **exogène**. En introduisant la possibilité d'une action possible de l'agent sur certaines variables d'état du système, nous pouvons déboucher sur des règles de comportement rationnel radicalement opposé à celui décrit préalablement, dans la mesure où l'investissement n'est plus vu comme une perte d'option, mais il peut être lui-même créateur d'options technologiques nouvelles.

De ce point de vue, si notre première approche des phénomènes d'adaptation revient à intégrer au moment du calcul d'investissement (dans la mesure du possible), l'effet d'apprentissage relatif au degré de flexibilité véhiculé par l'investissement, nous voudrions, ici, aller plus loin encore dans cette voie. Nous nous attacherons, en effet, dans cette partie, à élargir la prise en considération de tels phénomènes en ne les limitant plus à une structure productive donnée, mais concernant cette fois-ci des choix pouvant entraîner des changements de structure majeurs du système productif. Le problème que pose alors le calcul d'investissement est lié à l'extrapolation ex ante de tels changements pouvant intervenir dans les structures de production. Nous voudrions, à l'aide d'un exemple, montrer qu'il est parfois possible, sous certaines conditions, d'incorporer ces changements de structure dans le calcul de rentabilité ex ante, et ainsi se rapprocher d'une analyse de l'impact réel de l'investissement sur la firme.

Ce dernier aspect soulève le délicat problème des limites du champ que doit couvrir le calcul d'investissement dans la mesure où la technologie génère des solutions pouvant se diffuser dans l'entreprise, ou encore provoque des mutations irréversibles. En effet, l'impact d'un projet d'investissement peut être déterminé à différents niveaux. M.F. CANTLEY - D. SAHAL (1980) distinguent cinq niveaux d'impact : celui de l'équipement individuel, du process de production, de la compagnie, de l'industrie et de la société en général. Il est vrai que l'impact de certaines décisions d'investissement dépasse le cadre de l'équipement et touche au fonctionnement du process lui-même. Il semble évident que la rentabilité d'un projet qui résulte de ce découpage peut s'avérer très différente. Le calcul économique se doit de tenir compte, dans la limite de ce qui est quantifiable, de ces changements de structure pouvant survenir à un niveau plus général, suite à un investissement unitaire. Nous illustrerons ceci dans l'exemple qui suit où nous montrerons qu'un investissement unitaire, situé en amont du process de production, peut déboucher sur un processus d'intégration au niveau du process.

2. Critère d'investissement et apprentissage technologique : application à l'investissement énergétique

Lorsque l'agent peut, par son action, influencer certaines variables de l'environnement économique, un comportement possible du point de vue de l'objectif de rentabilité peut se ramener à une spécialisation ponctuelle sur des paramètres de l'investissement susceptibles d'être améliorés. Ce comportement s'oppose alors à la recherche de flexibilité évoquée précédemment dans la mesure où, pour un investissement énergétique, il privilégierait l'amélioration du rendement énergétique plutôt que le choix d'un équipement flexible fonctionnant avec l'énergie la plus avantageuse du moment. Le décideur effectue alors un "sériage" parmi ses différentes options technologiques (qui correspondent à des couples énergie-technologie) et l'objectif qu'il poursuit alors ne dépend plus que de l'état des variables qu'il contrôle pour ses actions. Pour revenir à l'investissement énergétique, le décideur n'ayant aucune action possible sur le prix des différentes énergies, va placer au centre de ces objectifs l'amélioration des rendements énergétiques de l'équipement. De ce fait, il endogénéise l'incertitude qui dépend alors de sa capacité à rationaliser le fonctionnement de sa technologie. Il s'affranchit par là même de l'aléa principal lié aux variations du prix des énergies. La capacité du décideur à générer du progrès technique revient à placer au centre de la décision d'investissement l'apprentissage technologique et relève d'une forme de rationalité procédurale plutôt que substantielle.

L'exemple industriel qui fonde notre raisonnement est tiré d'une étude réalisée par le BETA portant sur l'investissement énergétique dans la Chimie (BETA, 1984). Observant que le choix de l'équipement énergétique relevait plutôt de la sélection de l'énergie (électricité, gaz, fuel, charbon) la moins onéreuse sur la base d'un critère de sélection tourné vers le strict examen du bilan énergétique (notion de délai de récupération de l'investissement), la rationalité procédurale nous suggérait d'autres types de stratégies industrielles (G. LAMBERT, 1987 et 1988 [Partie III]). En effet, de ce point de vue, les énergies ne sont pas équivalentes car leurs potentialités d'évolution technologique respectives diffèrent. Les technologies basées sur l'électricité offrent notamment des possibilités de décentraliser la production de thermies nécessaires au fonctionnement de la production, par emploi de systèmes de chauffage direct du produit. La réduction des réseaux de vapeur, vecteur classique de transfert de la chaleur dans l'entreprise, permet l'élimination de pertes énergétiques et ouvre des possibilités nouvelles d'automatisation des process. Ce progrès technique peut s'expliquer en terme de **processus d'intégration** de la source d'énergie au process de production. Si cette intégration est parfaite, le système technique peut évoluer idéalement vers un optimum connu, proche de l'efficience de CARNOT, définie selon le second principe de la thermodynamique. Le choix ne relève plus alors d'une sélection de l'énergie dont le prix est le plus intéressant, mais de celle susceptible de conduire le système technique le plus près de l'optimum énergétique défini par les principes de thermodynamique. Le paramètre d'incertitude devient donc purement **endogène** puisqu'il va dépendre des efforts déployés par l'industriel en vue de réaliser cette intégration. Dans ce processus dynamique, le choix de l'énergie n'est pas neutre dans la mesure où l'intégration de l'énergie au process est une opération délicate, voire impossible, avec les différentes énergies fossiles (gaz, fuel et charbon).

Une procédure d'ingénierie dans le but de réaliser cette intégration couplée au choix de l'énergie qui pourrait générer les phénomènes d'apprentissage les plus prometteurs de ce point de vue (énergie électrique), nous permet d'aboutir à un critère de sélection. Celui-ci (G. LAMBERT, 1987) fait appel aux mêmes bases théoriques que précédemment fondées sur un critère bayesien avec irréversibilité des décisions, mais il intègre de surcroît un processus d'apprentissage technologique probabilisable par l'agent (structure croissante d'information) dépendant à la fois du choix de l'énergie et des efforts d'ingénierie déployés par l'industriel (efforts mesurables ex ante par le montant de R&D

consenti).

Modélisation du critère: Soit un horizon de production à deux périodes : une période présente dont les paramètres sont parfaitement connus et une période future comportant quelques paramètres incertains. L'horizon est supposé fini, excluant ainsi toutes possibilités d'investissement au delà de la seconde période. En début d'horizon, l'entrepreneur, supposé neutre vis-à-vis du risque, se trouve face à la nécessité d'effectuer un investissement énergétique de remplacement ou de modernisation . L'équipement a atteint un seuil de désuétude critique qui se traduit par une chute considérable des rendements énergétiques. Parallèlement à ce type d'équipement fonctionnant avec une énergie fossile (noté f), sont disponibles sur le marché des équipements à énergie électrique (notés e).

Le prix futur de l'énergie fossile est incertain, tandis que, le prix de l'énergie nouvelle est supposé constant sur toute la période. Nous considérons qu'à la seconde période un changement du prix de l'énergie fossile peut avoir lieu. Deux états du monde sont alors possibles :

- *l'état i dans lequel le prix de l'énergie fossile (p_f) reste inchangé,*

- *l'état j dans lequel le prix de cette énergie (p'_f) augmente de façon importante.*

Ces deux états du monde sont affectés par le décideur de probabilités subjectives telles que :

prob (i) = Π (stagnation des prix des énergies)
prob (j) = 1 - Π (renchérissement de l'énergie fossile).

La structure d'information est supposée parfaite, ce qui se traduit par le fait qu'à la fin de la première période, l'entrepreneur connaît parfaitement l'état du monde qui se réalisera à la seconde période. Le prix de l'énergie électrique est tel que :

$$p_f < p_e < p'_f$$

Plusieurs possibilités d'action s'offrent à l'entrepreneur.

La première solution ($\bar{d}$) consiste à acheter en début d'horizon un équipement neuf à énergie fossile, et rend impossible toute possibilité de passage ultérieur à l'énergie électrique durant la seconde période. Cette irréversibilité qui fige les choix sur l'ensemble des deux périodes provient de l'existence d'une contrainte de financement qui limite le nombre d'investissements pouvant être réalisés. Elle est renforcée par une absence de marchés de l'occasion pour les équipements productifs.

La seconde solution (d) consiste à différer l'investissement en connaissance de l'information sur l'état du monde. Toutefois, pour maintenir son activité à un niveau de rentabilité suffisant avec son ancienne technique, l'industriel réalise un investissement de modernisation dont le montant est bien inférieur à celui nécessaire pour l'achat d'équipement neuf.

Nous raisonnerons en termes de bénéfices espérés actualisés dégagés à chaque période. L'incidence de la manière dont est financé l'investissement, ainsi que les effets de l'amortissement sur l'assiette de l'impôt, sont supposés résolus dans la valeur du bénéfice espéré actualisé qui représente du point de vue comptable un bénéfice net après impôt.

L'achat en début d'horizon d'un nouvel équipement à énergie fossile engendre un bénéfice espéré actualisé

(noté r^N_f) à la première période. L'équipement neuf ayant en toute logique un meilleur rendement que l'ancien, l'opération de réfection de l'équipement existant procure à l'industriel un bénéfice noté r_f tel que sur tout l'horizon l' on ait :

$$r_f^N > r_f$$

L'investissement dans l'énergie électrique procure un bénéfice noté r_e tel que :

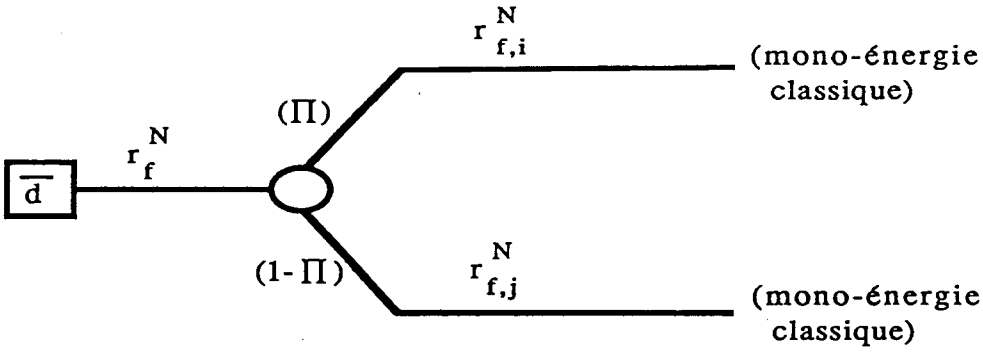
$$r_f^N > r_f > r_e$$

Etant donnés les prix relatifs entre les différentes énergies, le passage à l'énergie électrique ne sera pas envisagé avant la seconde période (en l'absence d'un délai d'installation important).

A la seconde période, les états du monde influencent la valeur de r^N_f de telle sorte que l'on ait :

$$r_{f,i}^N = r_f^N > r_f > r_e > r_{f,j}^N$$

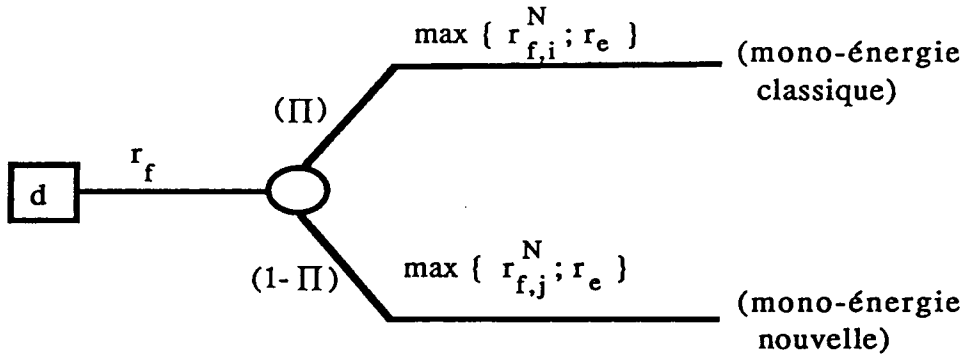
La détermination du gain total espéré (noté B) est obtenue en faisant la somme des bénéfices dégagés sur chacune des périodes. Pour la décision irréversible $\overline{d}$, nous pouvons tracer l'arbre de décision suivant :



Le gain total espéré s'écrit :

$$B(\overline{d}) = r_f^N + (\Pi)\, r_{f,i}^N + (1-\Pi)\, r_{f,j}^N$$

Pour la décision flexible notée d nous avons :



Le gain total espéré pour la solution flexible se note:

$$B(d) = r_f + (\Pi)\, r^N_{f,i} + (1-\Pi)\, r_e$$

Pour être en mesure de trancher entre les deux solutions qui se présentent à l'entrepreneur, nous pouvons utiliser le concept de ***valeur d'option.*** *Elle est alors obtenue si le décideur choisit en début d'horizon une décision irréversible d'investissement. La valeur d'option est égale à la valeur maximale du regret que pourrait avoir l'entrepreneur dans la seconde période s'il a pris une décision irréversible en début d'horizon. Elle s'écrit :*

$$V = (1-\Pi)[\, r_e - r^N_{f,j} \,]$$

Cette valeur, toujours positive, correspond à la différence entre les deux branches inférieures (état j) des arbres de décision. Pour que la solution d soit choisie, il faut que cette valeur soit supérieure aux gains certains que l'entrepreneur ferait s'il avait opté pour la solution irréversible en t = 0.
La valeur de ces gains s'écrit :

$$r^N_f - r_f$$

Ils représentent le coût de la flexibilité, c'est-à-dire la perte certaine que le décideur est prêt à subir pour conserver la possibilité de choisir en connaissance des états du monde. L'entrepreneur choisira de reporter l'investissement de remplacement si :

$$V = (1-\Pi)[\, r_e - r^N_{f,j} \,] > r^N_f - r_f$$

Nous introduisons ici une hypothèse supplémentaire de progrès technique possible pour la

technologie à énergie électrique. Ce progrès technique consiste en une intégration de l'énergie au processus. Il est supposé être le résultat d'une activité de recherche et développement interne à l'entreprise et donne lieu à une incertitude endogène probabilisée de la manière suivante :

- Etat g : $prob(g) = \rho_\alpha(\alpha, I)$

où α *: durée d'utilisation annuelle de la technologie à énergie électrique* $(0 \leq \alpha \leq 1)$ *;*

I *: dépense en recherche et développement.*

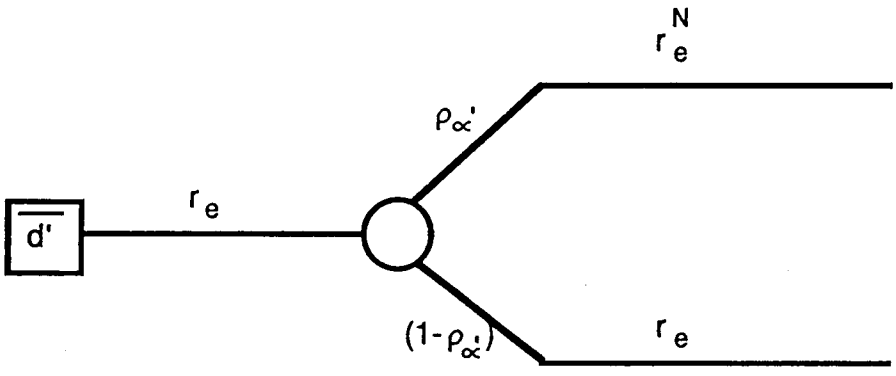
ρ_α *représente la probabilité de réussite du processus d'intégration, elle est une fonction croissante de* α *et de I. Remarquons que l'activité de recherche développement pourrait être réalisée par une société d'ingénierie externe à l'entreprise. Dans ce cas alors la probabilité de réussite* ρ *correspondrait à une incertitude exogène à l'entreprise.*

$$d\rho_\alpha / d\alpha > 0$$
$$d\rho_\alpha / dI > 0$$

- Etat h : $prob(h) = 1 - \rho_\alpha$

C'est la probabilité complémentaire de ρ_α *qui caractérise l'échec du processus de recherche - développement pour l'intégration de l'énergie au process.*

Relativement aux stratégies évoquées précédemment, le décideur peut réaliser un investissement irréversible en début d'horizon en investissant dans l'énergie électrique qu'il utilise sur toute l'année $(\alpha' = 1)$*. Dans une telle stratégie, la probabilité de réussite de l'intégration sera supérieure à une solution de type bi-energie ou le processus de recherche et developpement ne peut fonctionner que pendant la periode tarifaire d ete. L'arbre de décision sera le suivant :*



Le bénéfice d'une telle décision s'écrit :

$$B(d') = r_e - I + \rho_\alpha' . r^N_e + (1 - \rho_\alpha') r_e$$

Supposons, conformément aux hypothèses faites sur les résultats de l'intégration et le niveau des prix relatifs, que :

$$r_e^N > r_{f,i}^N > r_e > r_{f,j}^N$$

La condition de rentabilité exige que cette valeur dépasse la dépense initiale engagée par l'entreprise dans l'activité de recherche-développement.

Si la décision d est optimale sans progrès technique, la décision $\overline{d'}$ peut ici dominer si :

$$B(\overline{d'}) > B(d)$$

ou encore :

$$\rho\alpha \; r_e^N + (\Pi - \rho\alpha)\, r_e - \Pi \, r_{f,i}^N > r_f - (r_e - I)$$

Le membre gauche de cette inégalité correspond au concept de valeur d'option qui mesure la perte anticipée d'avoir choisi l'équipement flexible et non l'équipement mono-énergie électrique pour réaliser le processus d'intégration. Cette valeur d'option est d'un intérêt non négligeable sur le plan théorique car contrairement au modèle précédent, elle vient cette fois créditer une décision irréversible d'investissement.

Les résultats auxquels nous parvenons sont intéressants dans la mesure où ils montrent qu'une réponse optimale à l'incertitude exogène sur les prix des énergies peut ne plus l'être si l'on considère la capacité d'évolution de la technologie. En effet, une pure stratégie d'adaptation aux aléas de l'environnement de la firme met en exergue des stratégies flexibles qui conduisent à des statégies de report d'investissement (flexibilité financière) ou de bi-énergie (flexibilité des procédés). Si l'on ajoute le paramètre informationnel endogène du progrès technique, un investissement mono-énergie, rigide relativement à l'incertitude sur les prix de l'énergie, peut s'avérer le plus intéressant. Ce résultat s'explique par le fait que la solution technique adaptée renferme une plus grande flexibilité entre les différents états que peut prendre la technologie (dont l'étape ultime est connue ici et correspond au second principe de la thermodynamique), en vue d'une solution parfaitement intégrée. Avec de telles considérations, la procédure d'investissement devient primordiale puisqu'elle permet de positionner le système technique sur une trajectoire optimale tendant à minimiser les coûts de production à long terme conformément à une rationalité de type procédurale.

3. L'ingénierie simultanée : un exemple d'investissement en rationalité procédurale

L'ingénierie simultanée correspond à un contrat de collaboration passé entre un producteur et un fournisseur d'équipement en vue d'élaborer une solution commune. Ce concept a été mis en place par COMAU (concepteur de système de production italien) pour l'assemblage automatique des chaînes de montage automobile. Cette démarche repose sur la décision d'association avec un concepteur de procédés de production le plus tôt possible, c'est-à-dire avant que l'objet technique à réaliser soit entièrement défini par le producteur.

Le but recherché est d'adapter l'objet à fabriquer, dès sa phase de conception, aux contraintes de la production automatisée seules réellement connues de l'équipementier. Relativement à une procédure classique d'appel d'offre de la part du constructeur en vue de sélectionner l'équipementier qui proposerait la solution la meilleure, l'ingéniering simultanée consiste à choisir une collaboration technologique précoce, avant même que la solution technique ne soit élaborée. L'investisseur accepte donc une perte de flexibilité vis-à-vis du choix de l'équipementier et parie sur une activité d'ingénierie commune permettant d'aboutir à la solution technologique la plus satisfaisante. Le développement simultané d'une pièce et d'un outil doit permettre de mieux adapter le produit fabriqué à la production automatisée, et ainsi, d'économiser du temps de développement pour l'équipementier.

L'application de cette démarche à la construction du moteur du modèle Fiat Uno aurait permis, selon le constructeur automobile, de réaliser un gain de temps d'environ 10 mois, alors qu'un déroulement classique aboutit à la réalisation de l'unité de production au bout d'une période de gestation estimée à 46 mois. Nul doute que, dans ce secteur industriel, le gain de temps évoqué provenant d'un processus interactif d'apprentissage constitue un avantage comparatif majeur.

Cet exemple nous montre que la flexibilité n'est pas uniquement un attribut du bien d'investissement, mais peut résulter de la dimension organisationnelle qui fonde la procédure d'investissement : "*L'organisation est analysée systématiquement en termes d'apprentissage, individuel ou collectif, pour des (groupes d') individus-types, procéduralement rationnels* " (O. FAVEREAU, 1989, p.340).

Si ce choix ne relève pas d'un calcul économique explicite de la part du décideur, il est intéressant de noter que le motif qui guide un tel comportement correspond à la prise en considération d'un processus d'apprentissage généré par un arrangement contractuel entre producteur et équipementier. La procédure décisionnelle ne consiste plus à investir pour du progrès technique exogène mais à mettre en place dans l'entreprise des mécanismes qui le génère. Cette endogénéisation du paramètre d'incertitude place au tout premier plan la façon dont la décision d'investissement se prend (partenariat technologique) en pariant sur des processus d'apprentissage, conformément aux principes de la rationalité procédurale. Paradoxalement, l'irréversibilité dans un tel contexte perd la connotation négative acquise face à un environnement marqué par l'instabilité, pour devenir une source de restructuration de la firme permettant de répondre aux perturbations technico-économiques. L'adaptation ne se fait plus "passivement" par la gestion de la variété, mais de manière active par l'apprentissage.

CONCLUSION

L'élargissement du champ de la rationalité économique des décideurs permet d'intégrer deux caractéristiques majeures des investissements pourtant absentes des critères de choix en matière d'investissement. Il s'agit, d'une part, de rendre sensibles les critères de sélection aux **effets d'irréversibilité** qu'entraînent certaines décisions d'investissement et, d'autre part, de ne pas occulter **la dimension organisationnelle** (ou organisatrice) de l'investissement qui peut générer des apprentissages technologiques

capable de déserrer l'emprise des variables environnementales sur la firme. Ces deux axes de développement, nous les traitons à l'aide du concept simonien de rationalité procédurale.

D'autres formes d'apprentissage organisationnel ont été répertoriées. Dans sa typologie des systèmes d'apprentissage organisationnel, P. SHRIVASTAVA (1983) dénombre quatre formes possibles. Deux d'entre elles au moins recoupent les processus d'adaptation décrits ici, à savoir l'apprentissage organisationnel en tant qu'**adaptation au changement** et qu'**institutionnalisation des effets d'expérience.** Les deux autres formes d'apprentissage organisationnel correspondent à la **modification des présupposés communs** et au **développement des connaissances sur la base des relations entre actions et résultats.** Si ces formes n'ont pas été directement étudiées ici, il nous semble qu'un critère bayesien avec une structure d'information croissante les intégre déjà partiellement au niveau du calcul économique. En effet, ces deux types d'apprentissage se situent à la base de la constitution d'une structure d'information initiale (expérience passée) et de son reparamétrage dans le temps en fonction des résultats obtenus (probabilités conditionnelles).Ils ont fait l'objet de développement plus poussés en ce qui concerne le fonctionnement de la mémoire humaine à travers la notion d'auto-organisation (voir B. ANCORI ci-dessus). L'apprentissage organisationnel aboutissant à la révision des présupposés communs qui fondent les principes de toute organisation est présent dans la théorie de l'action (C. ARGYRIS - D.A. SCHÖN [1978]), comme dans le modèle de promulgation - sélection - maintien (K. WEICK [1969]), dans lesquels l'adaptation nécessite parfois de l'individu qu'il bouleverse les règles, invente de nouvelles stratégies dans le but de pérenniser l'organisation. Du point de vue des problèmes de gestion, ces changements majeurs ayant lieu de façon conjoncturelle dans les orientations de la firme sortent du cadre du calcul de rentabilité des investissements proprement dit, et donc de notre champ d'investigation. D'autre part, l'organisation peut être vue comme un lieu de tranformation (des inputs en outputs) qui génére un processus continu d'apprentissage organisationnel (R.L.M. DUNBAR et al. [1982], J. DUTTON - R. B. DUNCAN [1981]). Chaque décision dans la firme est simultanément analysée et profite à la connaissance globale de l'organisation. A travers cette vision, l'organisation industrielle est idéalement perçue comme un champ d'expériences et, elle est capable, sur la base d'actions/résultats, de faire face à toutes les situations.Or, nous nous appercevons qu'il faut souvent du temps pour que la firme puisse caractériser les facteurs de changement survenus dans son environnement, et que l'inertie des structures en place renforce l'incapacité de celle-ci à s'adapter. Ce problème s'observe de façon notoire en gestion lorsqu'il s'agit de mettre en place une nouvelle comptabilité analytique reposant sur un découpage différent de la firme (voir V. GIARD [1988]). Il est présent en ce qui concerne la mise en place d'une gestion à flux tendus, ou encore dans la prise en compte dans les calculs de rentabilité de l'investissement immatériel (voir A. MARION [1987]).

Les développements autour des notions d'apprentissage adaptatif et technologique, dans le cadre du calcul économique devraient permettre de jeter une passerelle entre praticiens et théoriciens des investissements dans la mesure où les dimensions de l'investissement auxquelles sont sensibles les premiers (irréversibilité, apprentissage technologique) entrent dans le processus d'évaluation au même titre que les arguments financiers qui fondent les critères de décision. Les réflexions autour de la rationalité procédurale pour l'évaluation des investissements devraient venir combler le vide théorique existant entre les critères d'extrême prudence, souvent employés par les décideurs et les critères actuariels proches de la notion de valeur actuelle d'un projet.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAIS M. (1986)
"The general theory of random choicies in relation to the invariant cardinal utility function and the specific probability function",Centre d'Analyse Economique.

ANDERSON R.J.Jr. (1981)
"A note on option value and the expected value of consumer's surplus", Journal of Environmental Economics and Management, Vol.8,pp.187-191.

ARGYRIS C. - SCHÖN D.A. (1978)
"Organizational Learning : A Theory of Action Perspective", Reading, Mass. : Addison-Wesley.

ABERNATHY W.J. - WAYNE K. (1974)
"Limits of the learning curve", Harvard Business Review, September-October, n°5.

BENARD J. (1989)
"Calcul économique public : conflit des paradigmes et résistance des organisations et des mentalités", Revue d'Economie Politique, n°2, pp.307-321.

BERNANKE B.S. (1983)
"Irreversibility, uncertainty and cyclical investment", Quarterly Journal of Economics, Vol.98, n°1.

B.E.T.A. (1974)
"Chimie et Electricité", rapport réalisé pour le Ministère de l'Industrie, EdF et cinq groupes de l'Industrie Chimique Française.

BISHOP R.C. (1982)
"Option value : an exposition and extension", Land Economics, Vol.58,n°1, pp.3-15.

BOHM P. (1975)
"Option demand and consumer's surplus : comment", The American Economic Revue,Vol.65,n°4,pp.733-736.

CANTLEY M.F. - SAHAL D. (1980)
"Who learns what ? A conceptual description of capability and learning in technological systems", R.R.-80-42 ; International Institute for Applied Systems Analysis, Austria.

CHARREAUX G. (1980)
"Critères de choix des investissements : une clarification des critères de la valeur nette actualisée et du taux interne de rentabilité", Revue Française de Gestion, 1980.

CHILD J. (1972)
"Organizational structure, environment and performance. The role of strategic choice", Sociology, n°6.

CICCHETI C.J. - FREEMAN A.M. III. (1971)
"Option demand and consumer surplus : further comment", Quarterly Journal of Economic, n°85.

COHENDET P. (1983)
"Le concept de temps dans l'oeuvre de K. ARROW", miméo BETA, Programme STS.

CYERT R.M. - MARCH J.G. (1963)
"A Behavioral Theory of the Firm", Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.

DASGUPTA A.K. - PEARCE D.W. (1972)
"Cost Benefit Analysis : Theory and Practice", McMillan.

DUNBAR R.L.M. - DUTTON J.M. - TORBERT W. R. (1982)
"Crossing mother; ideological constraints on organizational improvement", Journal of Management Studies, Vol.19,pp.91-108.

DUTTON J. - DUNCAN R. B. (1981)
"The process and threats to sensemaking and their relationship to organizational learning", Working paper, Kellog Graduate School of Management, Northwestern University.

FAVEREAU O. (1989)
"Vers un calcul économique organisationnel ?", Revue d'Economie Politique.

FELLNER W. (1961)
"Distortion of subjective probabilities as a reaction to uncertainty", Quarterly Journal of Economic,pp.670-689.

FISHER I. (1930)
"Theory of interest", MacMillan.

FREEMAN A.M.III. (1979)
"The benefits of environmental improvement", John Hopkins University Press, Baltimore.

GIARD V. (1988)
"Gestion de production : évaluation économique et prise de décision", Revue Française de Gestion.

HENRY C. (1974 a)
"Investment decisions under uncertainty : the irreversibility effect", The American Economic Review.

HENRY C. (1974 b)
"Option value in the economics of irreplaceable assets", Review of Economic Studies.

HICKS J.R. (1940)
"The valuation of social income", Economica.

HIRSCHMANN W.B. (1964)
"Profit from the learning curve", Harvard Business Review.

KALDOR N. (1969)
"Welfare comparisons of economics and interpersonal comparisons of utility", in K. ARROW and T. SCITOVSKY (eds), Readings in Welfare Economics, London, pp.387-389.

LAMBERT G. (1987)
"Modèle de décision avec information endogène : application aux investissements énergétiques", projet de recherche BETA/CNRS sur "L'évolution économique et théories de l'information".

LAMBERT G. (1988)
"Choix d'investissements : un nouvel outil de décision", Revue Française de Gestion, n°68.

LAMBERT G. (1989)
"Une analyse bayesienne 'pre posteriori' de la décision d'investissement", working papers BETA, n°8906.

MACHINA M.J. (1983)
"Generalised expected utility analysis and the nature of observed violations of the independance axiom", in STIMUM et WENSTOP (eds), Foundations of Utility and Risk Theory with Applications, pp. 263-293.

MARION A. (1987)
"Problèmatique financière de l'investissement immatériel", Analyse Financière.

MASSE P. (1968)
"Le choix des investissements", Dunod.

QUINTART A. - ZISSWILLER R. (1982)
"Investissements et désinvestissements de l'entreprise. Pratiques et méthodes", Dalloz.

RUNGE C.F. (1984)
"Energy exploration on wilderness : 'privatization' and public lands management", Land Economics, Vol.60, n°1, pp.56-68.

SCHMALENSEE R. (1975)
"Option demand and consumer's surplus : reply", The American Economic Revue, Vol.65., n°4, pp.736-737.

SHRIVASTAVA P. (1983)
"A typology of organizational learning systems", Journal of Management Studies, n°20.

SIMON H. (1976)
"From Substantive to Procedural Rationality", in Latsis, S., ed., Method and Appraisal in Economics, Cambridge University Press.

SIMON H. (1978)
"Rationality as process and as product of thought", American Economic Review, Vol.68.

SMITH V. K. (1983)
"Option value : a conceptual overview", Southern Economic Journal.

SMITH V.K. - DESVOUGES W.H. - FISHER A. (1983)
"Estimates of the option values of water quality improvements", Economic Letters, Vol.13,pp.81-86.

THOMPSON R.A. - THUESEN J. (1985)
"Dynamic investment criteria for capital budgeting decisions", Engineering Economist, Vol.31.

VEDRINE J.P. (1985)
"Techniques quantitatives de gestion" , Editions Vuibert Gestion.

WEICK K. 1969)
"The Social Psychology of Organizing", Reading, Mass.: Addison-Wesley.

WEISBROD B. A. (1964)
"Collective Consumption Services of Individual Consumption Goods", Quaterly Journal of Economic, Vol.78,pp.471-477.

CONCLUSION GENERALE

Dans *Le cahier bleu*, Ludwig Wittgenstein soulève l'un des principaux paradoxes tenant à la réflexivité du langage, à savoir que chaque sujet parlant constitue un point de perspective privilégié sur le monde - une limite de ce dernier, plutôt que l'un de ses contenus. Selon ce philosophe en effet, on peut distinguer deux modes d'usage du mot "je" (ou "moi") : un usage objectif, désignant une personne particulière et laissant une porte ouverte à l'erreur (comme dans "j'ai grandi de douze centimètres"), et un usage subjectif, ne désignant aucune personne particulière et où il est impossible de se tromper (comme dans "j'ai mal aux dents"). Et il poursuit :

"Cependant le mot 'je' se réfère bien à la personne qui parle, qui se désigne, et bien souvent celui qui dit 'je' se montre lui-même du doigt. Mais cette désignation est parfaitement superflue, il pouvait aussi bien lever la main que pointer le doigt vers lui-même (...) Le mot 'je' n'a pas la même signification que L. W., pas plus qu'il n'a la même signification que l'expression : 'la personne qui parle en ce moment'. Mais cela ne veut pas dire que L. W. et 'je' désignent des choses différentes. Cela signifie simplement que ces deux termes sont des instruments différents de notre langage." (1)

Ainsi, L. W. constitue l'un des contenus du monde, mais non "je" : en tant que sujet, celui-ci est *atopos*, sans place assignée dans le monde dont il parle. Et pourtant, quand "je" parle, "je" fais quelque chose, comme quand "je" grandis de douze centimètres. Commentant ce paradoxe, P. Ricoeur en montre le seul dénouement possible, c'est-à-dire l'*ancrage* du sujet parlant dans le monde par son inscription en celui-ci :

"On ne peut en sortir en effet qu'en admettant une certaine corrélation entre ce *je* qui, d'une certaine façon, n'appartient pas au monde dont il parle, et un certain événement du monde dont il est parlé (...) l'énonciation est dans ce sens elle-même un événement qui arrive. Cette énonciation à la fois participe du statut du *je*, situé en quelque sorte hors du monde, et consiste en une des singularités désignées par voie ostensive dans ce monde (...) Ne faut-il pas mettre en corrélation le *je* vécu et ancré, et une tranche de l'histoire du monde? (...) la corrélation est assurée par le corps propre, organe propre de l'ancrage d'un *je*, qui, de *je* vacant *(shifter)*, devient *moi, Un tel*. Quand je dis : 'moi, P. R., né à...le...', je désigne à la fois mon existence insubstituable et ma place dans l'état civil. Cette double désignation constitue l'ancrage lui-même". (2)

---

(1) L. Wittgenstein, "Le Cahier bleu et Le Cahier brun. Etudes préliminaires aux "Investigations philosophiques", suivi de "Ludwig Wittgenstein", par N. Malcolm, Gallimard, 1965, p. 127.

(2) P. Ricoeur, "Individu et identité personnelle", in "Sur l'individu", Colloque de Royaumont, Seuil, juin 1987, pp. 63-65. La proposition selon laquelle l'énonciation est un "événement qui arrive", renvoie ici à la proposition, souvent citée, qui ouvre le "Tractatus logico-philosophicus" du premier Wittgenstein : "Le monde est tout ce qui arrive".

Avec ces quelques remarques d'ordre philosophique, nous ne nous sommes qu'apparemment éloignés du sujet traité dans les pages qui précèdent. En réalité, le paradoxe soulevé par L. Wittgenstein, et son dénouement proposé par P. Ricoeur, nous installent au centre de la problématique commune à l'ensemble des contributions au rapport qui s'achève ici. En effet, au-delà de la distinction entre un système artificiel, dont le constructeur comprend la structure et les fonctions parce que c'est lui qui l'a fabriqué, et un système naturel que nous observons, et dont nous n'avons qu'une compréhension imparfaite, surtout s'il est organisé hiérarchiquement en plusieurs niveaux d'intégration, H. Atlan nous invite à considérer une autre distinction, tout aussi fondamentale que la précédente : celle qui sépare les systèmes naturels que nous observons sans en faire partie, de ceux où tel n'est pas le cas, c'est-à-dire les

"systèmes naturels humains où l'observateur est en même temps partie ou totalité du système. Nous avons vu que notre approche suppose que nous ne connaissions pas l'information que le système a sur lui-même, avec ses différentes significations possibles. C'est dire que, transposée aux systèmes humains, sociaux en particulier, elle implique un point de vue particulier où nous faisons comme si nous ne connaissions pas le sens pour nous de ce que nous vivons nous-mêmes, soit comme individus organisés, soit comme éléments du système social. Ce point de vue n'est pas autre chose que le postulat ou parti pris d'objectivité, conséquence de l'extension de la méthode scientifique aux phénomènes de notre vie. On voit en quoi ce parti pris néglige une part importante, peut-être essentielle, de l'information dont nous pouvons disposer. On ne fait ici que toucher du doigt les limites de cette méthode transposée à l'analyse des phénomènes humains; là, volontairement, et alors même que nous avons le choix et pouvons faire autrement, nous négligeons le subjectif pour ne considérer ces phénomènes que du point de vue d'un observateur extérieur, qui n'aurait aucune information du type de celle que le système a sur lui-même. Comme si l'observateur ne se confondait pas avec la totalité du système, s'il s'agit de l'individu, ou avec un de ses composants, s'il s'agit du système social." (1979, p. 94).

Le parti pris d'objectivité scientifique, dont H. Atlan souligne ici les limites, n'est plus aujourd'hui qu'une forme de scientisme héritée du siècle dernier : I. Prigogine et I. Stengers montraient avec éclat son caractère obsolète, en proposant les voies d'une "nouvelle alliance" situant l'homme dans le monde qu'il décrit (1), au moment même où le concept d'auto-organisation introduit par H. Atlan faisait une percée décisive dans notre *épistémè*. C'est précisément une telle démarche, déjà bien engagée dans les sciences traitant de systèmes "naturels", que nous voulions suivre dans l'analyse de l'évolution de ce système éminemment social qu'est le système économique : c'est afin de situer l'*homo oeconomicus* au coeur de ce dernier, que chacun de nous a envisagé, de manière plus ou moins explicite et sous des angles divers, *un organisme dont la rationalité était limitée, évoluant dans un environnement incertain que son évolution même contribuait à rendre plus incertain encore pour d'autres organismes*. C'est ainsi le monde dans son ensemble, c'est-à-dire le composé organisme-et-environnement, que nous voyons baigner dans l'incertitude, et non simplement l'environnement de chacun de ces organismes considérés tour à tour comme parfaitement déterminés et *atopoi* : plutôt qu'une juxtaposition d'incertitudes *partielles*, il s'agissait pour nous d'analyser une incertitude *générale*.

---

(1) I. Prigogine et I. Stengers, "La nouvelle alliance. Métamorphose de la science", Gallimard, 1979

Bien qu'encore implicite, une telle préoccupation était sensible dès l'ouverture de ce volume, avec l'article de M. Willinger. En rapportant de manière critique les expériences révélant l'instabilité du système de préférences de l'agent individuel, cet article débouchait logiquement sur la recommandation d'"ouvrir" la "boîte noire" du décideur afin de comprendre la "technologie de la décision". L'organisme ici considéré était l'agent économique individuel confronté à un choix, et révélant à cette occasion l'instabilité d'un système de préférences qui changeait manifestement avec le contexte de présentation des options possibles. Ce contexte, tenant lieu d'environnement à l'organisme en question, imprimait donc sa marque à celui-ci, qui devenait par là-même évolutif - cet environnement étant lui-même sujet à variations. A condition de ne pas considérer le décideur comme *atopos*, mais immergé au contraire dans le monde économique, il est alors facile d'admettre que l'évolution de son système de préférences ne peut pas rester sans impact sur les systèmes de préférences d'autres agents, et qu'il engendre nécessairement en retour une bonne part de l'incertitude à laquelle se trouvent désormais confrontés ces derniers.

La contribution suivante est venue expliciter cette double dimension, par laquelle l'incertitude affectant *ex ante* la prise de décision d'un agent donné ne laisse pas d'exercer *ex post* certains effets sur l'incertitude entourant *ex ante* la prise de décision d'autres agents. L'organisme considéré par B. Ancori était l'*homo cogitans*, et son environnement était constitué d'autres organismes du même type, avec lesquels il entrait, ou non, en communication. Du point de vue de chaque organisme engagé dans une telle communication, celle-ci signifiait un gain net d'information - chacun faisant à cette occasion l'apprentissage de lui-même. Par contre, envisagée dans l'optique de l'observateur ou, plus généralement, dans celle de tout organisme tiers, exclu de la communication considérée, celle-ci avait pour effet d'accroître la complexité du système. Car à long terme, ce dernier était lieu d'une complexité croissant indéfiniment : l'augmentation de redondance , qui ne cessait d'accompagner cet accroissement de complexité, ne rejoignait celui-ci qu'à supposer déterminée une fois pour toutes l'extension du lexique utilisé par les agents durant leurs communications. Dès lors que ce lexique était susceptible d'être continuellement réalimenté par l'introduction de parties nouvelles - éventuellement obtenues par les effets de renforcement de parties initiales, négligés par le modèle présenté ici -, la diversité du système devenait proprement inépuisable.

Le trend de la complexité des systèmes économiques concrets décentralisés est vraisemblablement ascendant depuis l'apparition de la pensée abstraite en Occident : catégorisant similitudes et différences perçues dans les stimuli en provenance de son environnement, et recombinant continuellement les catégories ainsi obtenues, une telle pensée ne peut qu'engendrer un nombre croissant de telles combinaisons à l'intérieur d'un nombre croissant de niveaux hiérarchiques de catégorisation. Mais cette complexité nous est rendue davantage sensible aujourd'hui parce qu'elle est toujours plus largement incorporée aux objets matériels produits avec une sophistication sans cesse accrue par la technologie. Telle est probablement la raison pour laquelle les concepts d'auto-organisation recensés dans la troisième contribution à ce rapport, ont surtout été utilisés dans l'analyse du changement technique.

Dynamique de l'industrie, compétition technologique, structuration du système de production, technologie en tant que telle, ou évolution globale de la société : à tous les niveaux envisagés comme ressortissant à un processus auto-organisé par P. Garrouste et J.-A. Héraud, la sphère plus ou moins agrégée de la production - de la société globale à la technologie en passant par l'industrie et la firme - est saisie comme un organisme évolutif, lié à un environnement changeant selon une multitude de flux cybernétiques. Il demeure néanmoins qu'aucun des modèles évoqués n'apparaît véritablement capable d'expliquer l'émergence du nouveau en termes auto-organisationnels : mis à part le *learning by using* de N. Rosenberg, qui ne se réfère pas explicitement à un concept précis d'auto-organisation, et l'analyse de D. Sahal, qui repousse le problème en faisant de la croissance le moteur de l'évolution, tous ces modèles traitent de telle ou telle *modalité* d'innovation, sans jamais apporter d'explication à l'émergence de l'innovation *en tant que telle*. Peut-être est-ce faute d'avoir pris la véritable mesure des implications du concept d'auto-organisation, judicieusement rappelées par P. Garrouste et J.-A. Héraud dans leurs remarques finales : issu d'interactions avec l'environnement, l'apprentissage non programmé d'un organisme produit nécessairement une double augmentation de complexité - chez l'organisme lui-même, qui s'auto-informe en apprenant, comme dans l'environnement que cet organisme contribue simultanément à mettre en forme. C'est cette double dimension du concept d'auto-organisation que notre rapport a exploré successivement dans ses deux derniers articles.

P. Llerena et P. Cohendet ont d'abord montré une firme évoluant en s'auto-informant - au sens précis donné à l'instant à ce terme. Auparavant liée de manière stable à un environnement certain ou parfaitement prévisible en termes probabilistes, la figure la plus moderne de la firme est celle d'un organisme dynamique, capable de réagir très rapidement à toute modification perçue dans les variables d'état décrivant son environnement pertinent - firmes concurrentes, états de la technologie et de la demande. Ce modèle de réactivité de la firme, insérée dans le monde de l'incertain après avoir connu celui du certain puis du divers, contraint ainsi celle-ci à repenser totalement son organisation interne. La mutabilité de l'ordre des opérations effectuées en son sein, comme l'interdépendance des phases productives, signalent que des processus en réseaux ont succédé à des processus séquentiels. La structure des coûts, maintenant surtout liés à l'agencement des opérations, est ainsi privée de son ancienne propriété d'additivité. De sorte que la frontière entre gestion interne et relation économique de la firme au marché, auparavant aussi clairement marquée que la distinction entre économie et gestion en tant que disciplines académiques, est devenue d'autant plus floue que l'environnement externe de la firme s'est révélé davantage incertain. A présent central, l'objectif de flexibilité dynamique commande d'intégrer le mieux possible la firme, ce qui impose de reconcevoir en profondeur les critères et méthodes d'évaluation de la production. La firme étant assimilée à un organisme dont la rationalité limitée met tout optimum global hors de portée, la définition de procédures locales de recherches de solutions, visant idéalement à répondre instantanément aux signaux provenant aléatoirement de l'environnement, impose aux normes de gestion d'être extraverties : à horizon temporel donné, ce sont désormais des temps de réaction qu'il s'agit de valoriser afin d'apprécier le degré d'optimalité de chaque décision.

L'organisme envisagé par P. Llerena et P. Cohendet n'était autre que le décideur, ou le gestionnaire, ici rendus à leurs subjectivités : l'idée même d'un outil de d'évaluation universellement valable, quel que soit le décideur et quel que soit l'horizon hiérarchique ou temporel de ce dernier, doit être abandonnée - en particulier, l'outil de mesure du comptable n'est plus nécessairement celui du responsable de la stratégie. Dans une structure aussi dépendante de la rapidité de perception et de circulation de l'information que celle de la firme analysée ici, l'intégration des flux informationnels passait par un enrichissement des tâches demandant à l'apprentissage efficace de se situer à un niveau logique supérieur à celui qui se serait contenté d'enregistrer invariablement l'information : davantage que d'être capable d'apprendre, l'aptitude à faire face à une gamme indéfinie de situations imprévues suppose d'être capable *d'apprendre à apprendre*.

Dans le cinquième article de ce rapport, G. Lambert montrait alors que la décision d'investissement pouvait être synonyme d'un tel apprentissage pour la firme, dans la mesure où l'investissement réalisé engendre des effets de réorganisation au sein de celle-ci. Nous retrouvons ainsi la notion d'addition interne de processus dans une unité de production, jadis introduite par N. Georgescu-Roegen : loin de se limiter à juxtaposer un processus nouveau aux processus déjà installés, une telle addition modifie la morphologie même de l'unité de production, de sorte que les processus anciens perdent leur identité pour en acquérir une nouvelle en venant se fondre dans le composé nouvellement produit par leur conjonction avec les processus additionnels. C'est précisément aux effets d'apprentissage issus d'une telle addition que N. Georgescu-Roegen attribuait une première phase de rendements croissants dans la séquence des économies d'échelles d'une unité de production (1). L'organisme évolutif était donc identifié par G. Lambert à la firme dans son activité d'investissement, dont la valeur mesurée par le gestionnaire devait incorporer celle de l'*auto-information* impliquée. Le rapprochement avec l'article précédent est ici évident. Mais la contribution de G. Lambert allait au-delà, en suggérant que la firme *mettait en forme son environnement* : l'investissement réalisé est susceptible d'exercer une influence non négligeable sur les variables d'état de ce dernier. C'est ainsi la deuxième dimension indissociable d'un processus auto-organisateur qui apparaissait ici explicitement, et ceci par le biais de l'investissement considéré comme un moyen privilégié de créer de la redondance au sein de la firme, tout en complexifiant l'environnement de ses concurrents.

La nature de l'objet commun à toutes les contributions de ce rapport est à présent évidente. Comme il est évident que l'analyse de cet objet demande à l'économiste de bouleverser les frontières traditionnelles de sa discipline et de forger de nouveaux concepts. Les concepts usuels ont été construits pour analyser un *homo oeconomicus* atomistique, défini comme une moyenne au sein d'un espace homogène, car entièrement calculatoire, alors que nous devons penser ici l'agent économique comme une structure, riche de sa diversité, et occupé à calculer au sens large plutôt qu'au sens strict.

---

(1) Cf. N. Georgescu-Roegen, "La Science Economique. Ses problèmes et ses difficultés", Dunod, 1969, pp. 55-59, et "The Entropy Law and the Economic Process", Harvard University Press, 1971, pp. 105 sq.

En effet, dans ce monde évolutif et incertain dont il participe pleinement, l'agent économique nous est apparu en mesure de trier, classer, permuter, combiner, comparer, substituer, transcodifier, etc. Bref, un tel agent est susceptible d'effectuer bien d'autres opérations que celles que recouvre le sens mathématique restreint du concept de calcul, où ce concept désigne un ensemble d'opérations arithmétiques, et d'étendre ses processus cognitifs bien au-delà de ceux qui permettent de procéder à une optimisation sous contraintes - même si cet au-delà est simultanément un en-deçà, puisqu'une telle procédure semble ici être le plus souvent hors de portée pour l'agent. C'est dire que toute notion de stratégie optimale n'est pas absente de la problématique dont nous venons de rassembler les principaux traits. Bien au contraire, nous avons vu ces stratégies s'ordonner autour d'un objectif d'équilibre dynamique, servi par deux grand types de comportements à l'égard de flux informationnels alternativement reçus ou émis.

Quel que soit le cadre dans lequel ils se sont présentés, le premier type de comportement, associé à une pure réception d'information, consistait à transformer une complexité d'origine environnementale en redondance interne à l'organisme considéré, alors que le second, lié à une émission d'information, signifiait plutôt création de complexité dans l'environnement, sous forme de projection sur ce dernier, par l'organisme, d'une redondance que celui-ci engendrait simultanément à l'intérieur de lui-même. En somme, alors qu'un agent observant le premier comportement se contentait d'auto-information, un autre agent, observant le second, rassemblait en lui la double dimension d'un processus d'auto-organisation. C'est pourquoi le premier peut bien être *auto-organisé*, seul le second est véritablement *auto-organisateur*. Ce n'est qu'avec ce dernier que l'auto-organisation acquiert son plein sens de transformation active du système par auto-information d'un sous-système.

Ces deux stratégies ne sont donc pas alternatives, car leurs rationalités respectives ne s'inscrivent pas dans le même horizon temporel, mais plutôt complémentaires, car leurs rationalités respectives dépendent l'une de l'autre : l'objectif ultime de l'agent étant de participer de manière optimale à l'évolution du système en conservant, de période en période, sa part actuelle dans l'information totale circulant au sein du sous-système représentant son environnement pertinent, la première est une stratégie de courte période, d'autant moins rationnelle pour un agent donné qu'il existe un nombre important d'agents adoptant la seconde, alors que celle-ci est une stratégie de longue période, d'autant plus rationnelle pour un agent donné qu'il existe un nombre important d'agents adoptant la première. En définitive, la portée du concept de valeur d'option, employé dans le cadre classique où cette valeur non négative est associée à la décision réversible en présence d'information croissante, doit donc être relativisée : dès lors que l'information attendue par un agent (produite de manière exogène à lui, mais présentant par définition une certaine valeur à ses yeux) provient d'un autre agent appartenant à son environnement pertinent et adoptant la seconde stratégie évoquée ci-dessus, la décision du premier n'est pas aussi réversible qu'il le croit. Pour ce qui est du partage de l'information circulant entre eux - complexité pour le récepteur, redondance pour l'émetteur -, il a nécessairement une période de retard sur le second.

TABLE DES MATIERES

Page

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE ..... I-V

STABILITE DES PREFERENCES ET CONTEXTE EXPERIMENTAL
(par Marc WILLINGER) 4

1. Introduction 5

2. L'inversion des préférences (Préférence reversal) 7

2.1. Le résultat expérimental 7
2.2. Des interprétations divergentes 9
2.3. Les implications du phénomène d'inversion 11

3. Le "Framing" 12

3.1. L'expérience de McNeil & al. (1982) 12
3.2. Le "framing" des conséquences 13
3.3. Les implications du "framing" 14

4. Biais liés au traitement de l'information 16

4.1. L'expérience de Ronen (1971) 16
4.2. L'expérience de Tversky & Kahneman (1986) 17

5. La réalité de l'expérience 18

6. Vers une alternative à l'hypothèse d'optimisation ? 21

Bibliographie 25

MEMOIRE, AUTO-ORGANISATION ET CHOIX
(par Bernard ANCORI) 28

Introduction 29

Première étape : l'invention de la mémoire 31

1. Mémoire et théorie de la localisation fonctionnelle 31

2. Contre la localisation fonctionnelle 34

a. L'homme qui ne savait pas lire ce qu'il avait écrit 34
b. Hughlings-Jackson, Freud, Penfield et Gloor : l'importance du contexte pour la remémoration 37
c. Contexte et signification 40

3. Darwinisme neuronal et mémoire inventive 43
a. Limites de la reconnaissance automatique 43
b. Darwinisme neuronal et mémoire inventive 45

Deuxième étape : l'auto-organisation d'après H. Atlan 50

1. L'auto-organisation selon H. Atlan 52

2. Signification de l'information dans un système hiérarchisé 58
a. Ordre par le bruit versus bruit organisationnel 59
b. Complexité et complication 60
c. Trois mesures de complexité 60
d. Première approche de la signification de l'information 61
e. Signification de l'information dans un système hiérarchisé 63

Troisième étape : Mémoire, auto-organisation et choix 66

1. Mémoire, auto-organisation et problématique de l'apprentissage 66

2. Un modèle d'apprentissage non dirigé, avec création d'information 72
2.1. Première formalisation d'un état du système 73
2.2. Déplacement du niveau d'analyse significatif et création de l'information 76
2.3. Indices de redondance et de complexité 80

3. Complexité du système et choix individuel 82
3.1. Comparaison des modèles 82
3.2. Complexité, communication et choix individuel 85

Conclusion 96

Bibliographie 97

AUTO-ORGANISATION ET CREATION TECHNOLOGIQUE
(par Pierre GARROUSTE et Jean-Alain Heraud) 99

1. Introduction à la notion d'auto-organisation 100
1.1. L'émergence de l'auto-organisation en économie 101
1.2. L'approche du changement technologique par le modèle de l'auto-organisation 104

2. Les conceptions originelles de l'auto-organisation 105

2.1. L'auto-organisation chez H. Atlan 106
2.2. L'auto-organisation chez H. Maturana et F. Varela : autopoièse et autonomie 107
2.3. L'auto-organisation chez I. Prigogine et I. Stengers 109

3. L'analyse des changements technologiques en termes d'auto-organisation
3.1. La dynamique d'une industrie comme processus d'auto-organisation 111
3.2. La compétition technologique comme processus d'auto-organisation 115
3.3. L'industrie comme système autonome 116
3.4. La technologie comme système auto-organisé 118
3.5. L'évolution comme processus global d'auto-organisation 121

4. Remarques finales 123

Notes 125

Bibliographie 127

NATURE DE L'INFORMATION, EVALUATION ET ORGANISATION DE L'ENTREPRISE
(par Patrick LLERENA et Patrick COHENDET) 132

Introduction 133

1. L'évolution des systèmes de production : d'un régime d'information stable à un régime d'information perturbée 135
1.1.Le modèle de standardisation ou le monde de certitude 136
1.2. Le modèle de variété ou le monde du divers 138
1.3. Le modèle de réactivité ou le monde de l'incertain 139

2. La recherche de flexibilité et évaluation en information perturbée 142
2.1. Flexibilité statique 142
2.2. Flexibilité dynamique 144
2.3. Vers des normes de gestion "extraverties" 146

3. Une interprétation de l'évolution des systèmes de production et du rôle de l'intégration 152
3.1. Le rôle de l'intégration comme facteur-clé de fonctionnement des systèmes de production 153
3.2. Le choix stratégique de l'intégration dans le modèle de réactivité 159

Les modifications qu'implique le fonctionnement en régime d'information perturbée 159
L'importance du flux informationnel 161
Figure 1 167
Figure 2 168
Figure 3 169

Bibliographie 170

APPRENTISSAGE INFORMATIONNEL ET RATIONALITE ECONOMIQUE DES CRITERES D'INVESTISSEMENT
(par Gilles LAMBERT) 171

Introduction 172

§1. Flexibilité d'adaptation de la firme et analyse bayesienne de la décision d'investissement 174
1. Critère séquentiel a posteriori de décision d'investissement avec irréversibilité et croissance de l'information : le concept de valeur d'option 175
2. Critère séquentiel pre posteriori : lorsque l'investissement informationnel précède la décision d'investissement 181

§2. La dimension organisationnelle de l'investissement 186
1. Choix technologique et apprentissage organisationnel 187
2. Critère d'investissement et apprentissage technologique : application à l'investissement énergétique 187
3. L'ingénierie simultanée : un exemple d'investissement en rationalité procédurale 193

Conclusion 194

Bibliographie 196

CONCLUSION GENERALE 201