



**HAL**  
open science

## Prospective et prévision technologique

Claire Ancelin, Michel Godet

► **To cite this version:**

Claire Ancelin, Michel Godet. Prospective et prévision technologique. [Rapport de recherche] Centre national de l'entrepreneuriat(CNE); Centre d'études des systèmes et des technologies avancées. 1983, 98 p., figures, graphiques. hal-02185164

**HAL Id: hal-02185164**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02185164>**

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.

**PTT**

Télécommunications

**Service de la Prospective  
et des Etudes Economiques**

**CESTA**

Centre d'Études  
des Systèmes  
et des Technologies Avancées

5, rue Descartes 75005 Paris  
Téléphone 634 33 33  
Télex : CESTA 250795 F

7E6  
4336

**PROSPECTIVE ET PREVISION TECHNOLOGIQUE**

DOSSIER MÉTHODOLOGIQUE PRÉPARÉ PAR

- CLAIRE ANCELIN, D.G.T.  
SERVICE DE LA PROSPECTIVE ET DES  
ETUDES ECONOMIQUES (SPES)
- MICHEL GODET, CESTA/CNAM

---

JANVIER 1983

POURQUOI CE DOSSIER METHODOLOGIQUE ?	3
A - PROSPECTIVE ET PREVISION : DIFFERENCES ET COMPLEMENTARITES	5
1. Critique de la prévision	7
2. La prospective n'est ni la futurologie ni la prévision mais une science de l'action et de l'antifatalité	9
3. Utilité et limites de la prospective	13
4. Pour le pluralisme et la complémentarité des approches de prospective et de prévision	16
5. Le choix d'une technique de prévision	20
B - OUTILS DE PREVISION TECHNOLOGIQUE (exemples)	22
1. L'analyse morphologique	23
2. Les courbes en "S" : la méthode de Gompertz	29
3. Les méthodes Delphi et cross impacts	33
4. Les défauts de la prévision technologique	43
C - METHODE DES SCENARIOS	48
1. Les scénarios : bref historique et définition	49
2. Construction de la base	56
3. Elaboration des scénarios	61
4. Aide à la décision	66
5. Les méthodes MICMAC et SMIC	68
D - PROBLEMES ET METHODES : L'ANCIEN ET LE NOUVEAU	78
1. Recherche d'une méthodologie générale de prévision	79
2. Un nouveau défi pour la prévision	82
E - SOMMAIRES DE QUELQUES OUVRAGES	85
1. E. JANTSCH "La prévision technologique" - OCDE 1968	86
2. R. U. AYRES "Prévision technologique et planification à long terme" - Editions Hommes et Techniques - 1972	89
3. R. SAINT-PAUL - P.F. TENIERE-BUCHOT "Innovation et évaluation technologiques" - Entreprise Moderne d'Edition - 1974	91
4. M. GODET "Crise de la prévision, essor de la prospective" - PUF - 1977.	96

### POURQUOI CE DOSSIER METHODOLOGIQUE ?

L'essor de la prospective et le regain d'intérêt que connaît la prévision technologique conduisent à s'interroger sur les méthodes disponibles pour comprendre et prévoir l'évolution de phénomènes à la fois complexes et interdépendants, nouveaux et incertains.

A y regarder de plus près, cette question est classique et a déjà reçu dans le passé des réponses méthodologiques plus ou moins appropriées.

Contrairement à son homologue du début des années 70, le chercheur ou le néophyte des années 80 ne peut se référer à un livre comme celui de E. JANTSCH\*, à l'époque véritable état de l'art des méthodes de prévision technologique, ou aux recherches publiées par la DATAR dans la collection Travaux et Recherches de Prospective\*\*.

Aujourd'hui, l'acquis méthodologique en matière de prospective et de prévision technologique de ces dix dernières années se trouve éparpillé dans plusieurs ouvrages dont certains sont épuisés, ou dans des revues spécialisées anglaises (Futures) et américaines (Technological Forecasting and Social Change) qui sont presque confidentielles en France.

Dans ces conditions, on comprend mieux pourquoi, trop souvent, cet acquis méthodologique demeure ignoré par les chercheurs qui se reposent des questions en partie résolues par ailleurs et rencontrent des difficultés qu'ils pourraient en partie éviter.

---

\* Erick JANTSCH "La prévision technologique" - OCDE 1968.

\*\* Cf. notamment Y. BAREL "Prospective et analyse de système" Paris - Documentation Française 1971.

"Une image de la France en l'an 2000 - Scénario de l'inacceptable" - Documentation Française - Travaux et Recherche de Prospective n° 20.

L'indispensable effort de recensement et d'actualisation des méthodes doit normalement faire l'objet d'ici à la fin 1983 du numéro spécial de la revue FUTURIBLES que nous préparons avec H. de JOUVENEL. En attendant, il nous a paru utile, sur la base de notre expérience, de proposer un recueil d'extraits choisis d'ouvrages et d'articles de prospective et de prévision technologique publiés au cours de la dernière décennie.

Ce dossier méthodologique ne prétend ni à l'exhaustivité ni à la représentativité, sa seule ambition est de donner une réponse de praticiens à la pressante demande d'information du nombre sans cesse croissant de personnes qui se posent des questions de prospective.

A - PROSPECTIVE ET PREVISION :  
DIFFERENCES ET COMPLEMENTARITES

---

Résumé .....

I - CRITIQUE DE LA PREVISION

- l'inexactitude des données et l'instabilité des modèles ....
- la nécessité d'une vision globale .....
- l'avenir "raison d'être du présent" .....

II - LA PROSPECTIVE N'EST NI LA PREVISION NI LA FUTUROLOGIE MAIS UNE SCIENCE DE L'ACTION ET DE L'ANTIFATALITE

- rappel de définitions .....
- les attitudes face à l'avenir.....
- une clef d'explication des crises .....

III - UTILITE ET LIMITES DE LA PROSPECTIVE

- utilité et crédibilité de la prospective .....
- qu'est-ce-qu'une bonne prévision ? .....
- qu'est-ce-qu'un bon expert ? .....
- information et prévision ne sont pas neutres .....

IV - POUR LE PLURALISME ET LA COMPLEMENTARITE DES APPROCHES DE PROSPECTIVE ET DE PREVISION

- problèmes et méthodes .....
- pour planifier, il faut établir des prévisions par scénario.
- sortir la prévision de la crise : propositions .....

\* Ce texte doit beaucoup aux réflexions que j'ai pu mener au sein de l'équipe FAST de la Commission des Communautés Européennes en 1979 et 1980.

par Michel CODET\*

RESUME

Les fréquentes erreurs de prévision et notamment l'absence de prévision des crises, témoignent de la crise que traverse la prévision. L'impossibilité de prévoir l'avenir en fonction des seules données du passé explique l'impuissance des modèles économétriques classiques qui n'intègrent pas des paramètres qualitatifs et non quantifiables comme les projets et les comportements d'acteurs. Il faut regarder l'avenir pour éclairer le présent, tel est l'esprit qui anime la prospective.

La prospective n'est ni la prévision ni la futurologie mais une science de l'action et de l'antifatalité qui donne une clé pour comprendre et éventuellement prévoir les crises.

Dans un monde caractérisé par la montée des incertitudes et par le risque de ruptures de tendances, non seulement à long terme mais aussi à moyen et court termes, l'effort de prospective, c'est-à-dire d'éclairage des scénarios les plus probables, est plus que jamais indispensable pour élaborer des prévisions. Bref pour planifier, il faut établir "des prévisions par scénarios". De cette communication on retiendra, notamment, les principaux résultats suivants :

- Les phénomènes à étudier sont le plus souvent complexes et interdépendants: une vision globale et prospective s'impose pour l'environnement à prendre en compte.
- La prévision n'est pas neutre (idem pour la prospective et la planification) elle dépend d'un système de valeur, d'une lecture (théorie) qu'il faut, si possible, expliciter.
- les méthodes d'analyse, de prévision et de décision sont d'abord des outils de rigueur, de cohérence, d'imagination et de dialogue.
- L'avenir est multiple et incertain. Il faut opter pour le pluralisme et la souplesse des choix mais aussi faire des paris après réflexion approfondie des conséquences.
- L'information disponible est très souvent incomplète, surabondante non quantifiable, inexacte et incertaine. Il faut par conséquent, opter pour le pluralisme et la complémentarité des approches et procéder par approximations successives plutôt que de rechercher une fausse précision. C'est à ce prix que la Prévision pourra espérer sortir de la crise.

\* Professeur Associé au Conservatoire National des Arts et Métiers et consultant du CESTA (Centre d'Etudes des Systèmes et des Technologies Avancées) 5 rue Descartes 75005 PARIS, tél. 634.33.33.  
Michel CODET est notamment l'auteur de "Crise de la Prévision, essor de la Prospective" PUF 1977 ; traduit en américain chez PERCAMON 1979 et de "Demain les crises ; de la résignation à l'antifatalité" HACHETTE 1980.

#### 4 - CRITIQUE DE LA PREVISION

La crise profonde qui sévit dans l'ensemble des pays industriels ne fait que commencer. Tel est le fait marquant qui va balayer les dernières illusions sur les prévisions officielles.

Non seulement cette crise n'avait pas été prévue (rappelons qu'en 1972, en France, par exemple, les décisions énergétiques tablaient sur la poursuite de la baisse tendancielle du prix du pétrole jusqu'en 1980-1985) mais elle dure et elle va s'amplifier contrairement à ce qui avait été et à ce qui continue à être annoncé.

Notre propos, ici, n'est pas de nous interroger sur le pourquoi et le comment de ce qui est peut être une crise de civilisation\* ; aujourd'hui, notre ambition se limite à une réflexion sur la crise que traverse la prévision économique en raison de ses erreurs répétées.

Paradoxe de l'histoire : c'est au moment où elle était plus facile et moins nécessaire que la prévision s'est développée. Pratiquement, les modèles économétriques permettaient de montrer, ordinateur à l'appui, ce que chacun pouvait constater sans effort ; tout était plus ou moins directement en corrélation avec le produit national ; lui-même augmentait de 5 % par an. En définitive, le temps était la meilleure variable "explicative".

Depuis 1973, l'avenir ne ressemble plus au passé, l'horizon de la prospective, c'est-à-dire des ruptures, se rapproche. Ruptures que les modèles fondés sur les données et les relations du passé sont impuissants à prévoir puisqu'elles sont liées à des comportements d'acteurs de plus en plus aléatoires et de moins en moins conformes aux schémas rationnels classiques.

\* Cette interrogation a fait l'objet d'un de nos récents ouvrages : "Demain les crises: de la résignation à l'antifatalité" HACHETTE 1980.

Sans prétendre à un recensement détaillé des causes d'erreurs de prévision économique, nous voudrions relever ici trois d'entre elles :

- l'inexactitude des données et l'instabilité des modèles ;
- l'absence d'une vision globale et qualitative ;
- l'explication du futur par le passé.

##### 1.1. L'inexactitude des données et l'instabilité des modèles

L'économie ne se soumet pas aux règles en vigueur dans les sciences plus "exactes" comme la physique : les données statistiques sont fournies sans aucune estimation de l'erreur qui a pu être commise dans leur établissement. A quoi bon des calculs sophistiqués et précis au centième et au millième près, dès lors que les chiffres avant la virgule ne sont pas sûrs. Si l'on en croit O. MORGENSTERN\*, aux Etats Unis, même le niveau du P.N.B. ne serait connu qu'à plus ou moins 10 % près et rien ne prouve que le biais dans l'erreur d'estimation soit systématique. Si la balance n'est pas fidèle, il ne faut guère accorder de confiance aux pesées, ce qui en l'espère signifie que même le signe de variation du PNB peut être sujet à caution.

L'inexactitude des données hypothèque sérieusement la validité des modèles qui ne font pas l'objet d'une analyse de sensibilité. Pour illustrer ce propos O. MORGENSTERN propose les deux systèmes d'équation suivants :

$\begin{aligned} (x - y) &= 1 \\ (x - 1,00001y) &= 0 \\ \text{Solution:} \\ x &= 100\ 001 \\ y &= 100\ 000 \end{aligned}$	$\begin{aligned} (x - y) &= 1 \\ (x - 0,99999y) &= 0 \\ \text{Solution:} \\ x &= -99999 \\ y &= -100\ 000 \end{aligned}$
---	--

Dans ces deux systèmes presque identiques, les coefficients diffèrent de tout au plus deux unités à la cinquième décimale mais les solutions diffèrent de 200 000.

\* O. MORGENSTERN "Précision et incertitudes des données économiques", DUNOD, 1972.

Conclusion : l'économiste devrait toujours se poser la question suivante : si une donnée d'entrée est modifiée de façon infinitésimale en est-il de même pour les variables résultats ?

### 1.2. La nécessité d'une vision globale

La prévision parcellaire, ne retenant que quelques variables explicatives en général économiques et quantifiées et ne tenant pas compte de l'évolution des rapports de force et de l'apparition de nouvelles tendances, est plus trompeuse qu'utile. Cette imprévision résulte notamment du fait que l'économie s'érige en secteur autonome, la prévision économique est coupée de la prévision sociale et politique et elle est de plus morcelée en prévisions technologiques démographiques, etc. Pourtant, au fur et à mesure que l'évolution s'accélère, l'interdépendance se renforce, tout agit sur tout, rien n'est plus égal par ailleurs, et une vision globale s'impose. A la prévision quantification, il faut substituer une prospective globale prenant en compte tous les paramètres qualitatifs, quantifiables ou non qui jouent, de près ou de loin, sur le phénomène étudié.

### 1.3. L'avenir raison d'être du présent

La plupart des méthodes de prévision s'appuient sur l'extrapolation de tendances par un raisonnement "toutes choses égales par ailleurs", ce qui apparaît tout à fait illusoire dans un environnement qui change de plus en plus, et où les phénomènes à prendre en compte sont sans cesse plus complexes et interdépendants. L'incertitude face à l'avenir est alors traduite sous la forme d'écarts autour d'une tendance (fourchette haute et fourchette basse).

Ainsi, les modèles économétriques s'avèrent impuissants à prévoir les changements structurels (les crises) et leurs utilisateurs attribuent ces erreurs de prévision aux fameuses variables "cachées".

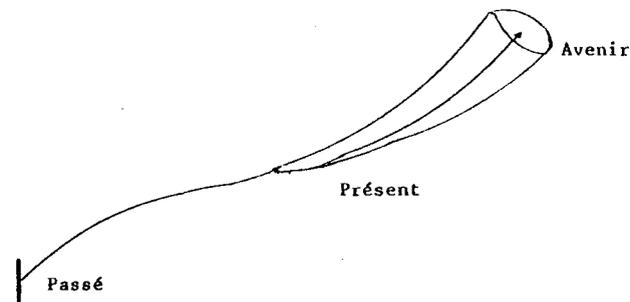


Figure 1 - L'avenir est unique et certain

La démarche prospective, par contre, admet qu'à tout instant l'avenir est multiple, et que c'est de la confrontation des différents acteurs en présence et de leurs projets que naîtra tel ou tel futur (cf. figure 2). La construction de l'avenir s'explique autant par l'action humaine que par le jeu des déterminismes.

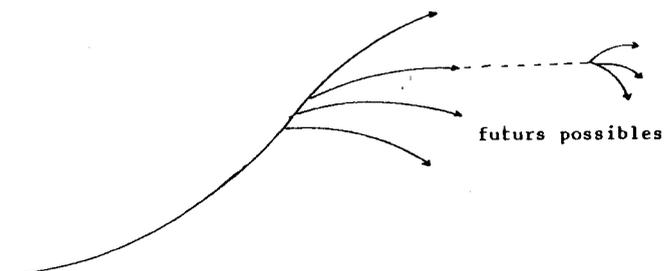


Figure 2 - L'avenir prévisible est multiple et incertain

L'avenir ne doit pas être envisagé comme une ligne unique et prédéterminée dans le prolongement du passé : l'avenir est multiple et indéterminé. La pluralité de l'avenir et les degrés de liberté de l'action humaine s'expliquent mutuellement : l'avenir n'est pas écrit il reste à faire.

La prospective est née de la prise de conscience d'un avenir à la fois domaine du déterminisme et de la liberté : ce qui est subi dans l'avenir résulte des actions passées\* ; ce qui est voulu explique les actions présentes. En clair, ce n'est pas seulement le passé qui explique l'avenir, mais aussi l'image du futur qui s'imprime dans le présent. Ainsi, par exemple, la consommation d'un individu à un moment donné ne dépend pas uniquement de ses revenus antérieurs (épargne) mais aussi des revenus futurs qu'il anticipe (crédit) comme l'a bien montré Milton FRIEDMAN dans sa théorie du revenu permanent.

En bref, l'impossibilité de prévoir l'avenir en fonction des seules données du passé explique l'impuissance des modèles économétriques classiques qui n'intègrent pas des paramètres qualitatifs et non quantifiables comme les projets et les comportements d'acteurs. Il faut regarder l'avenir pour éclairer le présent, c'est "l'avenir raison d'être du présent".

## 2. - LA PROSPECTIVE N'EST NI LA FUTUROLOGIE NI LA PREVISION MAIS UNE SCIENCE DE L'ACTION ET DE L'ANTIFATALITE

### 2.1. Rappel de définitions

La confusion entre projection, prévision, prospective et planification est à l'origine de nombreuses erreurs de prévision et source de malentendus. Un rappel de définitions simples s'impose :

Une projection est le prolongement, dans le futur d'une évolution passée selon certaines hypothèses d'extrapolation ou d'inflexion de tendances. Une projection ne constitue une prévision que si elle est assortie d'une probabilité.

Une prévision (lire pré-vision : voir avant) est l'appréciation assortie d'un certain degré de confiance (probabilité) de l'évolution d'une grandeur à un horizon donné. Il s'agit le plus souvent d'une appréciation chiffrée à partir des données du passé et sous certaines hypothèses.

Une prospective exploratoire est un panorama des futurs possibles (futuribles), c'est-à-dire des scénarios non improbables, compte tenu du poids des déterminismes du passé et de la confrontation des projets d'acteurs. Chaque scénario (jeu d'hypothèses cohérent) de la prospective peut faire l'objet d'une appréciation chiffrée, c'est-à-dire d'une prévision.

"La planification consiste à concevoir un futur désiré ainsi que les moyens réels d'y parvenir". Il s'agit donc d'une prospective normative (R.L. ACKROFF 1973). Précisons que le plan (outil de rigueur et de cohérence) n'est qu'une étape dans le processus de planification (outil de dialogue). Le plan doit être à la fois informatif (diagnostic), indicatif (remèdes) et directif (objectifs, moyens). Trop souvent, le piège est classique, on confond prévision et planification, en assimilant à une erreur de prévision ce qui n'est qu'un écart par rapport à des objectifs.

On trouvera ci-après un tableau de synthèse rappelant les définitions des principaux concepts présents dans la littérature sur le futur.

\* et aussi naturellement des phénomènes naturels imprévisibles.

Ce tableau révèle notamment que la prospective en tant que vision globale, qualitative et volontariste (concept créé par G. BERGER à la fin des années 50) n'est ni la prévision trop marquée par la quantification déterministe, ni la futurologie concept surtout en vogue dans le monde anglo-saxon et qui recouvre l'ensemble des recherches sur le futur sans référence explicite aux critères de globalité et de volonté. D'ailleurs la futurologie a plutôt mauvaise presse en Europe où elle est fréquemment perçue comme un avatar de la boule de cristal ou comme une variante de la science fiction. Parallèlement le concept de prospective est surtout répandu dans le monde latin (Europe, Amérique Latine ...). Autre différence notable entre deux mondes culturels, le concept de "Technological Forecasting" n'a pas revêtu de ce côté-ci de l'Atlantique un caractère explicatif presque global de l'évolution sociale ; en général, il est plutôt perçu comme une prévision technologique restreinte à l'évolution des sciences, des techniques et de leurs conséquences en raison de l'idée implicite selon laquelle la science n'étant qu'un produit de la société, elle ne peut suffire à l'expliquer.

Tableau de définitions

<u>CONJECTURE</u>		<u>PROSPECTIVE</u>
hypothèse probable	vision	(concept plutôt latin globale qualitative volontariste multiple (scénarios))
<u>PROJECTION</u>		<u>PREVISION</u>
prolongement ou inflexion dans le futur de tendances passées		. estimation assortie d'un degré de confiance . vision quantitative et déterministe
<u>PREDICTION</u>		<u>FUTUROLOGIE</u>
annoncer avant (oracle de Delphes)		(concept anglo-saxon) ensemble des recherches sur l'avenir
<u>PROPHETIE</u>		<u>SCENARIOS</u>
prédiction par inspiration divine		jeux cohérents d'hypothèses
	<u>PLANIFICATION</u>	
	"Consiste à concevoir un futur désiré ainsi que les moyens réels d'y parvenir"	
	ACKOFF 1973	

## 2.2. Les attitudes face à l'avenir

La prévision est une notion contingente qui dépend des époques et des sociétés. Très schématiquement on peut relever trois attitudes face à l'avenir (passive, adaptative et volontariste) qui dans la réalité se cotoient et se mêlent en permanence.

L'attitude passive face à l'avenir est un héritage historique du fatalisme religieux. Au XVIII<sup>e</sup> siècle la prévision se définissait ainsi "Prévision : se dit de Dieu et signifie connaissance de ce qui adviendra" (Dictionnaire de Richelet 1739). Dans cette conception l'avenir est inévitable et presque fatal puisque déjà écrit de la main de Dieu, l'homme ne fait que subir son destin. Dans ces conditions, à quoi bon encombrer le présent des malheurs futurs, demain sera demain et il n'y a rien à changer.

Avec la révolution industrielle d'abord, puis l'accélération très sensible du changement au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'homme a pris conscience que si les pages de l'histoire étaient déjà écrites, elles tournaient de plus en plus vite. Par conséquent si le changement était imposé, il était peut être prévisible d'où l'intérêt qu'il y avait à anticiper ce changement pour mieux s'y préparer et en tirer parti "à prévoir pour pouvoir". Ainsi, en réaction face au changement rapide, s'est développée une attitude adaptative face à l'avenir, il en a résulté un fantastique essor de la prévision économique, technologique et sociale qui s'est accompagné d'une confiance excessive et parfois aveugle envers les nouveaux dieux de la modélisation mathématique et des méthodes économétriques.

Fondamentalement, cette attitude adaptative est plus réactive qu'active, plus résignée que volontariste, elle n'a pas évacué le péché originel du déterminisme et de l'inéluctable. Curieusement, le fatalisme a abandonné ses habits religieux pour endosser ceux d'une nouvelle idole : la Science et la Technologie. Tout se passe comme si la prévision technologique était le substitut moderne de la prédiction divine. Ainsi, l'attitude passive "wait and see" s'est muée en croyance aveugle envers la fée technologique pour qui tout est possible et qui résoudra tous les problèmes, y compris ceux qu'elle fait naître.

Cet optimisme technologique, si répandu aujourd'hui, n'a pas manqué, en réaction, de générer son contraire : le pessimisme technologique (Le monde est fini, nous jouons avec le feu, il y a des problèmes que la technologie ne peut résoudre, ce sont ceux qu'elle pose elle-même) qui est tout aussi imprégné de déterminisme que son contraire.

Face à l'accélération du changement, à l'incertitude de l'avenir, à la complexité croissante des phénomènes et des jeux d'acteurs, la résignation n'est pas acceptable, l'antifatalité s'impose. Les hommes ne sont pas condamnés à "des rapports nécessaires, déterminés et indépendants de leur volonté"\* ils créent aussi ces rapports par leur volonté et leurs actes.

Lorsque le navire est à la fois dans le brouillard et la tempête, le cap et la boussole sont les clefs de la survie. Ainsi est née la prospective, une attitude créative face à un avenir à la fois subi et voulu où il ne s'agit pas seulement d'anticiper pour prévenir mais aussi et surtout de désirer pour agir.

### 2.3. Une clef d'explication des crises\*\*

Dans un monde inégalitaire et conflictuel, par essence, l'avenir n'appartient pas à tous de la même manière et au même degré. Certains acteurs y pèsent "plus lourd" que d'autres. Dès lors, si plusieurs futurs sont possibles, celui qui se produira effectivement naîtra de la confrontation de forces humaines inégales "corrigés" par les tendances "lourdes" et les contraintes.

En effet les différents acteurs présents dans un système ont souvent des préférences et des projets contradictoires qui correspondent à différents futurs possibles. L'avenir doit être considéré comme la résultante de ces différentes forces. Rapport de force et jeu des acteurs "n'implique réellement ni une quelconque égalité de départ entre les joueurs ni un quelconque consensus sur les règles du jeu ... car la contrainte que celui-ci impose ne porte pas sur

des comportements déterminés mais sur une gamme de stratégies possibles parmi lesquelles l'acteur opère un choix qui, à terme ou immédiatement, peut provoquer une modification du jeu lui-même, celui-ci reste toujours ouvert"\*. Les projets des acteurs sont entretenus par l'existence de manques réels ou virtuels c'est-à-dire d'écart entre la réalité présente ou anticipée et les besoins-aspirations (ces derniers étant sans bornes et extensibles).

En réhabilitant le désir comme force productive d'avenir on comprend mieux pourquoi les structures politiques, économiques et sociales éclatent dès lors qu'un certain ordre de contraintes entre en contradiction avec ce désir et devient intolérable. Les problèmes du futur naissent précisément lorsque le fossé entre la réalité et les aspirations devient trop grand.

La crise traduit un changement des règles de jeu et de fonctionnement (rapport de force) du système; changement voulu par certains acteurs et rejeté par d'autres. Il y a crise lorsque, par suite de l'évolution des rapports de force, le décalage entre la réalité (ancienne ou nouvelle) et les aspirations (respectivement nouvelles ou anciennes) devient trop grand et suppose l'apprentissage de nouvelles règles.

En d'autres termes, il y a crise lorsque le changement des rapports de force est suffisamment puissant pour perturber les anciennes règles du jeu, mais pas assez pour en imposer de nouvelles. Tant que l'ancien sera en train de mourir et que le nouveau ne sera pas encore né, le système sera dérégulé, en crise. Les crises monétaires, économiques, énergétiques, que nous connaissons depuis le début des années 70 témoignent de cette analyse.

Ainsi, par exemple, le quadruplement du prix du pétrole ne résulte pas d'une brutale évolution des quantités offertes ou demandées, mais seulement d'une évolution des conditions de l'offre, c'est-à-dire des rapports de force entre

\* M. CROZIER, E. FRIEDBERG : "L'acteur et le système" LE SEUIL, Paris 1977.

\* Cf. la célèbre introduction à la critique de l'économie politique (K. MARX).

\*\* Pour de plus longs développements sur cette question § notre ouvrage : "Demain les crises : de la résignation à l'antifatalité" HACHETTE, Paris 1980.

producteurs et consommateurs\*. Les règles anciennes de fixation de prix disparaissent, de nouvelles règles s'instaurent auxquelles nous ne sommes pas préparés et que nous refusons de croire (fossé entre la nouvelle réalité et les aspirations anciennes).

Les renchérissements passés et futurs du prix du pétrole ne font que confirmer le règne des nouvelles règles du jeu. Les pénuries physiques annoncées ne sont que la conséquence logique de notre refus de voir les nouvelles réalités en face et de prendre les mesures qui s'imposent (investissements, exploration, économies) au lieu de faire comme si rien n'avait changé. La baisse des prix du pétrole en monnaie constante entre 1975 et 1978 a même donné à certains l'illusion d'un retour aux anciennes règles du jeu (pétrole abondant et bon marché). Illusion balayée d'un coup par les hausses de 1979. La même illusion réapparaît aujourd'hui, nul doute qu'à nouveau ....

Ainsi la crise dans ses aspects économiques et quantitatifs ne fait que traduire le divorce entre les règles apprises et celles à apprendre. La crise dure le temps de l'apprentissage.

Expliquer les crises par les changements difficiles de règles du jeu qu'impose l'évolution des rapports de force ne fait que déplacer la question. Comment expliquer l'évolution des rapports de force entre les acteurs ?

En principe, chaque acteur dispose d'un projet, de variables de commande et d'un système de contraintes réelles d'ordre physique, historique et floues résultant des projets incertains des autres acteurs. L'évolution des rapports de force est comme l'issue des batailles, un anti-hasard ; c'est-à-dire que la volonté est souvent plus déterminante que les inégalités des contraintes et des forces de départ.

Les crises font partie du processus normal de changement des règles du jeu social, lui même lié à l'évolution permanente des rapports de force entre acteurs inégaux. Dans cette optique, il y aura toujours des crises en raison de la montée des incertitudes. En effet, la variété des projets des acteurs multiplie les évolutions possibles et rend plus incertaine chacune d'entre elles et plus changeante la résultante d'ensemble. Mais chaque crise prise individuellement n'a rien d'inéluctable pour autant que les acteurs procèdent à temps aux changements de cap nécessaires. Les crises futures ne sont inéluctables que si nous le voulons bien. Les crises présentes ne dureraient pas si nous acceptions de faire face aux nouvelles réalités.

On retiendra principalement de ce qui précède la distinction entre trois formes de crises :

- la première résulte de l'absence de règle du jeu qui s'impose à tous les acteurs (c'est le cas pour la géopolitique ou le système monétaire international) ;
- la seconde résulte du refus de certains acteurs d'accepter les nouvelles règles du jeu et d'adapter leurs structures et leurs comportements en conséquence. La crise énergétique est de ce type, elle durera le temps de l'apprentissage des règles nouvelles ;
- la troisième est le fruit du formidable effort d'adaptation et de renouvellement des structures et des mentalités sociales que supposent et qu'imposent les révolutions technologiques en cours ; celles-ci ne font que commencer et la crise durera le temps de la transition entre l'ancien et le nouveau monde annoncé par cette "troisième vague" technologique dont parle A. TOFFLER.

\* Les compagnies pétrolières ont joué un rôle primordial dans ce changement de rapport de force. Leur intérêt coïncidait avec lui des pays de l'OPEP. Le renchérissement rentabilisa leurs investissements dans l'off-shore, le nucléaire, le charbon et leur procura des profits records.

### 3 - UTILITE ET LIMITES DE LA PROSPECTIVE

#### 3.1. Utilité et crédibilité de la prospective

L'utilité d'une réflexion prospective dépend surtout des objectifs poursuivis par ceux qui la mènent ou la font mener. Parmi les objectifs auxquels contribue la prospective on peut relever :

##### - Des objectifs stratégiques :

- . orienter l'action présente (le plan) à la lumière des futurs possibles et désirés, par exemple, en recherchant le maximum de souplesse face à l'incertitude,
- . baliser les futurs possibles de repères (clignotants) qui aident à distinguer dans l'avalanche des faits du présent les faits porteurs d'avenir c'est-à-dire les "faits infimes par leurs dimensions présentes mais immenses par leurs conséquences virtuelles". (P. MASSE).

##### - Des objectifs tactiques :

- . faire jouer l'effet d'annonce pour essayer d'empêcher qu'un événement se produise ou pour tenter de favoriser son apparition (taux d'inflation, taux de croissance économique ...),
- . tester une hypothèse ou une idée par exemple pour justifier une décision et parer aux critiques éventuelles,
- . se donner une image entreprenante et dynamique (effet de mode),
- . développer la communication interne à l'organisation et son ouverture sur l'extérieur,
- . mettre en cause les idées reçues et les comportements néfastes (scepticisme, croyance aveugle, vision à court terme).

Compte tenu de la variété des objectifs de ceux qui font et de ceux qui font faire des études de prospective, la crédibilité est une mauvaise question :

la prospective n'est pas neutre, elle dépend de choix subjectifs pour l'approche des problèmes, hypothèses testées, objectifs poursuivis. L'incertitude de l'avenir commande de faire des paris : c'est seulement sur un ensemble de paris gagnés ou non que l'on peut juger de la crédibilité de la prospective.

#### QUELQUES CONSEILS POUR L'ENTREPRISE QUI SE LANCE DANS UNE REFLEXION PROSPECTIVE

- . Faire plutôt que faire faire.
- . Préférer le "nouveau conseil" à l'ancien.

Le Conseil traditionnel cherche à créer un choc chez le client par un diagnostic préalable, à le culpabiliser pour qu'il se laisse mieux prendre en charge par ceux qui réalisent une entreprise lourde hors de l'entreprise.

Le Nouveau Conseil cherche à être un catalyseur de la communication et des idées au sein de l'entreprise, à ouvrir sur l'extérieur par des ateliers de prospective ou des études réalisées par l'entreprise avec l'aide de ce nouveau conseil.

- . Utiliser plusieurs approches en raison de la complexité des problèmes.
- . Se méfier des certitudes.

#### 3.2. Qu'est-ce qu'une bonne prévision ?

Face à une telle question, un premier constat s'impose : la bonne prévision n'est pas nécessairement celle qui se réalise. En effet, anticiper un problème futur doit normalement inciter à faire en sorte qu'il n'apparaisse pas ou que ses conséquences soient atténuées.

Second constat, une prévision exacte n'est pas nécessairement une prévision utile. En matière de prévision, par analogie avec la théorie des tests statistiques, on peut distinguer trois types d'erreurs :

- le risque de première espèce qui consiste à retenir pour le futur une hypothèse qui finalement ne se produira pas ;

- le risque de deuxième espèce qui consiste à exclure une hypothèse ou un événement qui en fait va se réaliser ;
- le risque de troisième espèce qui consiste à ne pas se poser les bonnes questions, c'est-à-dire à ne pas intégrer dans la réflexion prospective les hypothèses ou les événements qui vont jouer un rôle déterminant pour le futur.

Ce risque de troisième espèce, très fréquent en prévision, où les erreurs résultent plus des mauvaises questions que des mauvaises réponses s'explique par "l'effet lampadaire" par référence à l'ivrogne qui ayant perdu sa clé cherche sous le lampadaire parce que là, c'est éclairé.

### 3.3. Qu'est qu'un bon expert ?

Notre réponse à cette question est simple mais ne résoud pas le problème : les bons experts sont généralement minoritaires ; ce qui laisse ouverte la question de savoir quelle est, dans l'ensemble des minorités, celle qui voit plus juste ?

En pratique dans de multiples domaines notamment en matière technologique, le jugement prévisionnel d'expert est souvent le principal outil d'information accessible. Ainsi, s'explique le succès des méthodes comme DELPHI, c'est-à-dire "l'utilisation systématique d'un jugement intuitif d'un groupe d'experts" (O. HELMER, 1967) où la convergence des opinions est recherchée au travers d'un consensus quelque peu orienté, voire manipulé.

De telles méthodes qui ont leur utilité pour faire passer des décisions grâce au consensus obtenu, sont plus trompeuses qu'utiles en matière de prévision\*.

\* Sans oublier que convergence d'opinion ne signifie pas nécessairement (et même rarement) cohérence statistique comme nous l'avons montré en développant la méthode d'impacts croisés SMIC - § "crise de la prévision, essor de la prospective" op cité.

En général, une majorité d'experts est conformiste (la majorité est un refuge facile, c'est aux autres de s'expliquer) et conservatrice\*. Très souvent, la bonne prévision, c'est-à-dire celle qui voit juste est le fait d'une des minorités d'experts qui font preuve d'audace et d'imagination. Le plus difficile reste naturellement de savoir reconnaître le "bon" point de vue minoritaire.

Afin d'alimenter le débat, il nous paraît judicieux d'inciter le lecteur à méditer les résultats d'une évaluation des experts réalisée il y a déjà quelques années (cf. tableau encadré ci-après).

#### UNE EVALUATION DES EXPERTS

Dans le n°5 (vol. 8, octobre 1976, pp. 411-419) de Futures, M. George Wise, du Centre de R & D de la General Electric, analyse le degré d'exactitude des prévisions relatives au progrès technologique et aux effets de ces innovations, faites aux USA de 1890 à 1940.

L'auteur fonde son étude sur un ensemble de 1556 prévisions liées aux :

- progrès technologiques confirmés ou non dans 18 zones spécifiques de la technologie ;
- effets sociaux, économiques ou politiques attendus de ces changements.

Au total, retenons les 5 conclusions de M. Wise :

- les auteurs de prévisions à long terme (10 ans et plus) se trompent plus souvent qu'ils n'ont raison ;
- les experts voient légèrement plus juste que les non-experts ;
- les prévisions faites par des experts dans une discipline qui est étrangère à leur spécialité ne sont pas moins exactes que les prévisions provenant d'experts spécialisés dans la discipline considérée ;
- les prévisions relatives au prolongement du "statu quo" technologique à un moment donné, ne sont pas plus juste que les prévisions en matière d'innovation technologique ;
- les effets des progrès technologiques sont moins prévisibles que les changements eux-mêmes.

\* Comme l'a souligné O. CLARKE "Quant un expert éminent et âgé dit que quelque chose est possible, il a certainement raison, quand il dit que quelque chose est impossible, il a de grandes chances de se tromper".

### 3.4. Information et prévision ne sont pas neutres

L'information sur le futur comme sur le présent ou le passé est rarement neutre, elle sert le plus souvent, ne serait-ce que par omission, des intérêts bien précis. Combien d'études aux analyses fondées dorment dans les tiroirs parce que politiquement inopportunes, combien de rapports pertinents vidés de leur substance par une toilette des mots, combien de réalités connues des initiés mais que personne ne peut ou n'ose signer !

La plus efficace et la plus puissante des censures étant d'ailleurs l'auto-censure que s'imposent les chercheurs, les fonctionnaires, pour ne pas déplaire à leurs clients ou à leurs supérieurs.

Ajoutons encore que l'information est souvent baillonnée par le conformisme du consensus qui pousse à se reconnaître dans l'opinion dominante et à rejeter l'avis minoritaire.

Finalement, celui qui voit juste a peu de chances d'être entendu. Observation qui évidemment ne donne aucun crédit supplémentaire aux prédictions farfelues, mais rend suspects nombre de conjectures et d'idées reçues. En ce sens, remettre en cause le confort d'esprit, réveiller les consciences endormies sur de fausses certitudes est l'ambition première du prospectiviste. Pour lui, le choix est clair : même s'il a une chance sur deux de se tromper, il lui faut crier au loup à chaque fois, et encore plus fort la seconde si la première n'a été qu'une fausse alerte. Notre seule certitude étant le doute, les erreurs de prévision sont une raison supplémentaire pour renforcer l'effort de prévision et d'anticipation des problèmes futurs afin qu'ils n'arrivent pas.

C'est parce qu'elle est pouvoir que l'information est polluée. Comme le soulignent avec justesse Michel CROZIER et E. FRIEDBERG "l'information est une denrée rare et sa communication et son échange ne sont pas des processus neutres et gratuits. Informer l'autre, lui communiquer des éléments qu'il ne possède pas, c'est se dévoiler, c'est renoncer à des atouts qu'on aurait pu marchander, c'est aussi se rendre vulnérable face aux tentatives d'emprise de l'autre (...). La communication totale est impossible. Entrer en relation avec l'autre, le rechercher et s'ouvrir à lui c'est en même temps se cacher, se

protéger contre ses empiètements, s'opposer à lui. Bref, toute relation à l'autre est stratégique et comporte une composante de pouvoir, si refoulée ou sublimée soit-elle".\*

L'information prospective n'échappe pas à ce pouvoir et à la pollution, on ne compte plus les rapports tour à tour alarmistes ou rassurants sur l'énergie, la population, l'armement, etc., tous contradictoires les uns avec les autres. Par nature, l'information prospective est relativement plus durable, mais elle est aussi moins brûlante qu'une actualité.

Pourtant, c'est toujours pour éclairer et guider l'action présente que l'on regarde les futurs. L'avenir est une terre en émergence aux contours inconnus, la contrainte est que, malgré ces inconnues, il faut prendre aujourd'hui les décisions qui engagent le futur. Même si l'information est polluée, il faut faire des paris pour créer l'avenir et non le subir.

\* M. CROZIER et E. FRIEDBERG, op cité p. 107 et 181.

#### 4 - POUR LE PLURALISME ET LA COMPLEMENTARITE DES APPROCHES DE PROSPECTIVE ET DE PREVISION

##### 4.1. Problèmes et méthodes

Les problèmes de spécification, d'identification et d'estimation des paramètres d'un modèle sont classiques en économétrie. Nous voudrions, ici, attirer l'attention sur trois problèmes insuffisamment abordés et dont la solution conditionne pourtant la validité de toute prévision .

##### 4.1.1. Problème d'identification des variables explicatives

Soit la variable à expliquer "Y" dont on cherche à comprendre et prévoir l'évolution. La première question qui surgit presque immédiatement à l'esprit est la suivante : quelles sont les variables qu'il faut prendre en compte pour expliquer Y ?

Soit  $Y_i = (X_1, X_2 \dots X_n)$  l'ensemble de ces variables explicatives parmi ces variables X ; certaines sont facilement identifiables parce que l'on a une bonne connaissance de leur influence passée sur la variable à expliquer Y ; d'autres en revanche sont plus difficiles à repérer en raison du caractère mal connu ou potentiel de leur influence.

Identifier ces variables ne suffit pas, il faut aussi spécifier la forme de la fonction f (linéaire, exponentielle, puissance, retard ...) telle que :

$$Y = f (X_1, X_2 \dots X_1)$$

Pour répondre à cette première série de questions, on doit s'appuyer sur les théories, l'expérience et l'intuition. Pour une telle recherche il convient certes de bien connaître le passé (analyse des corrélations) mais surtout de faire preuve d'imagination et de créativité. C'est la raison pour laquelle les problèmes de spécification et d'identification des variables et des relations nécessitent aussi le recours à des méthodes qualitatives (de type brain-storming, synectique, analyse des données ; analyse morphologique, analyse structurelle ...).

##### 4.1.2. Problème d'estimation des valeurs futures des variables explicatives

Une fois spécifiées et identifiées les variables Xi et estimés les paramètres de la fonction f, apparaît un nouveau problème pour la prévision : celui de l'estimation quantitative des valeurs futures des variables explicatives Xi.

Ce problème peut se formuler de la manière suivante :

Quelle valeur  $\bar{X}_i$  prendra chaque variable Xi à l'instant t ( $\bar{X}_i^t$ ), ou ce qui revient au même, à quelle date t la variable Xi aura-t-elle la valeur  $\bar{X}_i$  ?

La réponse à ce type de question consiste très souvent à extrapoler ou fixer d'une manière plus ou moins arbitraire les valeurs des variables Xi alors qu'en théorie c'est chaque variable explicative Xi qu'il faudrait expliquer à son tour, on construirait ainsi un modèle sans fin et fortement bouclé. La contrainte des données existantes, du temps et des moyens disponibles ne permet guère d'aller très loin dans ce sens. C'est la raison pour laquelle l'estimation des valeurs futures des variables explicatives s'obtient généralement par des méthodes d'extrapolation simples ou évoluées (analogies, courbes logistiques) ; en définitive tout se passe comme si chaque variable explicative s'expliquait par elle-même au cours du temps : le temps intervient comme variable pseudo-explicative.

##### 4.1.3. Problème d'incertitude sur les valeurs estimées

Une estimation ne devient une prévision que si elle est assortie d'un certain degré de confiance. Par conséquent, pour obtenir une prévision, il faut normalement répondre aux questions suivantes :

Quelles sont les probabilités que  $(X_1, X_2 \dots X_n)$  aient les valeurs  $\bar{X}_1, \bar{X}_2 \dots \bar{X}_n$  à l'instant t. Soient P ( $\bar{X}_i^t$ ) ces probabilités.

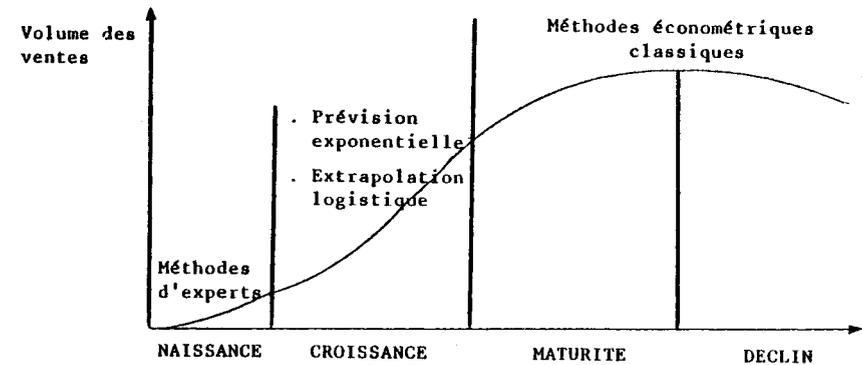
Face à ce problème d'incertitude\*, le prévisionniste ne dispose guère d'autres sources que des jugements intuitifs d'experts recueillis en appliquant des méthodes de type Delphi ou Cross Impact.

#### 4.1.4. Choix des méthodes de prévision

Il n'existe pas de méthode de prévision miracle qui serait la clé de tous les problèmes. En pratique, face à la variété et la multiplicité des problèmes de prévision, le chercheur dispose d'une boîte à outils plus ou moins complète, dans laquelle il puise en fonction des caractéristiques du problème posé et compte tenu des objectifs qu'il poursuit ainsi que des contraintes (données et temps disponibles) qui sont les siennes ....

En l'absence d'outil universel, il faut, face à chaque problème de prévision, construire tel "un meccano" à partir des outils existants, une réponse méthodologique appropriée et ne pas hésiter à bricoler lorsque c'est nécessaire.

Rappelons, enfin, qu'en matière de prospective industrielle, le choix d'une méthode de prévision du développement ou des ventes d'un produit dépend de certains critères comme le cycle de vie des produits\*\* (naissance, croissance, maturité, déclin) comme l'illustre le schéma suivant :



On constate par exemple, que pour les produits en phase de maturité et de déclin, les méthodes économétriques classiques sont des outils de prévision particulièrement appropriés puisque l'on dispose d'abondantes séries passées. En revanche, pour les produits naissants, il faut plutôt recourir à des méthodes d'experts (Delphi, cross impact ...).

#### 4.2. Pour planifier, il faut établir des prévisions par scénarios

Les dangers de la quantification abusive - quantifier revient toujours à privilégier ce qui est quantifiable au détriment de ce qui ne l'est pas - ne doivent pas conduire à rejeter les chiffres mais seulement à les utiliser avec précaution.

Les résultats chiffrés des modèles de prévision (mathématiques, économétriques) sont indispensables pour apprécier les conséquences des scénarios. Un modèle de prévision ne vaut que par ses hypothèses (économiques, politiques..) et la prospective a précisément pour objet de dessiner la toile de fond, les jeux d'hypothèses qui assureront au modèle sa validité, c'est-à-dire sa cohérence avec la réalité future. Cette complémentarité entre prospective et prévision donne naissance à une "nouvelle prévision". L'apport de la prospective permet de répondre aux trois besoins fondamentaux de la prévision :

- le besoin d'explication : la détermination des variables essentielles connues ou cachées améliore la sélection d'indicateurs ;
- le besoin d'hypothèses : la construction des scénarios, c'est-à-dire, de jeux d'hypothèses cohérents et probables sur la variables explicatives assure au modèle de prévision sa validité ;

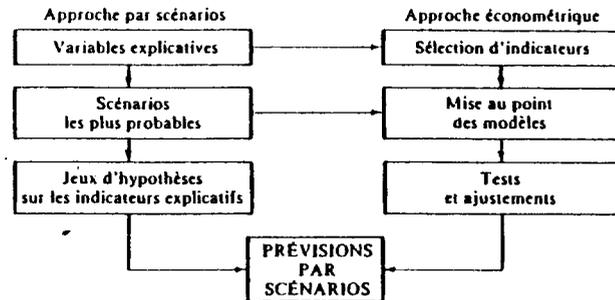
\* En réalité, le problème d'incertitude est plus complexe car il faudrait par exemple se poser les mêmes questions à propos de la fonction  $f$  pour laquelle il conviendrait aussi d'envisager plusieurs alternatives avec leur probabilité correspondante.

\*\* A ce propos, cf :  
 - Hayes R. L., Radosevich R. "Designing Information Systems for Strategic Decisions" - Long Range Planning - August, 1974.  
 - J.C. Chambers "Choisissez votre technique de prévision" - Harvard - l'Expansion - printemps 77.  
 - Buigues P. "Prospective et Stratégie Industrielle" thèse d'économie - Université d'Aix-Marseille, 1980.

c) le besoin de quantification : la prévision par scénario permet de chiffrer les résultats et les conséquences de la prospective et de tenir compte du non-quantifiable.

En reprenant les notations de notre modèle  $Y = f(X_i)$  ; l'apport de la prospective est de fournir sous forme de scénarios des jeux d'hypothèses probables et cohérents sur les variables explicatives  $X_i$  et sur la fonction  $f$ . C'est dans le cadre de ces hypothèses que s'applique un modèle de prévision permettant de déterminer l'estimation correspondante pour  $Y$ .

Cette "nouvelle prévision" opère la synthèse entre la prospective et la prévision, deux approches complémentaires ; elle intègre les règles et les contraintes de techniques économétriques dans le cadre cohérent des scénarios.



La distinction entre prévision et prospective mériterait ainsi d'être plus souvent opérée par les chercheurs. Une prévision ne vaut que ce que valent les hypothèses sous-jacentes. Le plus souvent plusieurs jeux d'hypothèses cohérents (scénarios) peuvent être considérés comme assez probable - on ne devrait donc pas publier une prévision sans donner une indication de la probabilité estimée du scénario correspondant.

Encore faut-il préciser qu'il serait dangereux de limiter la réflexion au scénario considéré comme le plus probable, car bien souvent ce dernier n'est en réalité que le moins improbable\*.

\* En effet, si l'on considère  $N$  hypothèses, il y a  $2^N$  jeux d'hypothèses possibles à un horizon donné, la somme des probabilités des scénarios correspondants étant égale à 1. Prenons  $N=2$  et supposons que les quatre scénarios possibles ont les probabilités suivantes : S1 (H1 et H2 réalisées) : probabilité 0,4 ; S2 (H1 réalisée, H2 non réalisée) : probabilité 0,25 ; S3 (H1 non réalisée et H2 réalisée) : probabilité 0,15 ; S4 (H1 et H2 non réalisées) : probabilité 0,20. A l'évidence S1 le scénario le plus probable est en réalité le moins improbable, le plus probable étant en fait de ne pas avoir ce scénario réalisé, mais l'un quelconque des trois autres.

On notera que certains scénarios peuvent correspondre à des ruptures par rapport aux tendances du passé. Ces scénarios de rupture s'inscrivent hors du champ des projections et ne peuvent être chiffrés par les méthodes classiques de prévision.

#### 4.3. Sortir la prévision de la crise : propositions

Il ne peut y avoir de Plan sans réflexion approfondie sur les futurs possibles (futuribles) et sans débat sur les futurs souhaitables et les moyens d'y parvenir. Pour que ce débat s'organise en toute rigueur et en connaissance de cause, il faut l'alimenter en permanence de prévisions chiffrées correspondant à chaque scénario alternatif envisagé.

C'est au niveau de l'interface entre la réflexion prospective sur les futurs possibles et souhaitables et la quantification par les modèles de prévision que les exercices de planification nationale et de planification d'entreprise rencontrent le plus de difficultés.

Comment chiffrer face à l'incertitude ? Comment intégrer scénarios et modèles ? telles sont quelques unes des questions qui se posent inévitablement et pour lesquelles il n'y a pas encore de réponse satisfaisante mais certainement un objet de recherche.

Pour contribuer à ce nécessaire effort, il nous paraît utile d'adresser aux chercheurs concernés, les remarques suivantes :

a) Les économistes oublient trop souvent qu'un modèle n'est pas la réalité mais un moyen, parmi d'autres possibles, de la regarder.

Dès lors ils devraient s'imposer, comme règle de prudence et de neutralité, un plus grand pluralisme méthodologique (tester plusieurs modèles, plusieurs approches, chacune servant de "garde fou" aux autres).

Il n'est pas acceptable de restreindre les futurs possibles au nom de la logique et des contraintes d'un modèle construit sur le passé. Au lieu de déterminer des variantes en fonction des modèles il faudrait partir des scénarios pour construire les modèles les plus appropriés à représenter

l'évolution que l'on veut explorer. En d'autres termes, il faut plier les modèles à la réalité que l'on veut construire et non l'inverse : les moyens ne doivent pas l'emporter sur les fins.

- b) Ce n'est pas parce qu'un modèle est sophistiqué et qu'il comprend plusieurs milliers d'équations simultanées qu'il décrit nécessairement mieux la réalité. Cette exhaustivité est d'autant plus illusoire que l'on a omis des facteurs non quantifiables, mal connus ou controversés.

En revanche, de tels modèles complexes échappent de plus en plus à la compréhension des utilisateurs qui n'ont pas participé à leur construction (représentants syndicaux, économistes d'entreprises, chercheurs des autres spécialités...). Il en résulte un discrédit supplémentaire pour la modélisation déjà fortement battue en brèche par l'abondance des erreurs de prévision.

Ce défaut de prévision touche particulièrement les entreprises publiques et privées contraintes de prendre des décisions qui engagent le futur en pilotant à vue sans cadre de référence clairs ou d'objectifs cohérents. Ces entreprises sont désarmées parce qu'elles ne trouvent en face d'elles que des centres de prévisions peu préparés ou mal placés pour chiffrer l'incertitude qui résulte de la multiplicité des scénarios possibles.

- c) Selon certains, l'horizon principal du plan étant à cinq ans, la réflexion prospective à long terme (dix ans ou plus), est moins prioritaire que la prévision à court et moyen terme. Cette opinion n'est pas fondée car l'horizon de la prospective c'est d'abord celui des projets des acteurs et des ruptures possibles qui peuvent être proches. Il faut éclairer l'action présente à la lumière des futurs possibles car dans le brouillard et dans l'incertitude, la boussole est plus indispensable que jamais.
- d) Le dialogue entre les modélisateurs et les prospectivistes est le plus souvent inexistant car ces deux mondes ne parlent pas le même langage. De plus, le rapport des forces est trop inégal d'un côté des armées d'économistes mathématiciens, de l'autre quelques chercheurs isolés à formation généralement plus littéraire. Par ailleurs, l'absence de neutralité de l'information de la modélisation ou de la prévision est un obstacle supplémentaire au dialogue entre chercheurs et utilisateurs ....

Dans certains milieux de mathématiciens-économistes, par ailleurs financés sur fonds publics, la reconnaissance scientifique internationale par les spécialistes du même domaine théorique paraît compter plus que la recherche de solutions aux problèmes les plus cruciaux de nos sociétés. Dans ces mêmes milieux, la volonté de dialoguer semble parfois particulièrement absente. Ce sont ces barrières qu'il faut briser.

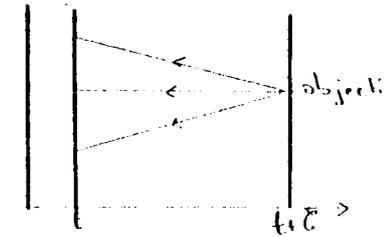
\*

\* \*

En conclusion, la prévision quantitative et la prospective qualitative sont deux approches dont la complémentarité est nécessaire pour élaborer le plan.

La construction de "prévisions par scénarios", telle que nous la proposons, n'est pas une tâche aisée car elle souffre d'un manque de méthodes. Cette lacune méthodologique ne fait que refléter l'insuffisance des recherches passées en la matière ainsi que le défaut de communications entre deux réseaux : celui des prévisionnistes modélisateurs et celui des prospectivistes.

Concrètement, il conviendrait de rassembler sur un même objet de prévision le mathématicien, l'économiste, le sociologue, l'historien, etc... quitte à ce que les modèles "collent" moins aux chiffres mais plus à la réalité. Bref, la vision globale nécessaire à la prospective passe par le pluralisme et la complémentarité des approches au sein d'une même équipe. C'est à ce prix que la prévision pourra espérer sortir de la crise.



On retrouve ces deux sortes d'approche dans toutes les méthodes, plus ou moins combinées. Il est évident que la combinaison des deux est la solution idéale, chacune venant combler les manques de l'autre.

## 5. Le choix d'une technique de prévision

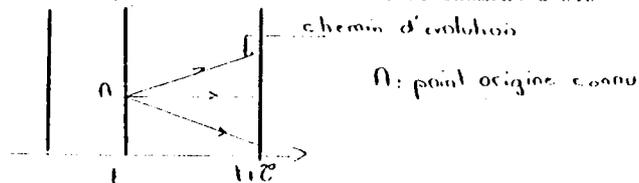
Extrait de Odile DESFORGES  
Maurice KLEIN

Rapport de stage Aéroport de Paris - 1973

### 4) Prévision exploratoire et normative

Il y a deux manières d'envisager la prévision :

- a) - une manière exploratoire ou tendancielle : la prévision exploratoire est orientée vers les possibilités. Partant d'une base de connaissances certaines, on cherche les différents chemins d'évolution.



- b) - une manière normative : la prévision est dans ce cas orientée vers la fonction. Se donnant l'objectif final, on cherche par quel chemin y arriver.

### 5) Le choix d'une technique

Il existe trois familles de méthodes : les méthodes dites à court terme, à moyen terme et à long terme.

Il importe de définir précisément ces termes :

#### 5.1) - Définition du court, du moyen et du long terme

- 5.a) Il semble que l'horizon auquel on se place suffise à définir le court, le moyen et le long terme. En fait, il s'introduit une autre notion qui est celle de la stabilité du système : en effet, si le phénomène étudié est stable c'est qu'on peut le relier d'une manière forte sur l'horizon considéré à un invariant ou à une tendance lourde et qu'il ne dépend pas de facteurs extérieurs. Cette stabilité peut se mesurer par exemple par une analyse de sensibilité.

Or, on connaît bien l'état des invariants ou l'évolution d'une tendance lourde : même si l'horizon de la prévision est éloigné, il est évident que dans le cas d'un système stable, il est facile de prédire son évolution par une simple analogie.

Pour faire la distinction entre court, long et moyen terme, il faut donc se référer :

- à la structure de l'environnement du système
- à la dépendance du phénomène de facteurs extérieurs
- à la connaissance que l'on a de ces facteurs au moment de l'étude.

#### 5.b) Le court terme

5.b.1) Il est caractérisé par :

- une structure du phénomène et de son environnement invariante sur l'horizon considéré
- une indépendance apparente du phénomène sur cet horizon ou la connaissance précise des facteurs externes à prendre en compte.

C'est par exemple le budget en économie.

5.b.2) Ces caractéristiques font qu'il est inutile de connaître le fonctionnement du système : on extrapole les observations passées ou celles de système évoluant de façon analogue.

5.b.3) Les méthodes utilisées en résultent : ce sont

- soit des modèles analogiques (dont la prévision par extrapolation des observations passées)
- soit des analyses statistiques.

On les trouvera exposées succinctement en annexe 1.

5.b.4) Toutes ces méthodes utilisent pour information de base les séries temporelles, ce qui suppose bien la permanence de la structure du système.

5.c) Le moyen terme

5.c.1) Il est caractérisé par :

- une structure de l'environnement du système inchangé durant la période d'étude
- mais une dépendance de ce système de plusieurs facteurs
- la connaissance de ces facteurs au moment où on fait l'étude.

C'est, par exemple, le plan en économie.

5.c.2) Ces caractéristiques rendent nécessaire d'expliquer l'influence des facteurs externes donc de connaître les mécanismes de fonctionnement du système.

On utilise donc des modèles descriptifs.

5.c.3) Les modèles sont :

- . les modèles économétriques
- . les méthodes statistiques explicatives (analyse factorielle)
- . les analyses input output

On les trouvera exposés en annexe 2.

5.c.4) Mais tous les paramètres de ces modèles sont déterminés à partir des données du système au moment où se fait l'étude, donc de la structure de l'environnement du système à cette époque. La permanence de la valeur de ces paramètres suppose donc bien celle de la structure de l'environnement.

5.d) Le long terme

5.d.1) Il est caractérisé par :

- le changement de la structure de l'environnement durant la période d'étude
- la dépendance de facteurs extérieurs
- l'ignorance de la nature ou de l'évolution de certains de ces facteurs au moment de l'étude.

C'est par exemple la prévision de la demande d'énergie nucléaire en l'an 2.000.

5.d.2) Ces caractéristiques rendent nécessaire une explication de la structure du système, de ses mécanismes de fonctionnement, et de l'influence des facteurs.

5.d.3) On ne trouve pas là de méthode générale mais plutôt des recherches dans diverses directions.

On trouvera les diverses méthodes que nous avons étudiées en annexe 3.

5.e) Conclusion

Cette étude montre en fait que toutes ces méthodes se ramènent à des extrapolations de tendances. Mais l'information de base est différente suivant le terme (court, long ou moyen) et non suivant la période de l'étude. Le temps n'apparaît en effet jamais explicitement sauf dans les modèles utilisant des équations différentielles.

Le propos de notre étude était de faire une synthèse des différentes méthodes de prévision à long terme en recherchant une méthodologie générale et d'utiliser pratiquement cette méthodologie pour traiter le problème du trafic aérien sur la Région Parisienne en 1990 après s'être assuré qu'il relevait bien de la famille des problèmes de prévision à long terme.

B - OUTILS DE PREVISION TECHNOLOGIQUE  
(exemples)

—

Source : INNOVATION ET EVALUATION TECHNOLOGIQUES  
Sélection des projets, méthodes de prévision  
R. SAINT-PAUL et P.F. TENIERE BUCHOT.

Entreprise Moderne d'Edition - Technique et  
Documentation - 1974.

## 1. L'analyse morphologique

Parmi les méthodes de prévision technologique, l'analyse morphologique occupe une place à part. Ayant un caractère discontinu affirmé, elle tranche sur les méthodes traditionnelles continues qu'elles soient individuelles, comme l'extrapolation de la tendance ou les modèles analogiques, ou collectives comme DELPHI ou les matrices d'interdépendance. Il ne s'agit plus ici de faire évoluer des situations ou des systèmes au cours du temps, ni même de prévoir l'occurrence, l'apparition, d'un événement ponctuel, mais d'imaginer ce que pourrait être cet événement encore inconnu pour l'instant, faisant par là même, tendre la prévision vers le domaine de l'invention.

Au sein des méthodes d'évaluation technologique, la grande originalité des travaux morphologiques réside dans cette démarche inductive, qui les posent en tant que point de départ d'un processus d'études générales (et réalisées éventuellement au moyen des techniques décrites dans cet ouvrage) et non comme un aboutissement de réflexions et d'analyses déductives et interprétatives.

Orientée vers l'observation, l'analyse morphologique ne néglige pas pour autant une étude minutieuse des liaisons pouvant exister à l'intérieur d'une structure, d'une « forme », d'où sa dénomination : « morphologique ». C'est donc avec les matrices d'interdépendance (qui, elles aussi, s'intéressent à l'importance des relations entre éléments d'un système), une autre méthode de prévision que l'on peut valablement inscrire dans le courant de pensée de l'analyse de systèmes.

Avant de décrire les modalités pratiques de mise en œuvre de cette technique particulière, il faut enfin signaler que sa finalité est essentiellement exploratoire et non-spéculative. C'est un panorama révélé d'un seul coup qui est recherché et non une approximation progressive plus ou moins probabilisante. Comme on le verra, le point de vue normatif n'est cependant pas exclu : une certaine volonté d'aboutir s'affirme dans le choix et l'assemblage des éléments de la structure, et dans les restrictions qui sont apportées à cette dernière pour la rendre réalisable et calculable.

## La technique de l'analyse morphologique

Inventée par F. Zwicky<sup>1</sup>, l'analyse morphologique s'intéresse à la décomposition des structures en plusieurs niveaux.

Un système donné, par exemple un propulseur chimique<sup>2</sup> sera considéré dans un premier temps comme une structure de propulsion, représentable par plusieurs niveaux :

- origine du combustible (ou du carburant),
- état physique du combustible,
- nature chimique du combustible,
- nature de la poussée,
- nature de la réaction,
- nature des accroissements de poussée,
- type des accroissements de poussée,
- type de la conversion d'énergie,
- mode de déplacement,
- milieu de déplacement,
- mode de fonctionnement.

Il est bien évident que ces niveaux nécessitent une réflexion extrêmement approfondie et un choix délicat. Respecter une certaine indépendance (éviter de représenter deux fois la même chose) mais surtout

éviter d'oublier un niveau nécessaire à l'utilité prospective de l'analyse, sont déjà des questions difficiles. En multipliant les niveaux, on élargit le système, mais son analyse devient vite impossible car il est trop complexe. En restreignant le nombre de niveaux, on risque de l'appauvrir outre mesure et de ne plus rien apprendre.

Il y a donc quelque part un compromis qui nécessite de nombreux tâtonnements.

Arriver à ce compromis, c'est-à-dire réaliser d'identification, l'autonomie de la structure, est d'une portée considérable. Toutes les solutions possibles, y compris celles qu'on ne pouvait imaginer directement seront mises à jour. L'exploration du futur se fera donc au moyen d'un panorama global peu à peu découvert et non plus par des spéculations limitées au coup par coup.

Il ne faudrait cependant pas en déduire que l'analyse morphologique est purement exploratoire : le choix des différents niveaux, c'est-à-dire l'obtention du compromis traduit partiellement l'affirmation d'une certaine volonté, d'une « normativité scientifique » de la part de l'expérimentateur. Comme tout travail prospectif, l'analyse morphologique nécessite une ligne directrice et une volonté d'aboutir.

La recherche des solutions constitue la seconde phase de l'analyse. Elle s'effectue par la désignation des modalités qui satisfont chaque niveau : pour les propulsions chimiques, le combustible peut y être contenu ou, au contraire, être prélevé à partir du milieu ambiant (deux modalités), son état physique peut être gazeux, liquide ou solide (trois modalités), etc.

On obtient ainsi une sorte d'arbre dont chaque chemin (passant par une modalité à tous les niveaux) représentera une solution imaginable.

Cette représentation fait bien entendre penser aux arbres de pertinence<sup>3</sup> et plus particulièrement aux graphes d'appui.

Une différence essentielle les sépare cependant : le graphe d'appui a toujours à peu près les mêmes niveaux : politique, missions, objectifs, systèmes, sous-systèmes, O.U.R. Cette constance est logique sous l'aspect morphologique, puisque la structure étudiée est toujours la même : la décision de choix des projets de recherche.

Pour chaque nouvelle forme étudiée, les niveaux de l'analyse morphologique varient. Il n'y a donc pas seulement à trouver les nœuds du système (on les appelle ici : modalités), il y a aussi à reconstituer les divers niveaux caractéristiques de ce système et de ce système seulement.

1. Cf. Zwicky. — Morphology and nomenclature of jets engines, *Aeronautical Engineering Review*, juin 47 ;

— The morphological method of analysis and construction. Courant Anniversary Volume 1948. Interscience Publish. New York.

— Morphological Astronomy. Springer Verlag. — Berlin 1957.

— Morphology of propulsive power. Monographs on morphological research Pasadena. — Calif. 1962.

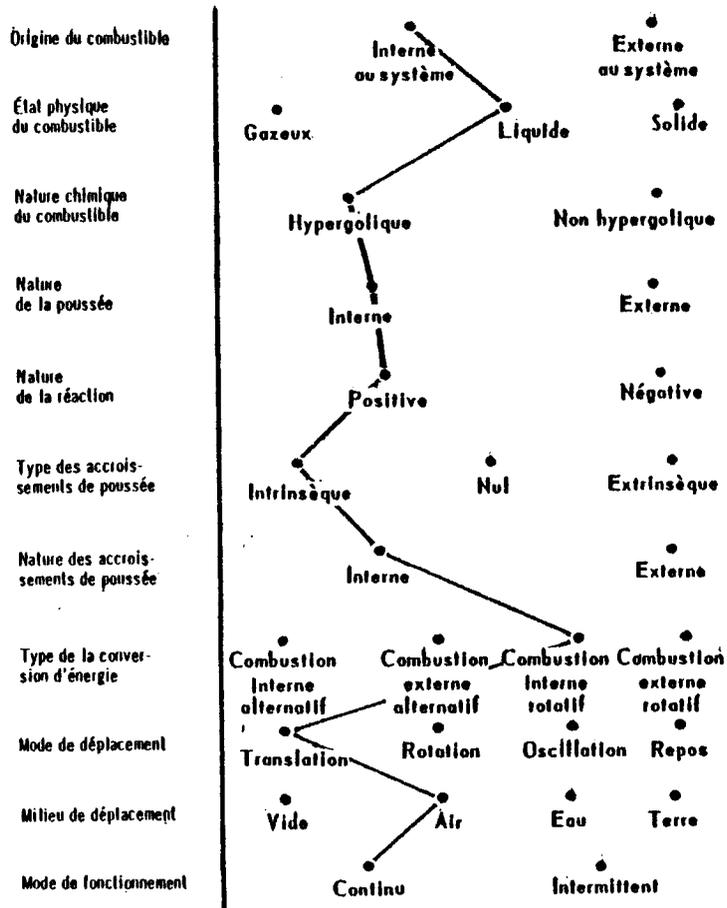
— Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. Droemer/Knaem. München, Zürich, 1966.

— (en anglais) Discovery, Invents, Research. the Mac Millan company 1969.

— Morphological aspects of the transport of energy. *Eklstics* n° 170, 1970.

2. Exemple tiré de Jantsch. — *La prévision technologique*, O.C.D.E.

3. Cf. chapitre 8 : Les arbres de pertinence.



L'effort est donc double puisqu'il est nécessaire à chaque fois de reconstruire une méthode sans éléments préétablis.

L'ensemble des modalités étant arrêté, et formant ce qu'on appelle « la boîte ou l'espace morphologique », on représente les solutions connues en joignant différents points de l'arbre par une ligne continue. Dans le schéma précédent, le turboréacteur a ainsi été figuré.

Il n'est qu'une solution parmi les  $2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 4 \times 4 \times 4 \times 2 = 36\ 864$  solutions imaginables.

Parmi elles, certaines seront très proches de la solution connue. Elles n'en différeront par exemple que d'une modalité. On dira alors qu'elles sont à une « distance morphologique » d'une unité. L'ensemble de ces solutions proches formera un « voisinage morphologique ».

Cette notion de voisinage pourra d'ailleurs être généralisée en considérant plusieurs voisinages distants de une, deux, etc. unités. Une combinaison linéaire de ces voisinages formera une « surface morphologique » (au moyen d'une pondération de 1 pour la distance 1,  $1/4$  pour la distance 2,  $1/n^2$  pour la distance n, montrant ainsi la confiance que l'on peut attendre de solutions éloignées).

La mise au point est ardue et même ingrate. Elle ne s'effectue que progressivement. Mais chaque difficulté amène sa part de réflexion, d'information et de découverte.

Afin d'examiner les problèmes les uns après les autres, il est recommandé d'étudier les relations existant entre modalités de différents niveaux, puis deux à deux. Cette approche s'effectue au moyen de « diagrammes morphologiques ».

Le niveau « conversion de l'énergie chimique » du schéma précédent résultait d'un tel diagramme<sup>4</sup>.

	Combustion externe		Combustion interne
moteurs :	cycle fermé	cycle ouvert	
Alternatifs	machine à vapeur ou générateur à gaz à cycle fermé (cycle de Rankine)	machine à vapeur simple effet ou double effet (cycle de Rankine)	moteur à combustion interne 2 temps 4 temps (cycles d'Otto ou de Diesel)
	moteur de Phillips (cycle de Stirling)	moteur à air chaud (cycle d'Ericson)	
Rotatifs	générateur à gaz (cycle de Rankine ou de Brayton)	turbine à vapeur simple (cycle de Rankine)	turbine à gaz turbine libre turbine à piste libre (cycle de Brayton) moteurs rotatifs de Wankel, Virmel, Tschudi, Mallory, etc. (cycles d'Otto ou de Diesel)

Certains diagrammes, comme celui-ci, ont toutes leurs cases remplies. Certains autres — et ce sont autant de directions de recherches intéressantes — ont encore des cases vides.

Il est certain que Mendeleiev avec sa classification périodique, que Le Verrier et son étude du système solaire, que les électroniciens du

4. Cf. Ayres. — *Technological Forecasting and Long Range Planning*, Mac Graw Hill.

début de l'ère du transistor (brevetant tour à tour les différentes « jonctions » imaginables), que Zwicky enfin aboutissant à la notion de pulsars, n'ont pas raisonné autrement, remplissant les cases vides décelées par une structuration de leurs connaissances et réflexions.

L'avantage de l'analyse morphologique est de rendre systématique ce raisonnement en faisant admettre au chercheur que la quête de l'exhaustivité n'est pas vaine. Car c'est bien de cela en définitive, qu'il s'agit. Dire tout sur un sujet donné est la condition nécessaire à la réussite de la méthode.

« L'invention » par Zwicky des étoiles naines, ses explications théoriques sur les galaxies compactes et la manière intergalactique, la vérification observée après coup de l'existence de ces « inventions » (de ces prévisions), montrent bien à cet égard le sérieux de l'analyse morphologique.

### Les difficultés de mise en œuvre de l'analyse morphologique

Les éventuelles découvertes auxquelles pourra aboutir l'usage de la technique morphologique, seront d'importance variable suivant le domaine étudié. Si l'on représente ce dernier par un carré, on se rend compte immédiatement en effet que la frange qui peut faire l'objet de prévisions nouvelles originales, varie en fonction de ce qui est déjà connu schématisé sous la forme d'une portion de cercle.

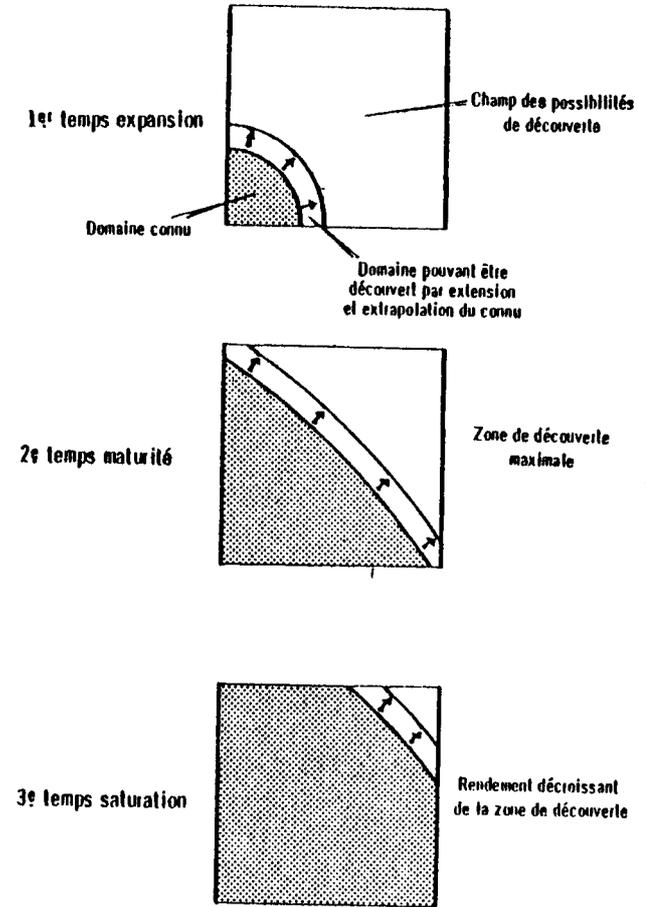
Cette représentation qui n'est pas sans rappeler les courbes en S et les modèles analogiques<sup>5</sup>, peut faire l'objet d'un calcul concernant la zone de découverte maximale.

Supposons qu'on étudie une structure à trois niveaux de paramètres : p1, p2 et p3, chacun d'eux ayant trois modalités :

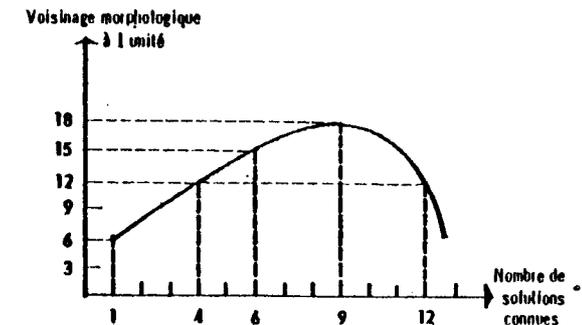
1 <sup>er</sup> niveau :	p11	p12	p13
2 <sup>e</sup> niveau :	p21	p22	p23
3 <sup>e</sup> niveau :	p31	p32	p33

L'espace morphologique est donc composé de 27 points (3 × 3 × 3). Supposons qu'une solution soit connue : (p11, p21, p31) ; le voisinage morphologique à une unité est composé de : (p12, p21, p31), (p13, p21, p31), (p11, p22, p31), (p11, p23, p31), (p11, p21, p32), (p11, p21, p33), soit 6 solutions.

Si maintenant on connaissait 4 solutions connues, on obtiendrait 12 configurations voisines d'une unité. Pour 6 solutions connues, ce



serait 15 ; pour 9 solutions connues, ce serait 18 ; mais pour 12 solutions connues, le nombre de configurations voisines retomberait à 12.



5. Cf chapitre 15 : Les courbes en S et les modèles analogiques.

Il existe donc un maximum de fécondité. Suivant qu'on en est proche ou éloigné, le nombre de chances d'aboutir varie évidemment.

Des observations analogues s'effectuent quand on étend le raisonnement à des voisinages plus éloignés. C'est ainsi que dans un espace de 27 points, si une seule solution est connue, le voisinage à une unité morphologique est composé de 6 configurations ; le voisinage à deux unités de différence, de 12 configurations ; le voisinage à trois unités de différence, de 8 configurations. Il y a donc là aussi un maximum qui rend inégales les chances de succès, suivant les situations.

L'expérimentateur devra se rendre compte de cette situation, l'effort à fournir étant bien moindre au voisinage du maximum (on en sait déjà beaucoup) que dans les phases d'extension (tout est à découvrir) ou de saturation (rendements décroissants).

Il ne faut conclure en aucune façon néanmoins au succès automatique de l'analyse morphologique lorsqu'elle est employée dans des situations favorables. Comme on a essayé de le montrer plus haut, elle procède par perception et induction. Elle s'intéresse donc d'abord au non-existant, au théorique, bâtissant des structures en y délimitant les vides pour finalement les remplir.

C'est ce parachèvement qui est particulièrement ingrat. S'il y a quelques vides qui sont des « pleins » potentiels, il y en a encore plus qui sont des gouffres sans fond...

Les résultats de l'analyse morphologique sont trompeurs. Leur extrême simplicité apparente cache en réalité des pièges multiples, qui sont d'ailleurs (quand on les vainct), tout l'enrichissement de cette méthode.

### Le problème de l'exhaustivité

La principale limite pratique de l'analyse morphologique est l'ampleur qu'elle peut prendre. Il n'est pas rare de voir des systèmes contenant plusieurs millions, voire plus, de possibilités<sup>6</sup>.

Si chacun a pu intérieurement se féliciter de l'existence de l'ordinateur au moment où apparaissent ces méthodes à base de répertoires et de classements, nul ne doit oublier que l'ordinateur n'est qu'une machine limitée. Elle ne peut traiter qu'un nombre humainement raisonnable d'informations (sinon l'exploitation des résultats ne pourrait se faire). Il faut donc savoir limiter l'analyse à la quantité d'informations

la plus faible, permettant néanmoins d'aboutir aux recherches ou aux prévisions qu'on s'était fixées.

D'un autre point de vue, l'étude morphologique d'un sujet suppose que tous ses aspects soient examinés. Il s'agit d'être exhaustif, l'oubli d'une modalité (ou pire d'un niveau) supprimant un nombre considérable de combinaisons peut être intéressantes.

De cette contradiction, nombre d'esprits chagrins prennent prétexte pour dénier à l'analyse morphologique une utilité pratique. Pourquoi penser à tout si l'ordinateur ne peut le traiter ? Comment être sûr de ne pas avoir oublié l'essentiel, quand on se limite au calculable ?

A ces critiques absolutistes, Zwicky répondait qu'il s'agissait d'entreprendre une analyse morphologique « modeste ». Essayer de penser à tout n'est pas si simple. Réduire ensuite son champ de réflexion en ne gardant que l'essentiel, est encore moins aisé. Celui qui aura surmonté ces deux phases aura beaucoup progressé. Il sera toujours temps alors qu'il se pose des questions sur l'exhaustivité de son travail.

### Les domaines d'application de l'analyse morphologique

L'impératif de penser à tout ce qui est fixé, incline à considérer l'analyse morphologique comme une technique réservée aux génies, ce qu'était Zwicky, incontestablement. En fait ce jugement sur la méthode procède à la fois du découragement et de la facilité. S'il semble bien que lorsqu'elle s'attaque à des problèmes de grande envergure, l'analyse morphologique devienne une sorte d'ascèse scientifique, exigeant plusieurs années de travail incessant, il en est tout autrement pour des sujets plus faciles.

Pour ne prendre qu'un exemple, la recherche d'innovations dans le domaine des moyens de rasage, peut très bien y recourir<sup>7</sup>.

Fonction examinée : le rasage					
Sources d'énergie :	• Electrique	• Chimique	• Manuelle	• Mécanique	
Agent raseur :	• Chaleur	• Electricité	• Lame	• Produits chimiques	• Bactéries
Type de déplacements :	• Circulaire	• Linéaire	• Statique		

L'espace morphologique contient  $4 \times 5 \times 3 = 60$  possibilités.

6. Cf. Gérardin. — *L'analyse morphologique : une aide à la créativité*, Thomson C.S.F., nov. 1971.

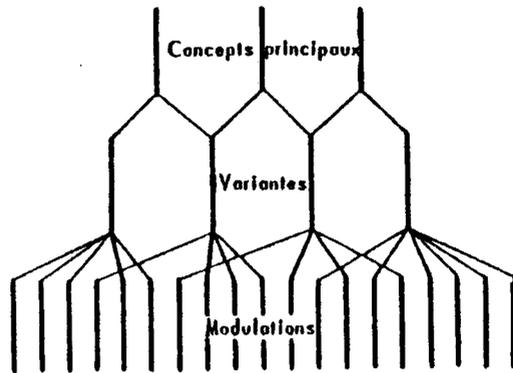
7. Cf. S. Rosen, Hudson Institute. — *A survey and preliminary assessment of technological forecasting and planning methodologies*, 1970.

Les solutions connues à l'heure actuelle sont par exemple la lame déplacée manuellement et linéairement, ou le rasoir électrique à lame rotative.

Des solutions originales à étudier seraient :

- Le brûlage sélectif des poils de barbe.
- Une digestion bactérienne de la barbe par application statique d'une crème, etc.

On voit à l'occasion de cet exemple simple toutes les aides à la création et à la prévision que peut apporter l'analyse morphologique. C'est donc un moyen qu'il faut recommander pour essayer de synthétiser les idées exprimées par un groupe de travail au cours d'une séance de brainstorming ou de synectique<sup>8</sup>, par exemple. On rejoint là un emploi original des arbres de pertinence, en tant que moyen de structuration d'une analyse de contenu<sup>9</sup>.



Pertinence (adéquation à l'élément supérieur) et originalité (isolement) peuvent être opposées à cette occasion et donner lieu à l'identification d'éléments inclassables, n'entrant dans aucune fonction, et correspondant parfois à des idées totalement nouvelles, (à la manière de celles qu'on peut trouver dans les cases vides de diagrammes morphologiques).

L'analyse morphologique et ses prolongements peuvent donc être considérés, on le voit, comme une transition concrète entre les méthodes d'évaluation technologique et les techniques de créativité, encore en plein développement.

8. Cf. W. Gordon. — Stimulation des facultés créatrices dans les groupes de recherche par la méthode synectique, *Hommes et Techniques*, 1968.

9. Cf. M<sup>me</sup> Mathieu-Batsch. — Les méthodes de créativité, *Science, Projets, Découverte*, n° 3434, 1971.

UN MODELE DE CROISSANCE DU TRAFIC AERIEN

2. LES COURBES EN "S" :

LA METHODE DE GOMPERTZ,  
APPLIQUEE AU TRANSPORT AERIEN (1)

(1) J. EYMARD  
J. DUHAMEL  
Aéroport de Paris

I - HYPOTHESE EXPLICATIVE

La croissance du transport aérien depuis l'origine a été constamment très rapide, de l'ordre de 13 à 15 % par an depuis l'entre-deux-guerres, avec une constance et une continuité remarquables.

Il est tentant de rechercher une liaison entre cette croissance et le développement des pays concernés, mais une difficulté majeure apparaît lorsqu'on cherche des grandeurs socio-économiques explicatives : aucune des variables qu'il semblerait naturel d'utiliser - population, production globale en volume, consommation des ménages, revenus, etc ... ne croît aussi vite. La seule méthode permettant un ajustement à peu près convenable est d'estimer des élasticités de croissance, mais il ne s'agit que d'un pis-aller car d'une part cela n'explique rien et d'autre part on ne retrouve pas par cette méthode l'allure caractéristique de l'évolution du trafic au cours du temps, c'est-à-dire une décroissance très légère mais persistante du taux annuel moyen de croissance, observable sur presque toutes les séries que l'on peut étudier.

C'est pourquoi l'approche du problème par les méthodes "économiques" classiques - régressions linéaires multiples en logarithmes - ne semble pas pouvoir fournir des prévisions fiables, de sorte que l'extrapolation graphique pure et simple reste encore le procédé le plus couramment employé même pour les prévisions à long terme, du moins en Europe.

Aux Etats-Unis, par contre, d'autres approches ont pu être obtenues avec des résultats apparemment assez bons, par des modèles gravitaires reposant sur les prévisions de développement économique des cités desservies. Le fait que de tels modèles soient satisfaisants aux Etats Unis et pas en Europe conduit à se demander quelle est la différence de nature dans les trafics aériens. Un fait vient immédiatement à l'esprit : alors qu'en France et en Europe en général, la population concernée par le transport aérien n'est que de 2 à 5 % de la population totale, ce pourcentage est selon les estimations de 30 à 60 % aux Etats Unis. Ceci nous conduit à introduire un facteur explicatif de la croissance qui est le taux de pénétration du marché potentiel. La croissance du trafic est donc le produit de la croissance du marché potentiel par la croissance de la pénétration. Lorsque la pénétration est importante, comme aux Etats Unis, sa croissance est faible et l'évolution du trafic s'explique presque entièrement par l'évolution de son marché.

Il reste à définir le marché et à trouver un modèle représentant la pénétration.

II - UN MODELE DE PENETRATION

Considérons une population d'individus  $N(t)$  dont une partie  $m(t)$  possède un bien ou un comportement, dont nous supposons :

- 1) qu'il est accessible à l'ensemble de la population ;
- 2) qu'il est jugé satisfaisant par ceux qui l'ont ;

On peut supposer que ce bien ou ce comportement doit pénétrer progressivement la population. Pour représenter l'évolution de cette pénétration, nous faisons l'hypothèse suivante :

- pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$ , la variation du pourcentage d'individus acquis  $\Delta p(t)$  est :

- 1) proportionnelle à  $\Delta t$
- 2) proportionnelle à la probabilité de rencontrer une personne possédant ce bien ou ce comportement
- 3) proportionnelle à la "singularité" de ce bien ou de ce comportement, définie comme la quantité d'information au sens de Shannon, apportée par le fait que l'individu rencontré possède cette particularité.

soit :  $\Delta p(t) = K \cdot \Delta t \cdot \frac{m(t)}{N(t)} \cdot \log \frac{N(t)}{m(t)}$

ou  $\Delta p(t) = K \cdot \Delta t \cdot p(t) \cdot \log \frac{1}{p(t)}$

d'où l'équation différentielle :

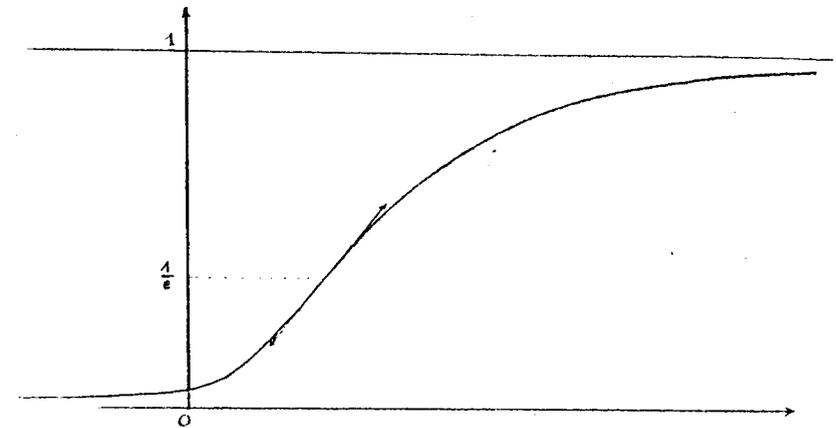
$$\frac{dp}{dt} = -K p \log p$$

Si  $p$  est très petit,  $p \log p$  est voisin de zéro et la croissance de la pénétration est faible : c'est la phase de "démarrage" du trafic sur une liaison nouvelle ; si  $p$  est voisin de 1, la croissance de la pénétration est de nouveau faible et le trafic varie comme son marché potentiel.

L'intégration de cette équation donne :

$$p(t) = \exp(-Ae^{-kt})$$

C'est la fonction de Gompertz, dont la représentation graphique est donnée ci-dessous. Elle présente un démarrage assez rapide, puis un infléchissement très progressif vers l'asymtote supérieure.



Supposons que le taux de pénétration, soit élevé, c'est à dire que  $e^{-kt}$  soit voisin de zéro. On peut alors faire l'approximation suivante :

$$1 - p(t) = 1 - \exp(-Ae^{-kt}) \sim Ae^{-kt}$$

et on trouve que le pourcentage de population non encore pénétrée doit décroître à un taux à peu près constant, si notre hypothèse est bonne. Or c'est précisément ce que l'on constate d'après les enquêtes faites par le P.O.N.Y.A pour le marché de l'aéroport de New-York (1) et cette constatation sert en fait de base aux prévisions de trafic à long terme de cet aéroport.

Il y a donc finalement des raisons assez sérieuses d'essayer d'appliquer ce modèle théorique à la croissance des trafics d'Aéroport de Paris.

III - VERIFICATION DU MODELE

Pour vérifier notre hypothèse sur le trafic d'Aéroport de Paris, la difficulté essentielle est de définir le marché : il est en effet évident que l'on peut définir une infinité de marchés et autant de taux de pénétration différents, les deux définitions extrêmes étant d'une part l'ensemble de la population mondiale multipliée par la fréquence maximale de voyages (taux de pénétration extrêmement faible, croissance très lente) et d'autre part l'ensemble des voyages aériens réellement effectués (pénétration : 100 % évidemment).

Si nous pouvons résoudre ce problème, la vérification devient très simple. En effet, la fonction de Gompertz peut s'exprimer par :

$$\log(-\log p(t)) = \log A - kt$$

1) "Market research and forecasting for the airport market" par George P. Howard et Johannes G. Augustinus - juin 1972

et la vérification consiste alors à constater un alignement de points. Nous avons pu faire cette vérification dans un cas particulier, celui des grandes radiales en métropole. Nous avons admis que le marché était le trafic total air + chemin de fer, supposant implicitement que les déplacements en voiture particulière répondent à un besoin différent.

Ayant représenté sur un graphique à échelle verticale logarithmique l'évolution du pourcentage de voyages aériens par ligne, nous avons construit graphiquement une courbe type, en raccordant les portions de courbe de plusieurs villes. Cette courbe-type doit représenter l'évolution de la pénétration de l'avion sur une grande liaison radiale dans des conditions de concurrence qui sont celles des dix dernières années sur les lignes choisies comme représentations.

On constate alors que l'alignement des points sur le dernier graphique est très bon, ce qui confirme la validité du modèle.

On ne peut malheureusement pas faire de même pour les autres trafics. Pour l'Atlantique Nord, par exemple, on ne peut considérer que le marché est constitué par le trafic air + bateau puisque le trafic passagers maritime est négligeable. On ne peut donc parler de pénétration de l'avion dans l'ensemble des voyages, mais de pénétration du voyage intercontinental dans une certaine population que nous ne connaissons guère.

En l'absence d'autre information, on peut essayer la méthode d'approche simplificatrice qui consiste à supposer que le marché a connu dans le passé une croissance exponentielle. On peut alors écrire

$$V(t) = a e^{bt} \quad p(t) = a e^{bt} \cdot \exp(-c e^{-dt})$$

$V(t)$  désignant la valeur du trafic à l'année  $t$ . On peut alors chercher quelles sont les valeurs de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  qui donnent le meilleur ajustement sur le passé. Cette méthode a de graves inconvénients, en plus de la difficulté pratique de calcul : le résultat contient implicitement une définition du marché potentiel qui varie beaucoup d'une série de trafic à une autre ; d'autre part, pour pouvoir utiliser ce calcul pour la prévision, on est amené à prévoir le marché en trouvant une interprétation a posteriori des chiffres obtenus, ce qui est hasardeux. Cette approche présente cependant l'intérêt de montrer une insensibilité assez grande de la prévision à la définition du marché ; en effet, si nous fixons  $a$  et que nous ajustons la formule sur les paramètres  $b$ ,  $c$  et  $d$ , on constate (voir en annexe) une variation assez faible de l'extrapolation obtenue, si on se limite à un horizon d'une dizaine d'années.

Ceci ne doit pas nous étonner puisque, comme nous l'avons dit au début de ce paragraphe, la définition du marché est assez arbitraire.

#### IV - PREVISIONS

Le trafic d'AEROPORT DE PARIS est divisé en huit segments correspondant aux grandes régions desservies :

- Métropole
- Londres
- Reste de l'Europe
- Afrique du Nord
- Autre Afrique
- Amérique du Nord
- Amérique du Sud
- Orient

Nous ne connaissons pas à priori le marché potentiel du transport aérien de passagers sur chacun de ces faisceaux, mais nous ferons l'hypothèse suivante :

Hypothèse : la croissance limite du trafic entre deux régions est égale à celle du PNB des deux régions, exprimé à prix du transport constant ce qui signifie que dans l'hypothèse où la pénétration atteindrait 100 %, la part du PNB total consacrée au transport aérien reste constante, du moins si les conditions de la concurrence avec les autres modes de transport sont inchangées (le cas échéant on appliquera le résultat d'études spécifiques sur la répartition entre modes, par exemple pour l'effet du tunnel sous la Manche).

Cette hypothèse est évidemment assez grossière et critiquable ; cependant compte tenu de la précision que nous accordons à une prévision de croissance des PNB et du prix du transport, c'est la moins mauvaise que nous puissions envisager pour une projection à long terme (1990). On pourrait d'ailleurs affiner l'étude en séparant le trafic affaires du trafic pour motifs personnels et en prenant une élasticité du tarif aérien inférieur à 1 dans le premier cas, supérieure dans le deuxième.

Sous cette hypothèse, nous représentons donc le trafic de l'année  $t$  par la formule

$$V(t) = a e^{t \cdot b(t)} \exp(-c e^{-dt})$$

où  $b(t)$  est donné (croissance du marché année par année) et où  $a$ ,  $c$  et  $d$  sont des paramètres à estimer.

L'estimation se fait alors en minimisant la fonction :

$$\sum \left[ \log_2 \frac{V(t)}{\text{trafic réel}(t)} \right]^2 \quad \text{pour les années passées.}$$

.../...

.../...

L'intérêt de cette méthode est d'introduire explicitement les influences externes par l'intermédiaire des coefficients  $b(t)$  tout en ne nécessitant pas sur ces coefficients une précision très grande puisque, comme nous l'avons vu, les résultats sont peu sensibles à une imprécision sur la définition du marché, tant que la part de la pénétration dans la croissance totale reste importante.

Les résultats sont donnés en annexe, les hypothèses économiques étant précisées dans l'étude prospective du transport aérien à Paris" qui sera publiée prochainement.

On trouvera également en annexe le programme utilisé, écrit en BASIC sur calculateur de bureau HP 9830

Source : INNOVATION ET EVALUATION TECHNOLOGIQUES.

Sélection des projets, méthodes de prévision  
R. SAINT-PAUL, et P.F. TENIERE BUCHOT  
Entreprise Moderne d'Édition, Technique  
et Documentation ) 1974

### 3. La méthode Delphi

#### Description de la méthode

Parmi toutes les méthodes de prévision technologique la méthode DELPHI<sup>1</sup> est certainement une de celles les plus utilisées (1 000 « DELPHI » sont en cours ou ont été réalisés aux U.S.A., plus de 100 sont étudiés en Europe).

Sa mise en œuvre pratique comporte trois étapes essentielles : la constitution d'un groupe d'experts, l'élaboration d'un questionnaire, le déroulement de la consultation et le dépouillement auquel elle donne lieu.

#### 1) La constitution d'un groupe d'experts

Le terme « expert » est ambigu. Il n'a pas partout le même sens.

Nous le prendrons dans son sens américain, c'est-à-dire le plus large. Est expert celui qui est désigné pour participer à l'enquête DELPHI. C'est pour sa compétence ou la largeur de ses vues que les organisateurs du DELPHI ont pensé à lui. Ce n'est pas pour sa fonction, ses titres ou son niveau hiérarchique. Un bon DELPHI émane d'hommes porteurs d'avenir, orientés vers le futur. Il ne peut résulter d'avis de gestionnaires,

fussent-ils bons, d'hommes garants d'un quelconque système, dont le champ de vision est limité. Les organisateurs du DELPHI dressent donc une liste des personnes qu'ils estiment pouvoir convenir. Le domaine à étudier étant défini (les nouveaux systèmes de transport, la pollution des eaux ou les facteurs environnants de l'industrie automobile, par exemple), les organisateurs se trouvent souvent dans la pratique à court de noms. Il est en effet difficile, que le sujet soit vaste (multidisciplinaire) ou non (spécialisé), d'aligner de cinquante à cent noms afin que l'effectif final, qui participera réellement à l'enquête, ne soit pas trop réduit.

La technique consiste alors à s'adresser, sous un quelconque prétexte, à une ou plusieurs des personnes déjà choisies ou, au contraire, refusées. Cette petite ruse permet de connaître très rapidement non seulement les personnalités estimées comme ayant des vues proches, mais également celles qui le sont, pour des raisons contraires.

Les organisateurs du DELPHI auront à panacher judicieusement leur groupe d'experts, en fonction des objectifs qu'ils se sont fixés :

— Au plan exploratoire (la connaissance de l'avenir), le groupe d'experts est à cet égard une contrainte. Il est soumis en particulier à la mode intellectuelle ou scientifique du moment. On en verra plus loin un exemple et la façon d'évaluer ce « biais ».

— Au plan normatif (la prise de décision), il apparaît comme un moyen. Réunir des avis, les confronter, les amener à un point de vue commun, (leur point de vue commun), dégager les avis irréductibles, décider alors en connaissance de cause, est un processus de concertation, résultat de la mise en œuvre de la méthode.

Un écueil limite cependant la foi qu'on peut avoir dans les résultats d'un DELPHI : le manque d'indépendance des experts. Une des originalités de DELPHI est cependant d'isoler par précaution les experts les uns des autres, au moyen d'une enquête anonyme par correspondance. Cet isolement — théorique — a pour but le traitement statistique des réponses. L'indépendance des variables est donc requis afin de dégager des moyennes « non biaisées » issues de distribution « pures ». Cette louable préoccupation n'est en fait jamais réalisée en pratique, surtout en France. Les experts se connaissent tous, particulièrement dans des disciplines très spécialisées. Leurs réponses, bien que la discrétion des organisateurs leur soit assurée, sont très souvent emprises de conformisme. Un consensus trop vite établi est un consensus fragile et non significatif ; le débat n'a pas eu lieu. Une ruse peu avouable, des organisateurs consiste dans ce cas, à introduire un élément aberrant dans les réponses, afin de le provoquer. Cet élément sera récupéré par la suite. Il aura servi de catalyseur.

1. DELPHI est la traduction anglaise de DELPHES, célèbre pour les oracles que tenaient la Sibylle et la Pythie.

## 2) L'élaboration du questionnaire

Les questions posées dans une enquête DELPHI doivent être précises, quantifiables et tant qu'à faire indépendantes.

Elles font intervenir, dans la plupart des cas, le paramètre temps, par exemple :

- En quelle année le revenu individuel brut annuel des Français sera-t-il (en francs constants) le double de celui de 1970 ?

La précision pourra s'exprimer en dehors de la question, par un commentaire annexe.

Une question comme :

- En quelle année le niveau de vie des Français sera-t-il doublé ? serait une mauvaise question si l'on ne spécifie pas ce qu'on entend par « niveau de vie ».

L'indépendance des questions est un point primordial, qu'on peut satisfaire difficilement dans les sciences sociales et même parfois dans les domaines techniques. On entend par « indépendance », le fait que la réalisation supposée d'une des questions à une date donnée, n'a pas d'influence sur la réalisation d'une autre question<sup>2</sup>.

Si l'on pose, après la question sur le doublement du revenu individuel, une autre question sur l'augmentation de la consommation, il est bien évident que les résultats individuels qui seront fournis, seront corrélés : celui qui pensera que le doublement du revenu par tête est pour bientôt aura tendance à penser de même pour l'augmentation de la consommation, et inversement. L'agrégation statistique des différentes réponses pour chaque question sera donc à l'origine de biais qui fausseront les conclusions de l'enquête.

Une étude approfondie du questionnaire est donc nécessaire afin d'éliminer, quand cela est possible, les relations de dépendance entre questions. Comme pour une enquête d'opinion, le questionnaire sera testé parmi un effectif réduit de personnes interrogées.

Deux types de questionnaires se distinguent le plus souvent.

— Les questionnaires sectoriels qui intéressent une branche technique ou un domaine économique ou social, spécifique. Ce sont eux qui sont les plus délicats à établir. Les liaisons entre paramètres d'un même secteur sont nombreuses et les risques de « biais » sont donc multiples. Les organisateurs auront intérêt à faire l'analyse de ces liai-

2. Cf. chapitre 19 : Matrices d'interdépendance.

sons<sup>3</sup>, de préférence avant, et pour le moins simultanément à la mise en œuvre du DELPHI.

— Les questionnaires généralisés qui s'intéressent plus au futur qu'à un domaine particulier. Ils ont pour objet de dresser un panorama prévisionnel. Les questions posées sont donc pour beaucoup plus diversifiées que dans le cas précédent et *a fortiori* moins liées entre elles. La préoccupation des rédacteurs est ici d'éviter de formuler les questions en fonction des préoccupations présentes (« modes » scientifiques, techniques, idéologiques, etc.) et d'utiliser un vocabulaire trop spécialisé ou ambigu.

## 3) Le déroulement pratique et l'exploitation d'un DELPHI

La méthode DELPHI proprement dite s'effectue généralement en cinq phases : quatre phases d'enquête et une phase de dépouillement et d'exploitation<sup>4</sup>.

### PHASE n° 1 : Envoi du premier questionnaire.

Le questionnaire est adressé par poste à tous ceux qui ont été retenus lors de la constitution du groupe d'experts. Cela signifie qu'une centaine d'envois environ doivent être effectués afin de tenir compte des non-réponses, parfois nombreuses, et des abandons en cours d'enquête.

Pour avoir une signification statistique, il ne faut pas, en effet, que le groupe de travail définitif, qui aura répondu à *tous* les questionnaires, et à partir duquel s'effectuera le dépouillement, soit composé de moins de vingt-cinq membres.

Chaque questionnaire est accompagné d'une note de présentation expliquant les buts et l'esprit du DELPHI. Les conditions pratiques de déroulement de l'enquête y sont exposées. Le délai de réponse après réception de chaque questionnaire (généralement un dizaine de jours) y est en particulier indiqué. Aux U.S.A. une incitation économique est prévue. Estimant que les experts passent un certain temps à répondre aux questions posées, les organisateurs promettent un dédommagement : 1 000 francs par expert, par exemple, pour l'ensemble de l'enquête (4 questionnaires). L'anonymat des réponses est rappelé et assuré. Ce point est important car le nom de l'expert devra figurer en bas de chaque feuille de réponse, afin d'en garantir l'authenticité et de faciliter le dépouillement.

3. Cf. chapitre 11 : Les techniques d'analyse structurelle.

4. Cf. Helmer et Gordon : The Delphi Method : an illustration, in : Bright. *Technological Forecasting for Industry and Government*.

Pour ce premier questionnaire une disposition spéciale est prévue : chaque expert doit se noter lui-même vis-à-vis de chaque question. Cela est particulièrement utile dans les questionnaires généralistes. Les questions posées peuvent en effet toucher des disciplines très éloignées (l'économie politique et la biologie par exemple). Une échelle de valeur est indiquée :

1. Très compétent (spécialiste).
2. Compétent.
3. Au courant du sujet.
4. Peu au courant du sujet.
5. Incompétent (l'expert interrogé doit néanmoins fournir une réponse).

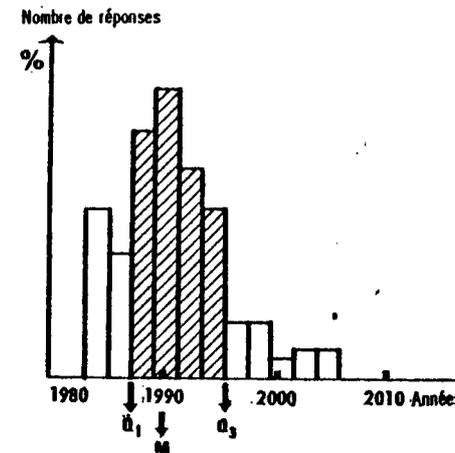
QUESTIONNAIRE «DELPHI» N° 1		
Notations (1, 2, 3, 4 ou 5)	Questions	Réponses *
	1. En quelle année pourra-t-on organiser des croisières de un mois sur la lune ?	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
	2. En quelle année le nombre des morts par suite de malnutrition tombera-t-il à moins de 1 million par an ?	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
	3. En quelle année l'usage d'hallucinogènes inoffensifs pour la santé sera-t-il légal ? etc...	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
<p>* Les réponses s'expriment soit par un millésime, soit par les mentions « plus tard » ou « jamais »</p>		
	- J'ai l'intention de continuer à participer à ce «DELPHI»	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
	- Je n'ai pas l'intention de continuer à participer à ce «DELPHI»	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Nom : .....	Signature :	

Cette auto-notation permettra de sérier les meilleures réponses (ou supposées telles) en ne retenant que celles ayant une note supérieure à 4, par exemple. Les résultats des « spécialistes » (note 1) pourront être comparés et opposés aux résultats des non-spécialistes (ou s'estimant tels). Il en résultera une interprétation des réponses plus aisée. L'auto-notation des experts est valable pour toute la durée de l'enquête. Elle sera consignée par les organisateurs, mais non représentée dans les questionnaires suivants.

**PHASE n° 2 : Dépouillement du premier questionnaire. Envoi du second questionnaire.**

Dix à quinze jours après l'envoi du premier questionnaire, les organisateurs reçoivent les réponses et les dépouillent. Après avoir éliminé les réponses des experts ne désirant pas poursuivre, ils traitent chaque question suivant les règles de la statistique descriptive. Une distribution est donc construite, une moyenne (ou plus exactement une médiane) et un écart interquartile sont calculés.

Prenons par exemple la première question sur le voyage d'agrément sur la lune.



La distribution telle qu'elle a été dessinée montre que la médiane se situe en 1990. Cela veut dire que 50 % des experts pensent qu'un voyage sur la lune pourra arriver avant 1990 et 50 % pensent au contraire qu'il pourra arriver après 1990.

Une indication supplémentaire est utile pour apprécier la répartition des avis autour de cette moyenne :

— 25 % des experts pensent que le voyage sera possible avant 1987, et 75 % le contraire. C'est le premier quartile Q 1.

— 75 % des experts pensent que le voyage aura lieu, tel qu'il est défini, avant 1995, et 25 % pensent le contraire. C'est le dernier quartile Q 3.

L'espace interquartile est défini par ces deux dates : 1987 - 1995. 50 % des experts pensent que la question posée sera résolue à l'intérieur de cet intervalle.

25 % d'« optimistes » pensent qu'elle sera résolue avant.

25 % de « pessimistes » pensent qu'elle sera résolue après.

L'objectif de la méthode DELPHI est de diminuer l'espace interquartile tout en précisant la médiane.

Pour cela les avis des optimistes et des pessimistes vont être confrontés afin de « rallier » certains d'entre eux au clan médian.

Le second questionnaire adressé aux experts aura donc la forme suivante :

QUESTIONNAIRE «DELPHI» N° 2					
QUESTIONS	Médiane	E.I.Q.*	Votre ancienne réponse sur questionnaire n°1	Votre nouvelle réponse	Éventuellement vos raisons de répondre en deçà ou en delà de E.I.Q.
1. En quelle année pourrions-nous organiser des croisières de 1 mois sur la lune ?	1990	1987-1995	1997	<input type="text"/>	
2. En quelle année le nombre de morts par suite de malnutrition, etc.				<input type="text"/>	

\*E.I.Q. : Espace interquartile

Nom : ..... Signature :

Après avoir indiqué les éléments statistiques précédemment définis, la réponse indiquée par l'expert sur le premier questionnaire est rappelée (d'où l'intérêt d'avoir son nom). Une nouvelle réponse lui est réclamée.

Plusieurs cas peuvent ici se présenter :

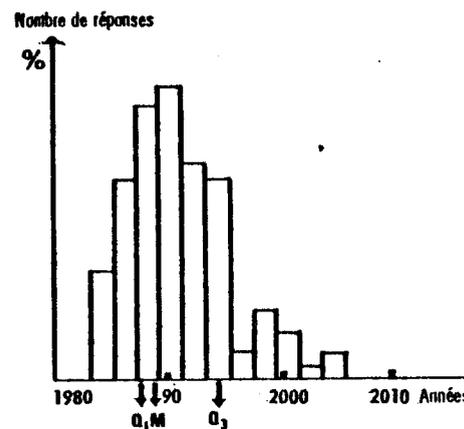
a) La première réponse de l'expert se situe dans l'espace interquartile. Nul doute alors que sa seconde réponse sera une répétition de la première. La paresse et la « satisfaction majoritaire » jouant, il serait étonnant que l'expert change d'avis.

b) La première réponse de l'expert se situe hors de l'espace interquartile. Des explications lui sont alors demandées s'il persiste dans son opinion.

On remarquera ici le caractère dissuasif, voir intimidant, qu'a cette procédure : seuls ceux qui veulent se situer hors de la majorité doivent fournir des explications. De nombreux indécis, timides ou peu motivés seront ralliés rien que par ce fait. Les « extrémistes » (optimistes ou pessimistes) seront distingués à l'issue de ce second questionnaire. L'objet du troisième questionnaire sera d'en réduire le nombre en opposant leurs arguments.

PHASE n° 3 : Dépouillement du second questionnaire. Envoi du troisième questionnaire.

Le second questionnaire se traduit par une nouvelle distribution généralement moins étalée que la première.



Les nouvelles valeurs de la médiane et de l'espace interquartile ainsi que les arguments des « extrémistes » sont indiqués dans le troisième questionnaire :

QUESTIONS	MEDIANE	E.I.Q.	Arguments pour une réalisation plus rapide	Arguments pour une réalisation plus tardive	Votre nouvelle réponse	Vos critiques aux arguments qui vous semblent inacceptables
1. En quelle année pourra-t-on organiser des croisiers de un mois sur la lune ?	1989	1988-1994	Les derniers succès américains favorisent des engagements de crédits plus rapides et plus importants. Les expériences présentes passeront rapidement au stade de la présérie puis de la série. A fiabilité égale, le coût des équipements chutera, etc.	Il ne faut pas sous-estimer les difficultés pour passer de la phase prototype actuelle à la commercialisation en agence de voyages. L'entraînement physique de préparation à un voyage dans l'espace est incompatible avec une commercialisation. Les crédits affectés jusqu'à présent à l'espace iront à d'autres problèmes (environnement, etc.), des retards s'ensuivront, etc.		
2. En quelle année le nombre de morts, etc. ....						

NOM .....

Signature :

QUESTIONNAIRE « DELPHI » N° 3

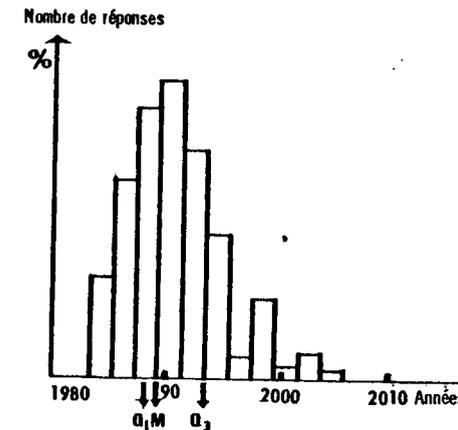
A la vue de ces arguments contradictoires, les experts auront à se prononcer pour entrer dans la « majorité » ou au contraire pour se maintenir en dehors. Des critiques, en forme de contre-arguments, leur sont de plus demandées, quelle que soit leur position, vis-à-vis des allégations avancées.

On remarquera là encore le caractère assez inégal de la consultation : les extrémistes peuvent se battre entre eux, la majorité peut attaquer les extrémistes, mais la majorité n'a jamais eu à argumenter pour se justifier. Ergo les extrémistes n'auront pas l'occasion de la remettre en cause puisque le manque initial d'arguments ne leur permettra aucune prise dans le cadre de l'enquête. On saisit ici à quel point la méthode DELPHI est bien adaptée à la prise de décision et pourquoi on en voit souvent des applications normatives que des applications exploratoires.

Le quatrième questionnaire exprimera cette prédominance du centrisme.

*PHASE n° 4 : Dépouillement du troisième questionnaire. Envoi du quatrième et dernier questionnaire.*

La distribution issue du troisième questionnaire sera sensiblement comparable à celle du second si ce n'est qu'elle en précisera et affirmera l'allure :



Le questionnaire n° 4 indiquera les nouvelles valeurs prises par M, Q 1 et Q 3 ainsi que les contre-arguments opposés aux partisans de l'une et de l'autre extrémité de l'histogramme.

Une réponse définitive à la lumière de ces derniers échanges sera demandée aux experts.

QUESTIONS	MEDIANE	E.I.Q.	CONTRE-ARGUMENTS défendant une réalisation plus rapide	CONTRE-ARGUMENTS défendant une réalisation plus tardive	VOTRE REPONSE DEFINITIVE
1. En quelle année pourra-t-on organiser des croisières d'un mois sur la lune ?	1989	1988-1993	Il n'y aura pas plus de difficultés à transporter des passagers sur la lune qu'il n'y en a eu pour traverser l'Atlantique après Lindbergh. L'entraînement physique sera limité à celui requis pour l'alpinisme actuellement. etc.	Le but étant atteint, les Américains s'accorderont avec les Russes pour ralentir la course à l'espace. Les crédits diminueront. Le transport des passagers nécessitera une fiabilité accrue extrêmement onéreuse. etc.	
2. En quelle année le nombre de morts, etc.					

NOM : .....

Signature :

**PHASE n° 5 : Dépouillement du dernier questionnaire. Résultats finals. Exploitation.**

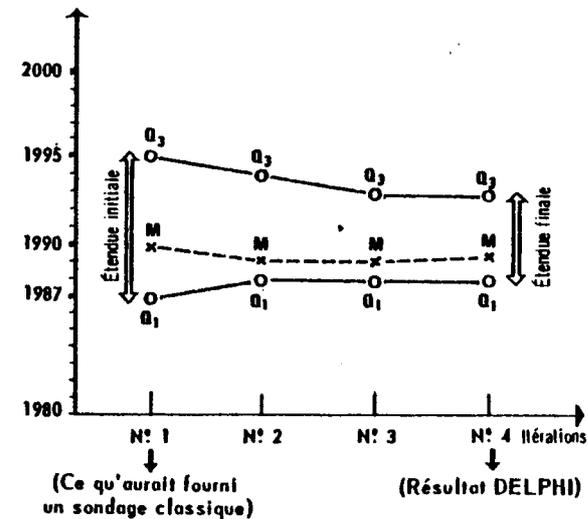
Il y a maintenant un phénomène de « cristallisation » des diverses positions des experts. Les distributions varient peu d'une phase à l'autre.

L'ensemble des réponses sera donc consigné sur un tableau où pourra figurer une moyenne des « spécialistes » (autonotation : 1 ou 2) qui servira d'indice de comparaison.

**RESULTATS RESUMES DU « DELPHI »**

Questions	E.I.Q.	Médiane	Moyenne des spécialistes
1. Croisière sur la lune.	1988-1993	1989 1/2	1991
2. Moins d'un million de morts dus à la faim, etc.	2000-2015	2009	2009

Le petit graphique ci-dessous visualise les itérations :

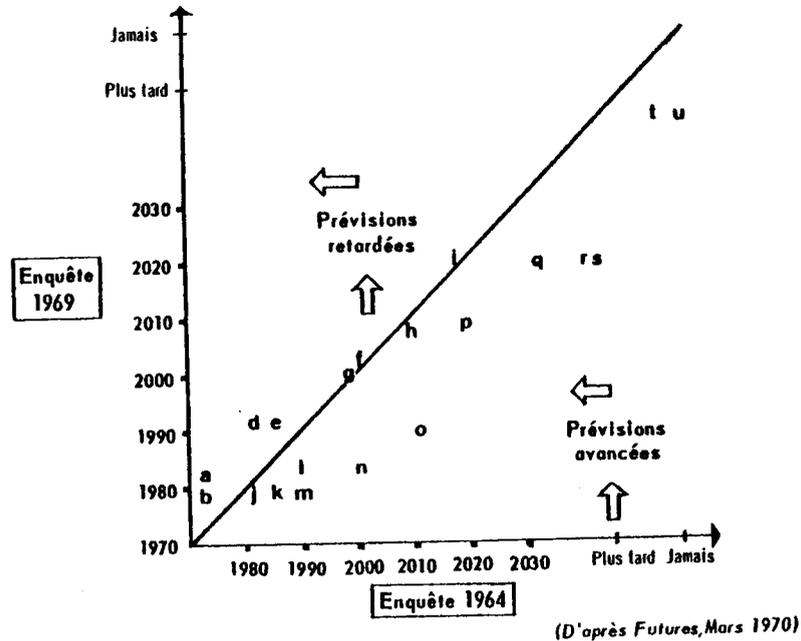


Ce phénomène de convergence observé (mais non démontrable) n'a parfois pas lieu.



prévision à 30 ans, l'infini pour une prévision à plus de 50 ans<sup>5</sup>. Le tableau ci-dessus, donnant quelques prévisions d'un DELPHI réalisé en 1964, montre cette tendance<sup>6</sup>.

Une expérience analogue tentée en 1969 avec des questions identiques à celles du DELPHI 1964, montre clairement l'influence que la mode peut avoir sur les experts.



Tous les événements de a à i sont retardés dans l'enquête 1969. C'est en particulier le cas pour tout ce qui concerne l'océanographie et l'exploration spatiale. Le retard des programmes pour la première, et l'expérimentation pratique pour la seconde, ont fait tomber l'enthousiasme.

Tous les événements marqués de j à n ont été au contraire avancés. Il est à remarquer que beaucoup d'entre eux intéressent la biochimie, la génétique, la médecine. Peut-être est-ce là de nouveau l'influence d'une mode suscitée par certaines expériences comme les transplantations cardiaques ?

5. Un espace interquartile infini signifie que certains experts pensent que la prévision ne se réalisera jamais.

6. D'après S. Rosen. — A survey and preliminary assessment of technological forecasting and planning methodologies (Hudson Institute, 1970).

## Intégration de la méthode DELPHI dans le plan à long terme

La méthode DELPHI répond assez bien à la notion « d'occurrence » (c'est-à-dire, réalisation d'une prévision à un instant donné) mais répond fort mal aux notions de « pertinence » (« désirabilité » de cette réalisation pour les utilisateurs, fécondité pour l'entreprise) et de « faisabilité » (possibilités techniques de réalisation), nécessaires à l'accomplissement du plan à long terme d'une entreprise.

Il était donc naturel que des améliorations soient apportées dans cette voie par les utilisateurs de DELPHI.

### a) Les techniques PROBE et SOON de Thomson Remo Woolridge

Une première phase (PROBE 1) fut réalisée en 1966 par une équipe d'environ 30 experts. C'était un DELPHI destiné à alimenter le service de planification à long terme de l'entreprise et à lui fournir, en quelque sorte, des idées pour les vingt prochaines années.

Il apparut rapidement, non seulement la carence de la méthode vis-à-vis des notions de « désirabilité » et de « faisabilité », mais également sa faiblesse quant à l'indication des préalables techniques obligatoires.

La méthode fut donc étendue à un plus grand nombre d'experts (environ 140) et fit l'objet en 1967 d'une seconde phase (PROBE 2) sensiblement différente. L'innovation majeure consistait en l'établissement d'un réseau (dénommé SOON) faisant apparaître la séquence de développements techniques non encore disponibles, qui devaient logiquement précéder l'événement, objet de la prévision. De plus une liste de tous les produits ou processus réalisables à partir de ces développements technologiques, fut communiquée aux experts. L'imagination de ces derniers fut donc canalisée par l'existence de cette sorte d'arbre de pertinence dont ils durent assurer la notation<sup>7</sup>.

Les questions de PROBE 2 étaient légèrement plus complexes que dans DELPHI. Non seulement la date probable de réalisation (probabilité 1) était demandée, mais également les millésimes affectés des probabilités de réalisation 0,1, 0,5 et 0,9.

On retrouvera cette technique dans la méthode des matrices d'interdépendance.

7. On retrouve là une démarche très comparable à celle de PATTERN ou de la méthode CPE : (a) graphe d'appui ; (b) graphe de notation. (Cf. le chapitre 8 : Les arbres de pertinence.)

## b) La technique SEER de la U.S. Navy<sup>8</sup>

Un DELPHI d'un type un peu spécial a été entrepris en 1968 par la U.S. NAVY. Il avait pour sujet l'informatique. La caractéristique principale de SEER était que chaque question amenait à trois sortes de réponses :

- un indice de « désirabilité »,
- un indice de « faisabilité »,
- des prévisions temporelles correspondant aux probabilités de réalisation 0,1, 0,5 et 0,9.

A la différence de DELPHI, ces estimations se firent directement, en une phase, sans itération.

Une seconde phase, organisée différemment avec d'autres experts, fut consacrée à la vérification et à l'évaluation des résultats de la première phase. Après les avoir complétés, les experts dégagèrent des interrelations entre événements puis établirent une liste d'événements objectifs avec les stratégies alternatives à court, moyen et long terme pour les réaliser. L'ensemble de ces travaux se traduit par un graphe convergent, analogue à un schéma PERT.

Dans l'ensemble, les améliorations qu'on vient d'évoquer brièvement, ne remettent pas en cause la méthode DELPHI. Elles permettent seulement de mieux l'intégrer dans les techniques d'aide à la décision.

---

8. Cf. M. Cetron. — *Technological forecasting. A practical approach* (Gordon and Breach).

## LES METHODES D'IMPACTS CROISES

Les systèmes sociaux sont de plus en plus complexes et diversifiés, les phénomènes sont de plus en plus interdépendants, les événements de plus en plus liés. Par conséquent, la maîtrise du futur passe par une connaissance immédiate de ce que pourrait être l'avenir. De même qu'on peut résumer l'histoire passée par une série d'événements marquants, on peut repérer les futurs possibles par une liste d'événements qui, s'ils se produisent, sont considérés comme importants à un horizon donné : cet ensemble d'événements constitue un référentiel dans lequel il y a autant d'états possibles / de futuribles / que de combinaisons d'événements. La question à laquelle nous nous proposons de répondre est de savoir comment déterminer les événements et, par conséquent, les états les plus probables.

Certaines méthodes, comme Delphi, permettent assez bien de collecter les opinions d'un collège d'expert concernant les probabilités d'apparition de certains événements et d'aboutir à un résultat convergent. Mais cette méthode présente le défaut de ne pas tenir compte des interactions entre événements. A l'inverse, la Méthode des Impacts Croisés (M.I.C.) présente l'avantage de prendre en compte à la fois les opinions exprimées et les interdépendances entre les questions posées, elle offre, par conséquent, une grille de lecture plus cohérente.

### – Bref historique sur les Méthodes d'Impacts Croisés

La Méthode des Impacts Croisés est le terme générique d'une famille de techniques qui tente d'évaluer les changements dans les probabilités d'apparition d'un ensemble d'événements à la suite de l'apparition de l'un d'eux. Cette méthode se présente d'abord sous la forme d'une liste d'événements avec les probabilités individuelles de développement que les experts leur ont attribuées ; l'hypothèse de base de la méthode est que ces probabilités tiennent compte des interactions, mais incomplètement. La prise en compte systématique de l'ensemble de ces interdépendances entre événements permet de passer d'un système de probabilités brutes à un système de probabilités nettes, c'est à dire corrigées.

Plusieurs méthodes ont été proposées. Tout d'abord, l'évaluation des interactions s'est faite avec des coefficients d'impact compris entre 1 10 et - 10 ; le passage des probabilités brutes aux probabilités nettes fait le plus souvent appel à des techniques assez sophistiquées : méthode de Monte Carlo avec itérations successives, etc. A la suite des travaux de GORDON, la méthode a fait l'objet d'autres approches ; on

peut citer NORMAN DALKEY qui s'appuie sur une matrice des probabilités conditionnelles entre tous les couples d'événements pour modifier le système de probabilité initial. Cette approche constitue un progrès par rapport à celle de GORDON puisque les probabilités étant non plus modifiées à partir de coefficients, mais à partir d'autres probabilités, les données sont plus homogènes [11] et [12].

Les contraintes matérielles et financières mises à part, l'utilisation de la M.I.C. telle qu'elle est proposée par GORDON et améliorée par DALKEY reste très peu crédible. En effet, les résultats obtenus (1) dépendent de la formule de passage adoptée pour le calcul des probabilités nettes. Plusieurs formules ont été proposées souvent constituées en un savant mélange entre formes quadratiques, espérances mathématiques et coefficients de pondérations subjectifs... En pratique aucune ne s'impose et sur un même exemple, il y a autant de résultats que de formules testées [13].

Le souci de proposer une formule de passage qui ait un sens a conduit les différents auteurs à faire appel à la théorie de l'information. L'approche est séduisante mais l'obtention des résultats reste complexe et entachée de subjectivité (emploi de coefficients de pondérations individuels et collectifs).

De plus, l'objet de la méthode devrait consister à contrôler la cohérence des estimations relativement aux contraintes classiques sur les probabilités. En pratique, la plupart des méthodes, quel que soit leur degré de complexité, aboutissent à des probabilités nettes incohérentes, avec des résultats du type, par exemple,  $P(i) < [P(i/i) \cdot P(j)]$ , ce qui n'est pas compatible avec la relation  $P(i) = P(i/i) P(j) + P(i/j) P(j)$  qui doit toujours être vérifiée.

Finalement, les différentes M.I.C. mises au point jusqu'ici ne nous paraissent pas satisfaisantes. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire de repenser la question à son point de départ et dans sa totalité.

Tel est l'objet de la méthode SMIC décrite en C.4.2.

Source : Robert U. AYRES - PREVISION TECHNOLOGIQUE,  
PLANIFICATION A LONG TERME.

Editions Hommes et Techniques - 1972

CHAPITRE II

#### 4. Les défauts de la prévision technologique

La prévision est en général accompagnée d'aléas pour la personne désirant être prophète. La plupart de ces aléas, l'incertitude et la non-fiabilité des données, la complexité des interactions « feedback » du « monde réel », la tentation d'une pensée normative ou émotionnelle, l'attraction fatale d'une idéologie ou d'une *idée fixe*, les dangers de faire entrer de force des « faits » déformables et quelque peu souples dans un modèle préconçu, s'appliquent à toutes les formes de prévision. En outre, semble-t-il, il y a des pièges dus aux caractéristiques spéciales de l'invention et de l'innovation en tant que processus sociaux (et peut-être dus aux particularités des gens qui regardent souvent la boule de cristal dans ce domaine). Quelques-uns de ces pièges méritent un examen explicite et un bref commentaire.

##### I. LE MANQUE D'IMAGINATION ET, OU, DE « NERF »

C'est le problème spécifique d'un comité d'éminents experts ; parmi ceux-ci beaucoup préfèrent, instinctivement, paraître trop prudents (surtout par rapport aux autres), même s'ils pensent être conscients de ce piège et essayer honnêtement de le contrecarrer. Un exemple peut illustrer ce point. En 1940 la National Academy of Sciences nomma un comité choisi pour évaluer les qualités de la turbine à gaze [1]. Les membres du comité comprenaient Theodore von Karman, Charles Kettering, Robert Millikan, Max Mason, A. G. Christie et Lionel S. Marks. Leur conclusion raisonnée et prudente, basée sur de nombreuses suppositions conservatrices, était que les turbines à gaz pèsent 13 à 15 livres/cheval-vapeur en comparaison de 1,1 livre/cheval-vapeur pour les moteurs à combustion interne alors en usage. Si le comité avait été optimiste au lieu d'être pessimiste dans le choix de ses suppositions, il serait arrivé à un chiffre de

1. (En français dans le texte.) Par exemple, la prévision marxiste est souvent sans fondement et de façon comique à cause de son insistance doctrinaire sur une vue très étroite et limitée de la nature humaine et de la causalité historique.

0,4 livre/cheval-vapeur (ce qui était le chiffre correct). De fait, une turbine à gaz fonctionna en Angleterre juste un an plus tard.

## II. LA SURCOMPENSATION

Il y a de nombreux cas bien connus de prophètes et d'inventeurs restés ignorés à leur époque et dans leur pays, et plus tard soutenus avec éclat, souvent par d'autres, par exemple Billy Mitchell de l'U.S. Air Force ; Charles de Gaulle, avocat et pionnier du « Blitzkrieg » ; Frank Whittle et son turboréacteur ; Tsiolkovsky, Oberth et Goddard et les fusées, etc. Il en résulte qu'il y a des gens qui tendent à se pencher de nos jours sur le passé et disent : « Aussi fantastiques que nos perspectives puissent être, la vérité sera encore plus incroyable. » Citons Arthur C. Clarke :

« Tout ce qui est techniquement possible sera fait en pratique, quelles que soient les difficultés techniques, si la volonté en est assez grande. Ce n'est pas un argument contre un projet de dire : "l'idée est fantastique". La plupart des choses qui ont eu lieu dans les cinquante dernières années étaient fantastiques et c'est seulement en supposant qu'elles continueront de l'être que nous avons quelque espoir d'anticiper le futur [2]. »

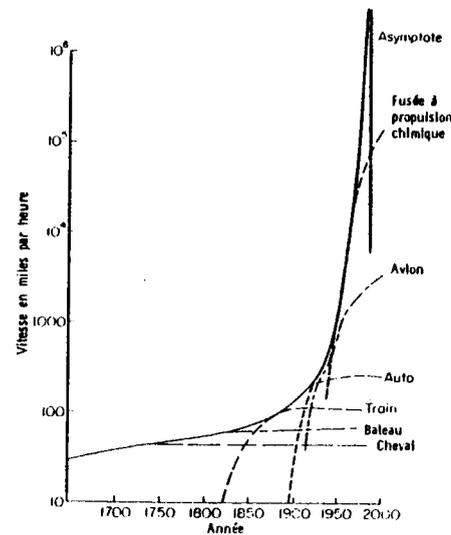


Figure 2.1.

Courbe de vitesse (G. Harry Stine, *Analog : Science-fiction, Science Fact*, may 1961). Le même paramètre est tracé sur les deux graphiques (figures 2.1 et 2.2) mais celui de la figure 2.1 est trompeur car l'échelle est inappropriée.

Clarke, prenant son propre conseil au sérieux, suppose dans un « calendrier du futur » que, vers les années 2050, nous aurons tout à fait acquis le contrôle de la gravité et vers 2100 l'immortalité humaine. Un autre optimiste (soviétique) a écrit [3] : « Il n'y a pas de limites à la pensée créative humaine... De nos jours, le génie humain peut tout faire. »

Plusieurs personnes, vulgarisant la science arriérée, ont utilisé la technique de l'extrapolation de la « courbe enveloppe » pour justifier des prédictions très radicales. Un auteur remarque que les taux d'accroissement d'un certain nombre de variables des performances seront apparemment asymptotiques à l'infini avant l'an 2000 [4]. Ainsi :

a) En utilisant la courbe enveloppe de vitesse avec laquelle se propagent les véhicules, il apparaît que la vitesse de la lumière pourrait être atteinte

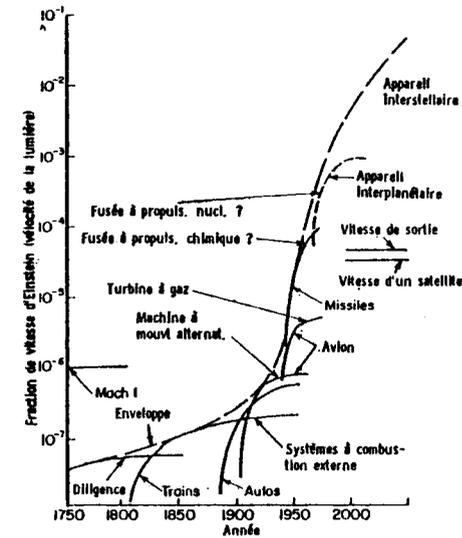


Figure 2.2

Courbe de vitesse (D.G. Samaras, U.S.A.F.)

autour de 1982. Il est intéressant de comparer la figure 2.1 et la figure 2.2 qui représentent une même information, à une échelle différente et qui mènent à une prédiction très différente [5].

b) Des tendances de l'espérance de vie, il conclut que « toute personne née après l'an 2000 vivra indéfiniment, sauf accident ». (Si cette extrapolation est correcte, Clarke est vraiment bien trop conservateur. Cependant, il y a peu ou pas d'indication que l'âge *maximum* que peut atteindre l'être

humain soit en train de s'élever. De fait, il apparaît rester parfaitement constant aux alentours de 115 ans, toutefois plus de personnes, de nos jours, ont une certaine chance d'atteindre cet âge.)

c) Utilisant une courbe semblable à celle de la figure 2.3 [6], il conclut qu'aux alentours de 1981, « un seul homme pourra disposer, sous son

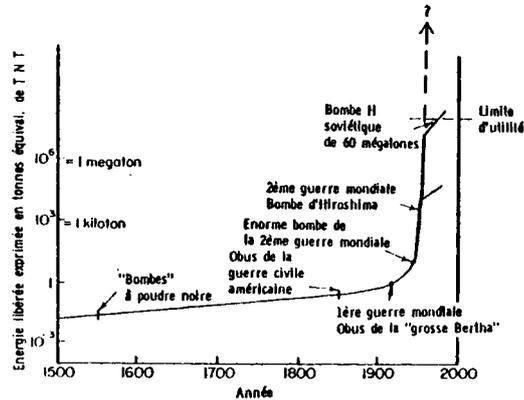


Figure 2.3.  
Evolution de la puissance des explosifs.

contrôle, de la quantité d'énergie équivalente à celle qui est produite par le soleil tout entier » [7].

d) En utilisant une autre direction de courbe (qui n'est pas reproduite), il est suggéré qu'aux alentours de 1970 le nombre de circuits dans un ordinateur pourra être égal au nombre de neurones qu'il y a dans un cerveau humain, c'est-à-dire environ 4 milliards. La signification pratique de cette comparaison n'est pas claire, bien sûr, quoique l'idée soit indéniablement provocante.

### III. L'INSUCCÈS À ANTICIPER DES DÉVELOPPEMENTS CONVERGENTS ET DES CHANGEMENTS DANS LES SYSTÈMES CONCURRENTS

Pour citer un exemple bien connu, l'énergie nucléaire a avancé plus lentement qu'on ne le pensait à l'origine dans les années 40, et à un plus grand coût, principalement à cause de l'amélioration simultanée (et dans

une large mesure, inattendue) du rendement des systèmes de production d'énergie utilisant des combustibles fossiles comme on le voit sur la figure 2.4 [8].

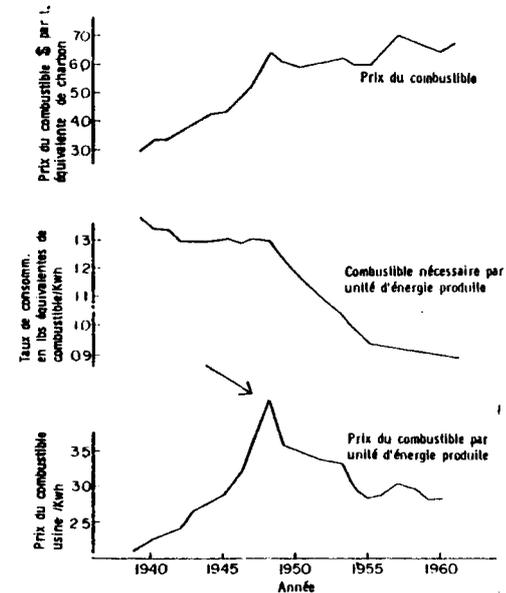


Figure 2.4.

Courbes de consommation de combustible des centrales thermiques classiques.

Notez le renversement inattendu de la direction ascendante des prix du combustible. Cela empêche l'énergie classique d'être remplacée par l'énergie nucléaire à la fin des années cinquante.

De la même façon, les technologies du titane et du beryllium sont restées loin derrière les prévisions optimistes de la dernière décade, en grande partie parce que l'énorme marché des structures, ayant un rapport élevé résistance/poids, pour des bombardiers comme les B.70, qui aurait justifié de lourds coûts de développement dans la métallurgie et dans les techniques de fabrication, a disparu soudainement. Les programmes de recherche et de développement relatifs aux combustibles à haute énergie (par exemple les boranes) ainsi que les appareils aériens à propulsion nucléaire comme le S.L.A.M. connurent le même sort.

Le problème des « cache-vues » n'existe pas seulement dans la prévision technologique avancée. La figure 2.5 résume plusieurs prévisions du passé sur les moyens collectifs de transport dans Chicago [9]. Dans chaque cas

la prévision était une simple extrapolation d'une direction ascendante, qui ne tenait aucun compte de la concurrence croissante de l'automobile, de la diminution des heures de travail, et de l'impact de la semaine des 5 jours.

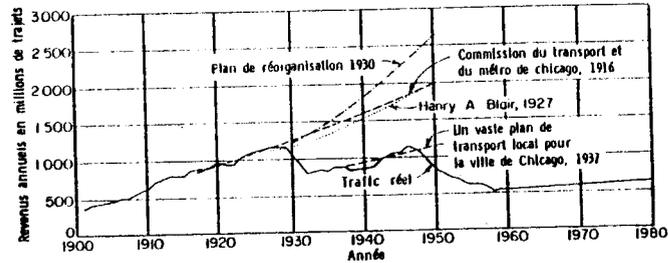


Figure 2.5.

Utilisation réelle des moyens de transport de 1901 à 1960 et utilisation estimée en 1980 comparées aux différentes prévisions faites (à Chicago).

Un exemple intéressant de prévision qui n'a pas négligé de considérer des développements convergents est dû à S.C. Gilfillan, qui en 1913, prévoit que la taille des futurs paquebots transatlantiques ne continuerait pas de croître, suivant une simple extrapolation (fig. 2.6), mais plutôt atteindrait un sommet autour de 1925, suivie d'une brusque baisse, puis d'une remontée plus lente [10].

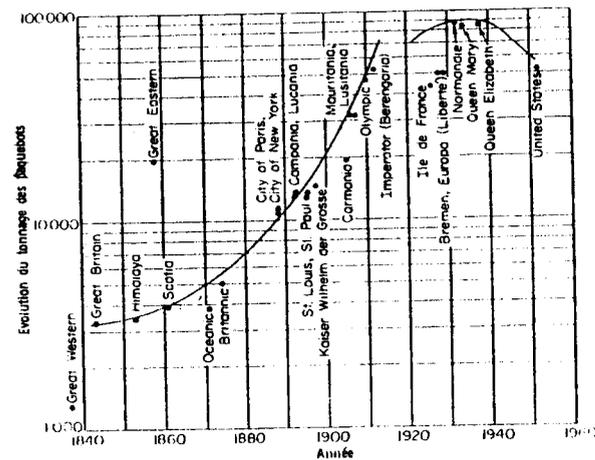


Figure 2.6.

Évaluation du tonnage des paquebots.

Gilfillan pensa avec raison que les transports aériens concurrenceraient finalement les paquebots.

La surestimation persistante du taux auquel les innovations technologiques peuvent être mises en pratique (à cause de l'inertie, de la prudence, des longs délais d'engagement et du désir de ne pas compromettre les investissements existants), est aussi endémique parmi les prospecteurs qu'une sous-estimation persistante du taux du futur progrès scientifique. Il en résulte que le progrès dans la science dépasse souvent nos attentes alors que la technologie traîne couramment loin derrière elle. La plupart des gens se souviennent d'une époque, peu après la seconde guerre mondiale, où l'on s'attendait à ce que les hélicoptères remplacent prochainement la voiture familiale. On peut citer aussi les fours à radar pour une cuisine virtuellement instantanée, des réfrigérateurs thermoélectriques à usage domestique, des carrosseries d'automobile en plastique et/ou en fibre de verre, des métaux légers ne se corrodant pas tels que le magnésium, le beryllium et le titane pour remplacer l'acier dans la construction, et ainsi de suite.

#### IV. LA CONCENTRATION SUR DES CONFIGURATIONS SPÉCIFIQUES

Au lieu de l'extrapolation de valeurs agglomérées (macrovariables). Par exemple la prévision de l'ingénieur aéronautique N. J. Norway sur le potentiel futur de l'aviation commerciale a été fautive pour la raison suivante : il prédisait (en 1929) qu'aux alentours de 1980, la vitesse de croisière serait de 110 à 130 miles/heure, le rayon d'action de 600 miles, et la charge utile de 4 tonnes en plus des 20 tonnes de poids brut pour les appareils commerciaux [11]. Ce piège est un cauchemar spécifique des ingénieurs. Herman Kahn a remarqué que le *Scientific Advisory Board of the Air Force* (Comité scientifique de l'Armée de l'air américaine) et que les physiciens à Los Alamos étaient relativement médiocres lorsqu'il s'agissait de prédire l'avenir de la technologie des armes nucléaires, sans doute parce qu'ils avaient trop d'« érudition » pour considérer le problème globalement. Ceux qui font des prévisions à la Rand Corporation, d'un autre côté, faisaient des prévisions plus exactes en extrapolant « naïvement » les courbes [12].

#### V. LES CALCULS FAUX

Le cas amusant de Simon Newcomb et son dénigrement inopportun de l'avion est bien connu et a déjà été cité [13]. Un autre exemple fameux est la prévision par l'astronome canadien, J. W. Campbell, qu'une fusée pour la lune aurait un poids de 10 tonnes pour porter 1 livre/cheval-vapeur de poids utile [14] (il se trompait de six ordres de grandeur, ce qui était dû à des prévisions non réalistes sur les carburants et à l'erreur de ne pas tenir

2. Ils trouvent cependant maintenant des applications commerciales dans les avions.

compte des étages multiples). Une autre opinion fautive intéressante était celle de J. B. S. Haldane [15], qui a été répandue par Dennis Gabor dans son livre bien connu *Inventing the Future* en liaison avec le problème des moyens futurs pour nourrir la population mondiale [16].

La prédiction de Haldane était que de nouvelles espèces d'algues fixant l'azote que l'on cultiverait, multiplieraient immensément la production d'aliments d'origine marine. Cela ne tient pas compte du fait (connu des océanographes biologiques contemporains) que le montant de protoplasme dans la mer est limité par la disponibilité en phosphore et en fer (comme en hydrogène) dans les eaux de surface ; c'est une contrainte qui ne changera vraisemblablement pas puisqu'il n'y a pas de phosphore dans l'atmosphère qui puisse être « fixé » [17].

## VI. LES INCERTITUDES INTRINSÈQUES ET LES ACCIDENTS HISTORIQUES

En plus des pièges précédents, on doit reconnaître que le progrès technologique dépend souvent, jusqu'à un certain point, d'éléments fondamentalement imprévisibles, tels que la chance ou la coïncidence, les connaissances individuelles et les traits de personnalité. Il y a certainement, dans l'histoire, de nombreux exemples de situations où un petit événement accidentel mène à une grande différence dans le résultat. Ainsi, « faute d'un clou, la chaussure était perdue », etc. Il y a une quantité considérable de littérature spéculative basée sur des « si » ; par exemple si Richard III n'était pas tombé de cheval à Bosworth Field ? Si le pistolet de John Wilkes Booth n'avait pas fait feu ? L'histoire de la technologie, aussi, a sa part d'exemples évidents (ou pas si évidents). Par exemple, supposez que la découverte de la diffraction des faisceaux d'électrons soit arrivée avant l'explication de Planck sur le spectre de radiation du corps noir et la recherche conséquente d'Einstein, et la découverte de l'effet photoélectrique.

Si la nature ondulatoire des particules avait ainsi été trouvée avant la nature corpusculaire des ondes électromagnétiques (plutôt que le contraire), la mécanique quantique aurait pu être inventée presque immédiatement par la simple extension de la théorie électromagnétique de James Clerk Maxwell<sup>3</sup>. L'agonie intellectuelle qui affligeait la physique théorique dans les années 20, résultant d'une apparente contradiction dans la matière, aurait pu être évitée si la contradiction n'avait pas été remarquée jusqu'à ce que la solution ait été déjà trouvée.

La ligne centrale de développement de la physique moderne aurait pu être fort différente, donc, si deux simples expériences, dont ni l'une ni l'autre ne dépendait de l'autre, étaient arrivées dans un ordre différent.

3. En fait, l'équation de Schrödinger, dépendante du temps, est une extension évidente de l'équation ondulatoire de Maxwell. D'un autre côté, la théorie de la relativité spéciale aurait eu à donner les équations à un électron de Dirac dès le début et aurait eu à faire face à d'apparentes contradictions, dont quelques-unes ne sont pas encore complètement résolues [18].

Il y a de nombreux autres « si... » qui pourraient être cités pour prouver, si nécessaire, que la chance, la coïncidence et les « facteurs humains » font de la prophétie une affaire très hasardeuse. Et si le Dr Alexandre Fleming, ou l'un de ses collègues, avait eu les penchants d'« entrepreneur » d'un Dr Squibb et avait ouvert lui-même la voie au développement commercial de la pénicilline, au lieu d'attendre qu'elle soit découverte par la Fondation Rockefeller ? Et si Hermann Ganswindt, qui « volait » avec un hélicoptère de sa propre création en 1901, avait été un meilleur ingénieur et un martyr moins fanatique ?

Et si Kammerlingh-Onnes, qui liquéfia le premier l'hélium en 1908 et découvrit la superconductivité en 1911, s'était donné la peine de pousser ses expériences un tout petit peu plus loin et avait noté l'effet Meissner, et le phénomène de superfluidité (qui ne furent pas trouvés en fait avant 1933 et respectivement 1938) ? Ou si Sir James Dewar en entendant parler du « succès » de Kammerlingh-Onnes en 1908, n'avait pas été découragé et n'avait pas cessé de poursuivre ses propres recherches parallèles ? Finalement si une chaudière flash monotubulaire efficace avait été développée avant l'auto, munie de démarreur, de Charles Kestering, au lieu de quelques années plus tard ? Quand une voiture à vapeur à démarrage rapide fut construite (la Doble, produite en petit nombre de 1922 à 1930), le moteur à combustion interne produit en série avait acquis des positions trop solidement retranchées pour être sensible à un tel défi.

## RÉFÉRENCES

1. Technical Bulletin No. 2, U.S. Navy, Bureau of Ships, janvier 1941.
2. A. C. Clarke, *Profiles of the Future: An Enquiry into the Limit of the Possible*, Victor Gollancz, Ltd., Londres 1962.
3. N. Talensky, *International Affairs*, p. 16, octobre 1964.
4. G. H. Stine, "Science and Fiction Is Too Conservative", *Analogue: Science-Fiction, Science Fact*, mai 1961.
5. D. G. Samaras, "Nuclear Space Propulsion: A Historic Necessity" *Nuclear Energy*, p. 352, septembre 1962.
6. Par l'auteur.
7. G. H. Stine, *op. cit.*
8. J. F. Hogerton et al., *Atomic Energy Deskbook*, Reinhold Book Corporation, New York, 1963.
9. Chicago Area Transportation Study, Final Report, vol. III, avril 1962.
10. S. C. Gilfillan, "The Size of Future Liners" *Independent*, vol. 74, pp. 541-543, 1913.
11. Clarke, *op. cit.*
12. Herman Kahn, communication personnelle.
13. Voir Clarke, *op. cit.*
14. J. W. Campbell, "Rocket Flight to the Moon", *Philosophical Magazine*, janvier 1941.
15. J. B. S. Haldane, *Daedalus, or Science and the Future*, Kegan Paul, Londres, 1924.
16. Dennis Gabor, *Inventing the Future*, Alfred A. Knopf, Inc., New York, 1964.
17. Par exemple K. Brandt, "Beiträge zur Kenntnis des Chemischen Zusammensetzung des Plankton"; *Meeresunters. Abt. Kiel*, vol. 3, pp. 43-90, 1898. Ou A. C. Redfield, "Biological Control of Chemical Factors in the Environment", *American Scientist*, septembre 1958.
18. Nandor Balasz, communication personnelle.
19. See Willy Ley, *Rockets, Missiles and Space Travel*, The Viking Press, Inc., New York, 1951.

4. L'hélicoptère de Ganswindt n'avait pas de moteur parce qu'il n'en existait pas alors d'assez puissant et volait seulement verticalement sur une perche, actionnée par un couple de forces fourni par un poids tombant dans un puits. Ce modèle n'avait aucune stabilité et se serait écrasé en vol libre [19]. Ces défauts par contre auraient pu être corrigés en quelques années.

C - METHODE DES SCENARIOS

—

## 1. LES SCENARIOS : BREF HISTORIQUE ET DEFINITION

Extrait de "Crise de la prévision, essor  
de la prospective"

### CHAPITRE II

## Les scénarios : une vision multiple en avenir incertain

L'avenir est multiple, plusieurs futurs sont possibles (les futuribles) et le chemin qui mène à tel ou tel avenir n'est pas forcément unique. La description d'un futurible et du cheminement correspondant constitue un scénario<sup>1</sup>.

En France, c'est l'équipe de l'OTAM qui — à l'occasion d'une étude de prospective géographique réalisée pour le compte de la DATAR — a mis en œuvre pour la première fois une méthode des scénarios<sup>2</sup>. Depuis, cette méthode de prospective géographique a été adaptée à la prospective industrielle, notamment à l'occasion d'une étude de prospective « chimie-agriculture » réalisée par C. Kintz et G. Ribeill.

Dans le même temps, les chercheurs américains Gordon, Elmer, Dalkey, etc., développent plusieurs méthodes relativement formalisées de construction de scénarios, toutes fondées sur des entretiens d'experts : DELPHI, matrices d'impacts croisés, etc.<sup>3</sup>.

1. Le mot scénario a été introduit en prospective par H. KAHN, il y a quelques années, à l'occasion de son livre, *L'an 2000*, mais il s'agit surtout à cette époque d'un genre littéraire où l'imagination est mise au service d'une prédiction plus ou moins rose ou apocalyptique que bien des auteurs classiques ont essayé avant lui, Anatole FRANCE (*L'île des Pingouins*), George ORWELL (1984), Jules VERNE, etc.

2. Cf. [39] et [42].

3. Tous ces développements sont publiés régulièrement dans les revues *Futures* (Grande-Bretagne) et *Technological forecasting and social change* (Etats-Unis).

Les contacts entre ces deux approches, que nous baptiserons pour simplifier « littéraire » et « formalisée », ressemblent tout à fait à un dialogue de sourds. Les premiers rejettent avec force les modèles mathématiques et dénoncent leur sens idéologique caché — tout cela d'ailleurs le plus souvent au nom d'une autre idéologie. Les seconds, trouvant sans intérêt et verbeux ce qui n'est pas marqué du sceau de l'ordinateur.

En ce qui nous concerne, nous avons eu la chance d'être impliqués dans les deux approches. En effet, nous avons d'une part créé de nouvelles méthodes d'analyse structurale — MICMAC — et d'impacts croisés — SMIC<sup>1</sup> — et, d'autre part, nous avons pratiqué la méthode des scénarios (littéraire) à l'occasion d'une étude prospective du transport aérien à l'horizon 1990 réalisée sous la direction de C. Kintz pour le compte de l'Aéroport de Paris. A l'occasion de cette étude, le besoin s'est fait sentir de marier les deux approches, chacune devant servir de « garde-fou » à l'autre et la nourrir de ses résultats.

C'est précisément cette synthèse des méthodes et des approches<sup>2</sup> que nous nous proposons d'exposer.

Néanmoins, avant de présenter les approches « littéraire » et « formalisée », ainsi qu'une synthèse, il nous semble capital de préciser les concepts qui vont être utilisés.

### 2.1. Définition des concepts

Nous définirons successivement les concepts :

- d'invariant ;
- de tendance ;
- de germe ;
- d'acteur ;

1. A l'occasion d'une étude prospective de l'énergie nucléaire en France réalisée au CEA et à l'EDF (cf. [62] et [64]).

2. Naturellement cette synthèse est vivante, la pratique vient sans cesse la remettre en cause, la déformer, l'enrichir.

- de stratégie ;
- de conflits ;
- d'événements ;
- d'aléatoire, probabilités subjectives ;
- de scénarios de situation et d'évolution ;
- de scénarios tendanciel et contrasté.

*Invariant* : phénomène supposé permanent jusqu'à l'horizon étudié. Exemple : phénomènes climatiques.

*Tendance lourde* : mouvement affectant un phénomène de telle manière que l'on puisse prévoir son évolution dans le temps. Exemple : urbanisation.

*Germes* : facteurs de changements, à peine perceptibles aujourd'hui mais qui constitueront les tendances lourdes de demain.

En fait, une variable en germe n'est rien d'autre que ce que Pierre Massé qualifiait de fait porteur d'avenir : « Le signe infime par ses dimensions présentes mais immense par ses conséquences virtuelles. »

*Acteurs* : c'est-à-dire ceux qui jouent un rôle important dans le système par l'intermédiaire des variables qui caractérisent leurs projets et qu'ils contrôlent plus ou moins. Exemple : les pays consommateurs, les pays producteurs, les compagnies multinationales, etc., sont des acteurs du jeu de l'énergie.

*Stratégie* : ensemble de tactiques, c'est-à-dire de décisions conditionnelles déterminant pour chaque acteur les actes à accomplir dans chaque éventualité possible, relativement à son projet.

*Conflits* (le contraire d'une alliance objective) : un conflit peut résulter de la confrontation de stratégies antagonistes entre acteurs et se présenter sous la forme de l'éclatement d'une tension entre deux tendances (encombrement et besoin d'espace, temps contraint et temps libre...) ; c'est l'issue de ces conflits qui détermine l'évolution des rap-

ports de force entre acteurs ou renforce les poids de telle ou telle tendance.

*Événement* : la notion d'événement est définie par E. Borel (cf. [40]) de la manière suivante : « Un événement est un être abstrait dont la seule caractéristique est de se produire ou de ne pas se produire. » On peut considérer un événement comme une variable ne pouvant prendre que deux valeurs, en général « 1 » si l'événement se produit, « 0 » si l'événement ne se produit pas ; un tel événement sera appelé un événement isolé.

*Aléatoire, probabilités subjectives* : nous nous référons aux travaux déjà anciens mais toujours actuels du P<sup>r</sup> Ville. On dit qu'un phénomène est aléatoire<sup>1</sup> lorsqu'il peut prendre un certain nombre de valeurs à chacune desquelles est attachée une probabilité subjective ; nous « pouvons considérer une évaluation de probabilité d'un événement isolé comme un jugement subjectif, en ce sens que l'on classe l'événement considéré dans une catégorie d'événements qui, subjectivement, ont un même degré de vraisemblance. C'est donc l'expert qui, en portant ses jugements, établit ses catégories » (cf. [59]), p. 139). Finalement, une probabilité subjective est un pari<sup>2</sup> qui est presque toujours perdu si l'on considère un événement qui en fait se produira (probabilité un) ou non (probabilité zéro), mais qui doit être considéré comme gagné si, parmi tous les événements auxquels on a attribué  $x$  chances sur 100 de se produire, il y en a effectivement  $x$  sur 100 qui se sont réalisés à l'horizon considéré<sup>3</sup>.

1. « Sera considéré comme aléatoire tout événement sur la réalisation passée ou future duquel on ne possède que des renseignements incomplets ne permettant pas d'affirmer que cet événement aura lieu ou a eu lieu. Attribuer une probabilité à un tel événement c'est traduire à l'aide d'un nombre la totalité ou une partie des renseignements que l'on a sur lui » (cf. [59], p. 6).

2. « Un jugement de probabilité doit pouvoir se traduire par un pari et le succès global d'un certain nombre de paris est le seul critère de la valeur du jugement » (E. BOREL, cf. [6], p. 105).

3. Quand une personne dit « j'estime à trois quarts la probabilité de tel événement » (isolé), nous nous accordons avec le P<sup>r</sup> Ville pour comprendre

*Scénario* : « Ensemble formé par la description d'une situation future et du cheminement des événements qui permettent de passer de la situation origine à la situation future » (cf. [39]). Il faudrait ajouter que cet ensemble d'événements doit présenter une certaine cohérence.

En fait cette définition, très large nous semble-t-il, recouvre deux catégories bien différentes de scénarios ; d'une part, les scénarios de situation, c'est-à-dire la description des images futures et, d'autre part, les scénarios d'évolution, c'est-à-dire les différents cheminements qui y mènent.

En d'autres termes, un scénario d'évolution est un film continu de l'évolution du système ; un scénario de situation est « un arrêt sur l'image ».

Par ailleurs, la distinction entre scénario tendanciel et contrasté, pour classique qu'elle soit, n'est cependant pas la même pour tout le monde.

*Le scénario tendanciel* est celui qui correspond au cheminement le plus probable, à tous les instants où le choix s'impose, compte tenu des tendances inscrites dans une situation origine (cf. [39], p. 122).

Ainsi, le scénario tendanciel, contrairement à ce que son nom laisserait supposer, ne correspond pas nécessairement à une extrapolation pure et simple des tendances. C'est le scénario le plus probable. Certes, dans un passé récent, alors que le monde changeait moins rapidement qu'aujourd'hui, le tendanciel, c'est-à-dire le plus probable, était effectivement la poursuite des tendances. Pour l'avenir, le plus probable semble plutôt devoir correspondre à une rupture profonde des tendances actuelles.

L'extrapolation des tendances peut conduire à une situation très contrastée, comme l'a montré l'étude réalisée pour

ce jugement ainsi : « Si vous notez tous les événements auxquels j'aurai attribué une probabilité égale à trois quarts et que vous observiez pour un grand nombre de cas la fréquence de ceux où l'événement s'est effectivement produit, je prédis que cette fréquence sera voisine de trois quarts » (cf. [59], p. 17).

la DATAR publiée dans *Metra* sous le titre « Scénario tendanciel français » et par la Documentation française sous le titre *Scénario de l'inacceptable* (cf. [42] et [51]) ; dans ce cas le scénario tendanciel est celui de l'extrapolation des tendances et non pas le plus probable<sup>1</sup>.

Depuis, compte tenu du retentissement de cette étude, une certaine confusion du langage s'est installée ; nous proposons, quant à nous, d'assimiler le scénario tendanciel au plus probable, puisque c'est la notion la plus couramment admise<sup>2</sup>.

Le scénario contrasté est « l'exploration d'un thème volontairement extrême, détermination *a priori* d'une situation future » (cf. [39]).

Alors que le scénario tendanciel correspond à une démarche exploratoire d'un scénario d'évolution vers un scénario de situation, à l'inverse, le scénario contrasté correspond à une démarche normative ; on se fixe un scénario de situation future en général très contrastée par rapport au présent (la France côtière, la France de 100 millions d'habitants) et l'on s'interroge à rebours sur le cheminement, c'est-à-dire le scénario d'évolution, qui peut y conduire.

La pratique a fait naître une autre définition du scénario contrasté répondant, comme le scénario tendanciel, à une attitude exploratoire parcourant une évolution pour aboutir à une situation. Dans ce cas, de la même manière que le tendanciel est défini comme le cheminement le plus probable, le contrasté est défini comme un cheminement très peu probable, et c'est précisément sa nature, en général très contrastée, qui le rend peu probable. C'est la définition que nous retiendrons dorénavant.

1. « On appellerait « scénario tendanciel » l'ensemble formé par le cheminement jusqu'à l'horizon 2000 et l'image de la France à cet horizon, construits dans l'hypothèse où les tendances et les actions actuelles se poursuivraient » (souligné dans le texte) (cf. [51], p. 570).

2. Néanmoins, dans des études plus récentes, il nous a semblé préférable de parler de « scénario de référence ». Ce dernier étant compris comme une situation intermédiaire entre les deux contrastés.

Remarquons au passage que cela ne signifie pas que nous abandonnons le normatif pour l'exploratoire ; à nos yeux, cette distinction n'a qu'un intérêt opératoire. En effet, une fois l'évolution et la situation décrites, dans un sens ou dans l'autre, le cheminement correspondant est à la fois exploratoire et normatif.

Enfin, il convient de rappeler la distinction que nous avons déjà évoquée entre les scénarios possibles, c'est-à-dire tout ce que l'on peut imaginer, les scénarios réalisables, c'est-à-dire tout ce qui est possible compte tenu des contraintes.

C'est parmi ces scénarios, dont la probabilité est non nulle, que l'on trouve les contrastés (peu probables) et le cône de développement où se trouvent les scénarios les plus probables, et notamment le scénario tendanciel.

Les scénarios souhaitables, quant à eux, se trouvent quelque part dans le possible et ils ne sont pas tous nécessairement réalisables.

## 2.2. L'approche « littéraire »<sup>1</sup>

La méthode des scénarios a été élaborée pour appréhender l'évolution à long terme des systèmes complexes que forment, avec leur environnement, une entreprise, un secteur, un pays.

Une étude conduite selon la méthode des scénarios comporte deux étapes principales : la construction de la base et l'élaboration de scénarios.

Pour exposer cette méthode nous nous appuyerons essentiellement sur une étude réalisée récemment, qui visait à définir des stratégies de développement à long terme (quinze ans) pour une entreprise du secteur chimique. Prévoir les opportunités ou les menaces que pouvait représenter, pour cette entreprise, la perspective d'une agriculture

1. Rappelons que, par approche littéraire, nous entendons une méthode qui fait uniquement appel à la réflexion et au raisonnement, à l'exclusion de tout instrument mathématique ou informatique.

**S O M M A I R E**

	<u>Pages</u>
<u>Introduction</u> : Prévission et avenir incertain	1
<u>LA DEMARCHE ADOPTEE</u>	4
1 - <u>Construction de la base</u>	7
1.1 - Délimitation du système	7
1.2 - Détermination des variables essentielles	10
1.3 - Analyse explicative	12
1.4 - Analyse de la stratégie des acteurs	13
2 - <u>Elaboration des scénarios</u>	16
2.1 - Le choix des images finales	18
2.2 - L'élaboration des scénarios	23
3 - <u>Aide à la décision</u>	26
<u>ANNEXES</u>	30
1 - Méthode MICMAC : choix des variables essentielles	31
2 - Méthode SMIC : Choix des images finales	38
3 - Applications spécifiques	44
1 - L'analyse structurelle, outil de dialogue	44
2 - Clubs SMIC de conjoncture	45

Introduction : Prévission et avenir incertain

Qu'il s'agisse d'arrêter sa stratégie de développement (recherche, production, emploi, investissements, exportations, prises de participation), ou de réagir aux changements conjoncturels et structurels, l'entreprise doit tenir compte de l'environnement futur dans lequel elle devra s'insérer ou se maintenir. Or l'évolution du monde s'accélère, le changement s'étend : plus les changements politiques, économiques et technologiques seront rapides, moins il faudra tarder pour anticiper leurs conséquences, favorables ou non, et y adapter les orientations prises antérieurement.

- La plupart des méthodes de prévision s'appuient sur l'extrapolation de tendances, par un raisonnement "toutes choses égales par ailleurs", ce qui apparaît tout à fait illusoire dans un environnement qui change de plus en plus, et où les phénomènes à prendre en compte sont sans cesse plus complexes et interdépendants. L'incertitude face à l'avenir est alors traduite sous la forme d'écartés autour d'une tendance (fourchette haute et fourchette basse).

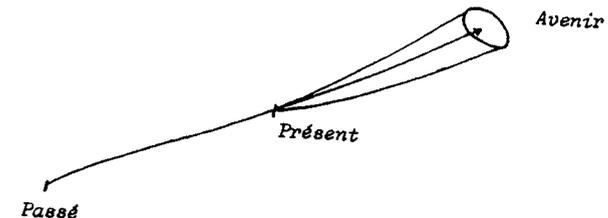


Figure 1 : L'avenir est unique et certain

Brochure méthodologique "Prospective et aide à la décision" rédigée début 1979 par l'équipe de SEMA-PROSPECTIVE sur la base "Crise de la prévision, essor de la prospective" (PUF 1977) et d'une vingtaine d'études prospectives réalisées dans les années précédentes.

Ainsi, les modèles économétriques s'avèrent impuissants à prévoir les changements structurels (les crises) et leurs utilisateurs attribuent ces erreurs de prévision aux fameuses variables "cachées".

- La démarche prospective, par contre, admet qu'aujourd'hui l'avenir est multiple, et que c'est de la confrontation des différents acteurs en présence et de leurs projets que naîtra tel ou tel futur. (Cf. figure 2). Ainsi, la construction de l'avenir s'explique autant par l'action humaine que par le jeu des déterminismes.

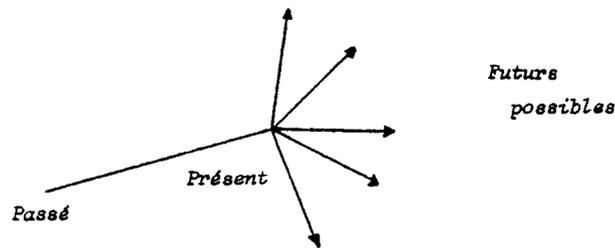


Figure 2 : L'avenir est multiple et indéterminé

La méthode des scénarios s'efforce de concevoir ces futurs possibles, et d'explorer les cheminements qui y conduisent. Mais les scénarios littéraires, s'ils représentent un exercice d'imagination stimulant pour l'esprit, souffrent nécessairement d'un manque de crédibilité, puisque rien ne permet de vérifier la validité et la plausibilité des hypothèses avancées.

- C'est pourquoi la SEMA a développé une approche intégrée de prospective prenant en compte l'ensemble des variables évidentes ou cachées ( en effet, l'emploi de l'analyse structurelle permet de révéler les variables cachées et de mettre en évidence le rôle qu'elles jouent ) et classant les scénarios en fonction de leur probabilité par l'emploi d'une méthode d'impacts croisés.

Les objectifs d'une telle méthode sont :

- 1 - Déceler quels sont les points à étudier en priorité (variables-clé), en mettant en relation, par une analyse explicative globale la plus exhaustive possible, les variables concernant le phénomène étudié avec les variables décrivant son environnement.
- 2 - Déterminer, notamment à partir des variables-clé, les acteurs fondamentaux, leurs stratégies, les moyens dont ils disposent pour faire aboutir leurs projets.
- 3 - Décrire, sous la forme de scénarios<sup>(\*)</sup>, l'évolution du phénomène étudié, compte tenu des évolutions les plus probables des variables-clé, et à partir de jeux d'hypothèses sur le comportement des acteurs.

On peut alors utiliser les techniques de la prévision classique dans le cadre défini par un scénario, pour traduire ce scénario en termes quantitatifs.

On peut également, compte tenu des différents scénarios, évaluer les conséquences des orientations déjà prises, et, à l'aide de méthodes multicritères, en déduire les actions stratégiques à engager en priorité pour tirer parti des changements attendus.

\* \* \*

On trouvera dans cette note :

- une présentation générale de la démarche prospective SEMA, illustrée par une application concrète,
- des annexes, où sont développés les aspects techniques des outils employés (méthode MICMAC, méthode SMIC).

\* Ces scénarios développent :

- d'une part, la situation la plus probable du phénomène étudié et de son environnement à l'horizon fixé, ainsi que le cheminement qui y conduit (scénario de référence).
- d'autre part, les situations extrêmes à l'intérieur desquelles ce phénomène se situera (scénarios contrastés, pessimiste et optimiste).

## LA DEMARCHE ADOPTEE

L'exposé de la méthode des scénarios développée par la SEMA s'appuie sur une étude multiclients, destinée à éclairer les industriels concernés par l'off-shore pétrolier (exploration et exploitation des gisements sous-marins) sur l'environnement futur dans lequel leurs activités devront s'insérer à l'horizon 1990, en leur fournissant notamment des prévisions de besoins en équipements (navires, plates formes, tuyaux, etc ...).

Pour bâtir de telles prévisions, il faut étudier le système constitué par l'industrie off-shore et son environnement. En particulier, il convient en premier lieu de connaître les prises de positions des différents gouvernements d'états producteurs et d'états consommateurs, liées les unes aux autres et sous-tendues par des projets de nature politique : volonté d'hégémonie pour les Etats-Unis, développement économique pour les pays du Tiers-Monde etc . . En effet, ces projets souvent divergents ont amené par le passé des crises entraînant des bouleversements plus ou moins profonds. L'intérêt porté à l'industrie off-shore en est l'une des conséquences, et la décision d'investir dans ce secteur doit être prise après une analyse prospective approfondie des différentes stratégies des acteurs et des différents scénarios énergétiques qui pourront en résulter.

L'utilisation dans cette étude de la méthode des scénarios est résumée par le graphe de la page suivante, où les différentes phases du déroulement logique (construction de la base et élaboration de scénarios) et du déroulement méthodologique (analyse structurelle et impacts croisés) s'articulent en une seule séquence.

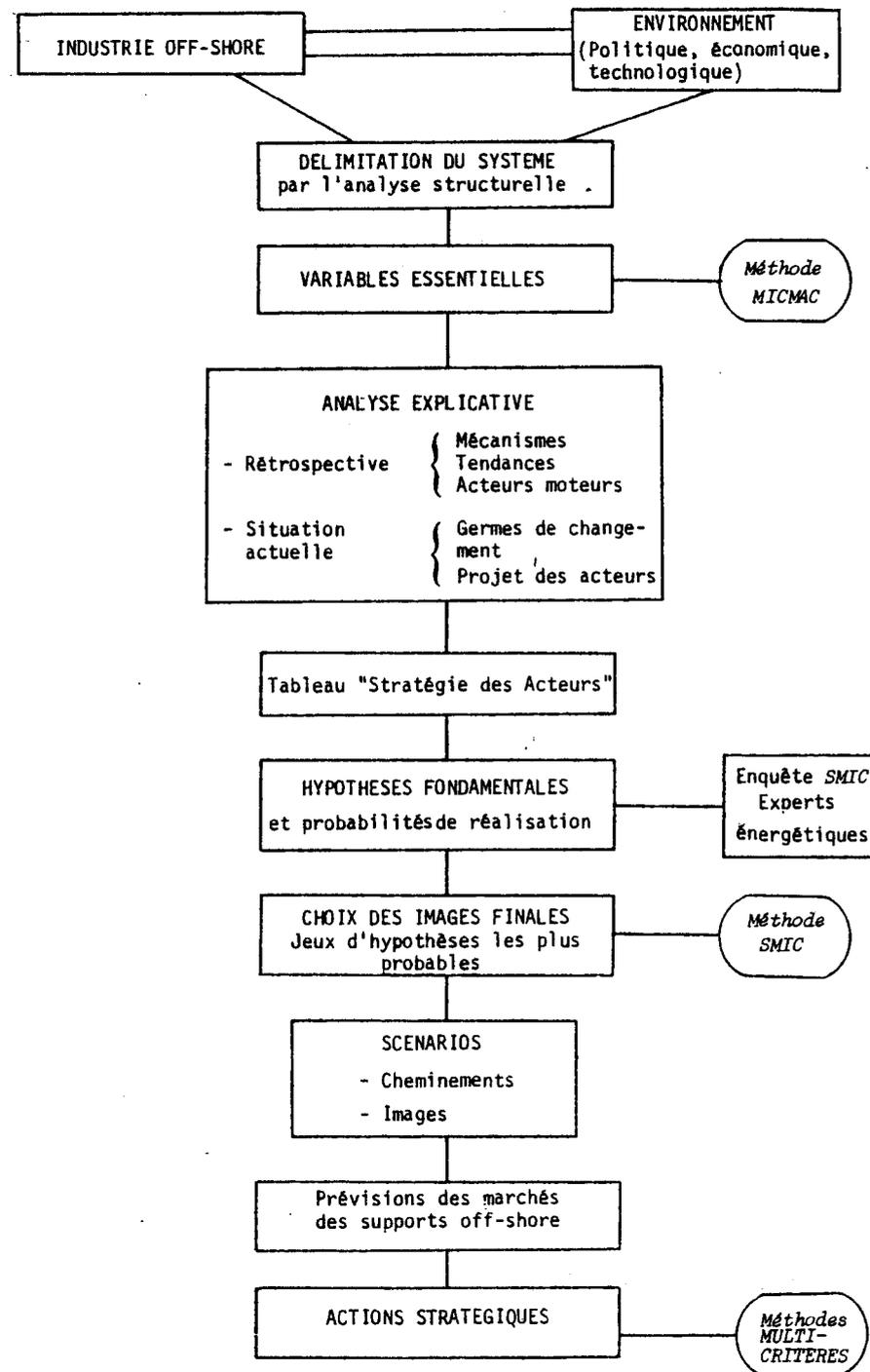
La méthodologie (cf. schéma d'ensemble) comporte trois grandes phases :

BASE

SCENARIOS

STRATEGIES

## Schéma d'ensemble



- La construction de la base, où le problème posé est situé dans un environnement plus large, et où l'on étudie l'état actuel du système ainsi constitué, afin d'en comprendre les mécanismes et d'en déceler les perspectives d'évolution.
- L'élaboration de scénarios, où, à partir des résultats de la phase précédente, on obtient des probabilités de réalisation pour les différentes images finales possibles, ce qui permet de mettre en avant parmi les scénarios les plus probables un scénario de référence, que l'on complète par l'étude de scénarios contrastés (scénario optimiste et scénario pessimiste).
- Le choix des actions stratégiques qu'il faut développer, afin que l'entreprise puisse atteindre ses objectifs, compte tenu des possibilités d'évolution du système dans lequel elle se trouve impliquée.

## 2 - CONSTRUCTION DE LA BASE

La première phase vise à construire la "base" c'est-à-dire une "image" de l'état actuel du système à partir de laquelle l'étude prospective pourra se développer.

Cette image doit être :

- . détaillée et approfondie sur les plans quantitatif et qualitatif,
- . globale (économique, technologique, politique, sociologique,...),
- . dynamique, mettant en évidence les tendances passées et les faits porteurs d'avenir,
- . explicative du système.

La construction de la base comprend quatre étapes :

- la délimitation du système constitué par l'off-shore et son environnement (politique, économique, technologique, etc...),
- la détermination des variables essentielles,
- l'analyse explicative du rôle joué par ces variables,
- l'analyse de la stratégie des acteurs.

### 1.1 - Délimitation du système

La délimitation du système étudié constitue une phase très importante. En effet, il convient de ne pas exclure à priori du champ de l'étude les éléments techniques, économiques et politiques qui sont actuellement sans influence sur l'industrie off-shore, mais qui pourraient à long terme infléchir de façon accentuée l'évolution du système dans lequel celle-ci est impliquée. A l'inverse on doit éviter de tomber dans l'écueil qui consisterait à faire pour chaque étude une prospective de l'ensemble de la société.

Délimiter le système consiste à dresser une liste la plus complète possible des variables à prendre en compte, quantifiables ou non, afin d'avoir une vision globale, aussi exhaustive que possible, du système que constituent l'industrie off-shore et son environnement. On parvient ainsi à une définition assez précise de ce système. Pour aboutir à ce résultat on fait appel à un certain nombre de méthodes comme par exemple : entretiens avec des spécialistes de l'industrie et de l'économie pétrolière, brainstorming, constitutions de check-lists, etc ...

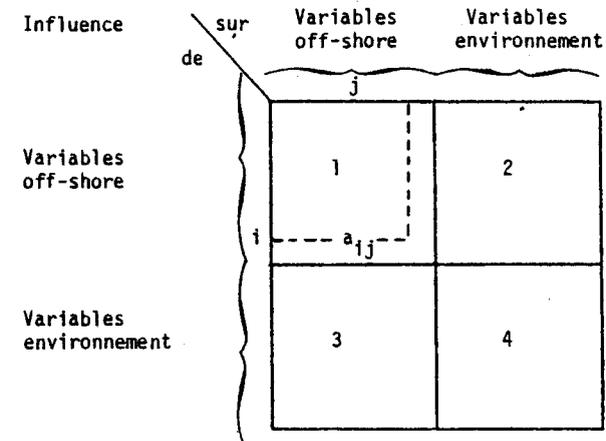
On a ainsi caractérisé le système off-shore par des variables concernant directement l'off-shore (production pétrolière et réserves des différentes zones off-shore, innovation technologique, disponibilité en personnel qualifié, attribution des permis, etc ...), mais aussi l'environnement (variables pétrolières, énergétiques, économiques, politiques, géographiques, etc ...) et par des relations entre ces différentes variables.

En effet, dans une vision systémique du monde, une variable n'existe que par ses relations ; c'est d'ailleurs la présence intuitive de certaines relations qui nous a fait penser à telle ou telle variable au cours de l'établissement de la liste précédente.

On construit un tableau carré à double entrée (la matrice d'analyse structurelle), où à chaque variable correspond une ligne et une colonne. Ce tableau variables/variables est renseigné dans chaque case par un "0" ou un "1", indiquant l'absence ou l'existence d'une relation directe entre les deux variables correspondantes.

A cette occasion, il convient de noter que l'analyse structurelle représente aussi une procédure d'interrogation systématique ; sans le support de la matrice, parmi les  $N \times N$  questions que le remplissage de la matrice amène à se poser, il y en a beaucoup qui ne seraient pas nécessairement venues à l'esprit.

Finalement, la matrice d'analyse structurelle se présente sous la forme suivante :



Le bloc n° 1 : relations entre les variables off-shore

Le bloc n° 2 : influence des variables sur l'environnement

Le bloc n° 3 : influence de l'environnement sur le sous-système off-shore

Le bloc n° 4 : relations entre les variables de l'environnement

Avec  $a_{ij} = 1$  : si une variation de la variable i entraîne une variation de la variable j.

$a_{ij} = 0$  : dans le cas contraire.

L'analyse structurelle permet donc d'une part de délimiter et de représenter le système étudié, mais aussi d'ordonner et de classer les idées.

Elle aide à créer un langage commun, favorisant le dialogue et l'échange et la réflexion au sein d'une équipe de travail.

## 1.2 - Détermination des variables essentielles

Toutes les variables retenues (de l'ordre d'une centaine) sont en relation directe ou indirecte avec le système constitué par l'off-shore et son environnement. Cependant, il faut réduire la complexité d'un tel système, car il n'est pas possible de faire porter l'effort de prospective sur chacune d'entre elles.

Il convient alors de mettre en évidence, au travers du tissu relationnel que décrit la matrice d'analyse structurelle, quelles sont les variables essentielles, c'est-à-dire quelles sont celles qui auront la plus grande valeur explicative pour l'évolution du système.

Un simple examen de cette matrice permet de voir quelles sont les variables qui ont la plus grande action directe, mais ne suffit pas à décèler les variables "cachées" qui ont parfois une grande influence sur le problème étudié.

En effet, outre les relations directes, il existe aussi des relations indirectes entre variables par des chaînes d'influence et des boucles de réaction (feedbacks). Une matrice courante comportant plusieurs dizaines de variables peut renfermer plusieurs millions d'interactions sous forme de chaînes et de boucles. Il est impossible à l'esprit humain de se représenter et d'interpréter un tel réseau de relations.

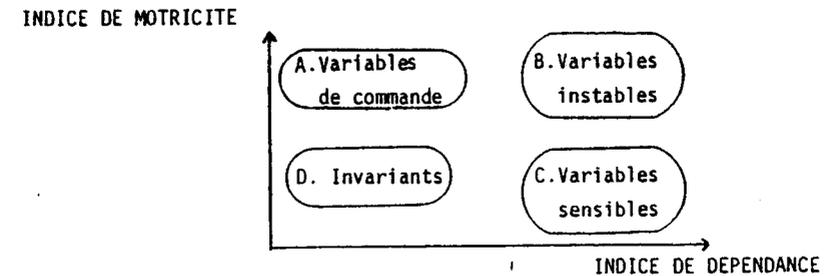
Une exploitation plus poussée de la matrice d'analyse structurelle, par la méthode MICMAC\*, développée par la SEMA, permet de tenir compte des relations indirectes et des effets de feedbacks entre variables, et fournit deux types de résultats :

- d'une part, un classement des variables off-shore en fonction de leur sensibilité à l'environnement (variables dépendantes) ;

\* MICMAC : Matrice d'Impacts Croisés - Multiplication Appliquée à un Classement, développée en annexe 1.

- d'autre part, un classement des variables d'environnement en fonction de leur impact sur les variables off-shore (variables motrices).

Ces deux classements peuvent être visualisés dans le plan motricité - dépendance. On repère ainsi les groupes de variables qui peuvent jouer un rôle essentiel pour l'évolution à long terme du système :



- Les variables se trouvant dans la zone A sont des variables très motrices. C'est donc sur ces variables de commande qu'il faudra éventuellement agir pour rétablir certains équilibres.
- Les variables se trouvant dans la zone B sont à la fois très motrices et très dépendantes. Toute action sur ces variables perturbe le système et provoque une réaction en retour (effet boomerang) sur ces variables qui sont donc instables.
- Les variables se trouvant dans la zone C sont des variables très sensibles. C'est donc sur elles qu'il faut examiner les effets de l'évolution du système en longue période.
- Les variables se trouvant dans la zone D sont peu motrices et peu dépendantes : ce sont souvent les invariants du système.

La mise en avant de certaines variables confirme des intuitions premières, et peut amener, pour d'autres variables, des questions que l'on ne se serait pas posées autrement.

Ainsi, pour l'étude off-shore, la hiérarchisation a fait apparaître que les variables techniques étaient certes très motrices, mais également très dépendantes de l'extérieur (positionnement dans le secteur B).

En particulier, l'industrie off-shore est soumise à l'évolution des conditions politiques environnantes. Il lui faut donc être capable de répondre aux sollicitations extérieures, plutôt que de vouloir susciter son expansion par des développements techniques ce n'est pas l'apparition sur le marché d'une flotille de plates formes qui sera à l'origine d'une extension des activités off-shore, contrairement à ce qu'ont pu penser les armateurs norvégiens.

### 1.3 - Analyse explicative du rôle joué par ces variables

L'analyse explicative porte sur les groupes de variables essentielles tels qu'ils ont été mis en évidence par le traitement MICMAC ; elle comprend une rétrospective et une analyse de la situation actuelle.

- L'étude rétrospective évite de privilégier exagérément la situation actuelle dont l'étude peut être biaisée par des facteurs conjoncturels.

Elle a pour objet de dégager les mécanismes et les acteurs déterminants de l'évolution passée du système constitué par l'off-shore et son environnement.

Elle vise également à mettre en évidence les invariants du système et ses tendances lourdes.

- L'analyse de la situation actuelle permet de repérer les germes de changements dans l'évolution des variables essentielles ainsi que les projets des acteurs qui sont à l'origine de cette évolution. A ce titre, cette analyse ne prend pas en considération les seules informations quantifiées ou quantifiables, mais également toutes les données qualitatives : données économiques, facteurs sociologiques, facteurs politiques....

### 1.4 - Analyse de la stratégie des acteurs

La confrontation des projets des acteurs et leurs moyens d'action réciproques est explicative de la dynamique du système. Il est donc nécessaire de l'analyser pour formuler les hypothèses fondamentales qui permettront la construction des scénarios.

L'ensemble des informations disponibles sur la stratégie des acteurs est regroupée dans le "Tableau de stratégie des acteurs".

Ce tableau se présente sous la forme d'un tableau carré des acteurs/acteurs\* (voir ci-après) tel que :

- chaque case de la diagonale contient la finalité et les objectifs de l'acteur concerné,
- les autres cases contiennent les moyens d'actions dont dispose chaque acteur sur chacun des autres pour faire aboutir son projet.

#### EXEMPLE :

Case 1 : Finalité des compagnies pétrolières multinationales :  
Contrôle du secteur énergétique

- . maintien d'un taux de rentabilité du capital,
- . diversification géo-politique,
- . diversification énergétique,
- . leadership technologique.

-----

\* Chaque famille d'acteurs regroupe des éléments présentant une certaine homogénéité de comportement vis-à-vis du problème étudié et des autres acteurs. Ainsi, le Groupe "Etats Producteurs Consommateurs" regroupe les Etats-Unis, le Canada, l'URSS, la Chine, le Royaume-Uni et la Norvège. Ces regroupements n'excluent pas la possibilité de conflits internes ou de scission.

Case 2: Actions possibles des Compagnies Pétrolières Multinationales sur les Etats producteurs consommateurs :

- . pénétration du personnel politique,
- . manipulation de l'opinion publique,
- . organisation de pénuries artificielles,
- . cessation d'activités,
- . mise en valeur des ressources (off-shore).

Case 3 : Action des pays producteurs consommateurs sur les Compagnies Pétrolières Multinationales :

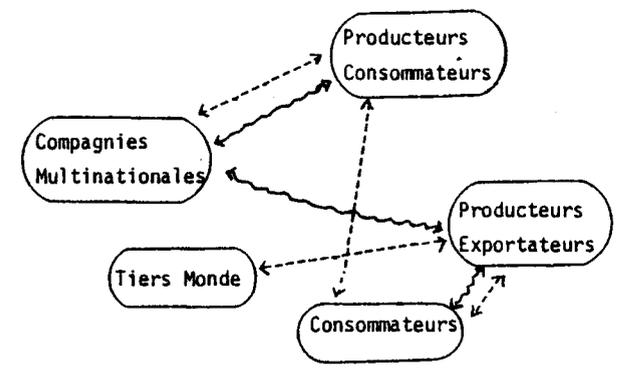
- . taxation sur les profits,
- . législations minières,
- . attribution de concessions,
- . nationalisations (partielles ou totales)
- . contrôle et orientations des activités (off-shore).

etc ...

SUR DE	Compagnies pétrolières multinationales	Etats Producteurs Consommateurs	Etats Producteurs Exportateurs	Etats Consommateurs	Tiers-Monde
Compagnies pétrolières multinationales	FINALITE Objectifs - - (1)	(2)			
Etats Producteurs Consommateurs	(3)	FINALITE Objectifs - -			
Etats Producteurs Exportateurs			FINALITE Objectifs - -		
Etats Consommateurs				FINALITE Objectifs - -	
Tiers-Monde					FINALITE Objectifs - -

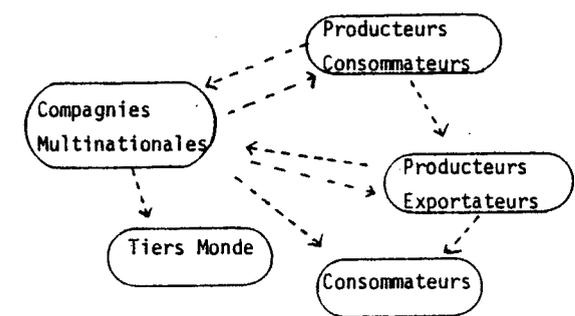
L'utilisation de ce tableau conduit à mettre en évidence les conflits possibles et les mécanismes d'évolution pouvant jouer.

La confrontation des finalités et des objectifs des différents acteurs (cases diagonales du tableau de stratégie des acteurs) permet de repérer les possibilités d'alliance et de conflit, que l'on peut visualiser au moyen d'un graphe :



←---→ Intérêts protagonistes (possibilité d'alliance)  
 ↔ Intérêts antagonistes (possibilité conflit)

D'autre part, la confrontation des moyens d'action des acteurs (cases non diagonales du tableau de stratégie des acteurs) décrit les rapports de force entre acteurs, que l'on peut également visualiser par un graphe :



A ----> B : l'acteur A dispose d'un moyen d'action important sur l'acteur B

La comparaison de ces deux graphes permet de repérer les conflits auxquels sont associés des moyens d'action, ainsi que les alliances les plus utiles aux différents acteurs. Ainsi, les compagnies multinationales sont impliquées dans deux conflits importants, et leurs adversaires disposent d'importants moyens d'action : on doit donc envisager la possibilité d'une disparition de cet acteur. De même, on remarque que les états consommateurs sont assez démunis en moyens d'action sur les pays exportateurs d'où la nécessité pour eux de rechercher une alliance avec les pays producteurs-consommateurs.

### 3 - ELABORATION DES SCENARIOS

Compte tenu des facteurs moteurs, des tendances, des stratégies des acteurs et des germes de changement dégagés dans la phase précédente, on met en oeuvre la méthode des scénarios\* en faisant jouer les mécanismes d'évolution et en confrontant les stratégies des acteurs (alliances et conflits possibles).

Ainsi, le jeu des rapports de force entre acteurs permet la construction de scénarios. Mais, comme certains domaines déterminants pour l'avenir sont incertains, notamment l'issue des conflits possibles on doit faire des hypothèses à leur propos.

De même, l'évolution des tendances décelées n'est pas toujours certaine, et là aussi des hypothèses sont parfois nécessaires.

Ces hypothèses fondamentales permettent d'esquisser les grandes lignes de l'image finale du scénario que l'on construira ensuite.

-----  
\* Un scénario est l'ensemble formé par la description d'une situation future (ou "image finale") et du cheminement cohérent qui part de la situation actuelle pour y aboutir.

Les hypothèses retenues pour l'étude off-shore sont :

- H<sub>1</sub> - Maintien du leadership américain sur la scène mondiale
- H<sub>2</sub> - Solidarité des pays de l'OPEP
- H<sub>3</sub> - Maintien de la puissance des Majors (grandes compagnies pétrolières)
- H<sub>4</sub> - Augmentation considérable des réserves d'hydrocarbures dans la zone non contrôlée par l'OPEP avant 1980.
- H<sub>5</sub> - Fixation d'un prix-plancher du pétrole de l'ordre de 7-8 \$ par baril. (garantissant la rentabilité des investissements énergétiques).
- H<sub>6</sub> - Forte croissance des activités off-shore.

En général, on formule aussi quelques dizaines d'hypothèses complémentaires liées aux hypothèses principales.

## 2.1 - Le choix des images finales

Si on a caractérisé les possibilités d'évolution du problème étudié par la réalisation ou non de  $n$  hypothèses fondamentales, on obtient  $2^n$  images finales possibles.\*

La méthode SMIC\*\* permet, à partir de probabilités affectées aux hypothèses, d'obtenir une hiérarchie des  $2^n$  images finales possibles, classées par probabilités décroissantes, ce qui permet de choisir l'image correspondant au scénario le plus probable, et les images finales des scénarios contrastés.

Compte tenu de l'incertitude qui pèse sur les hypothèses, cette méthode s'appuie sur la consultation d'experts.

Elle consiste :

- a) A recueillir auprès d'experts les probabilités que l'on peut affecter à la réalisation ou non des hypothèses : probabilités simples de réalisation de chaque hypothèse et aussi probabilités conditionnelles, car les hypothèses peuvent être liées entre elles.

Les experts consultés par questionnaire (plusieurs dizaines) sont choisis, en fonction du domaine à explorer, dans différents secteurs (gouvernements, banques, compagnies pétrolières, organisations internationales, universités, etc ...).

- b) A calculer les probabilités affectées par chaque expert aux différents scénarios possibles, et à les hiérarchiser.

\* Si  $n = 2$ , on a 2 hypothèses  $H_1$  et  $H_2$ , et 4 images finales possibles :

$H_1$  et  $H_2$  réalisées

$H_1$  réalisée,  $H_2$  non réalisée et vice versa

$H_1$  et  $H_2$  non réalisées

\*\* SMIC : Système et Matrice d'Impacts Croisés, développée en annexe 2

Cf. Revue METRA, volume XIII, n° 4, 1974 : "Prospective des systèmes et construction de scénarios à partir d'une nouvelle méthode d'impacts croisés : SMIC 74".

- c) A effectuer une analyse de sensibilité : en comparant les histogrammes des réponses aux probabilités simples ou conditionnelles, on observe les variations de probabilités. Ceci permet de déduire quelles sont les hypothèses "influentes", et quelles sont les hypothèses "dominées".

Les résultats obtenus à partir des différents experts et des jeux d'hypothèses sont alors confrontés, et l'on dégage :

- d'une part, l'image finale du scénario de référence, qui est l'image la plus souvent citée parmi celles les mieux "placées" par les experts, et qui correspond au jeu d'hypothèses globalement le plus probable.

- d'autre part, deux images "contrastées", choisies parmi les images souvent citées par les experts et ayant une probabilité moyenne de réalisation significative. Les scénarios correspondants décrivent une évolution de l'environnement notablement différente de celle du scénario de référence.

Pour l'étude off-shore, les 6 hypothèses fondamentales permettent  $2^6 = 64$  combinaisons des 6 hypothèses réalisées ou non sur la période 1975-1990, soit 64 images finales. En fait, pour chaque expert, une quinzaine d'images seulement a une probabilité de réalisation non nulle.

Chaque image est représentée schématiquement par 6 variables binaires (une par hypothèse), chaque variable prenant la valeur 0 ou la valeur 1, selon que l'hypothèse correspondante est réalisée ou non. On procède de la même manière avec les hypothèses complémentaires.

On examine les images les plus probables pour la majorité des experts et on les classe suivant la moyenne de leur probabilité afin de dégager les axes d'évolution les plus probables du contexte pétrolier mondial à partir de la situation actuelle que l'on peut écrire (111000), correspondant à :

- H<sub>1</sub> (Leadership américain) réalisée
- H<sub>2</sub> (Solidarité de l'OPEP) réalisée
- H<sub>3</sub> (Puissance des Majors) réalisée
- H<sub>4</sub> (Croissance des réserves) non réalisée
- H<sub>5</sub> (Garantie des investissements) non réalisée
- H<sub>6</sub> (Croissance forte de l'off-shore) non réalisée.

Chaque axe d'évolution correspond en fait à quelques images finales voisines, dont certaines ont été retenues comme images intermédiaires, dans la mesure où les experts qui les font apparaître ont une vision plus lente de l'évolution mondiale.

On obtient alors trois axes d'évolution :

- l'axe des scénarios Nord-Sud. Ces scénarios sont fondés sur la coexistence entre le bloc Nord, où les Etats-Unis jouent un rôle prépondérant, et le bloc Sud, où les pays-membres de l'OPEP ont réussi à créer une certaine uniformité de points de vue sur les grands problèmes internationaux. Le dialogue Nord-Sud s'établit sur des bases où les questions pétrolières continuent à jouer un grand rôle, et le pétrole off-shore tient une place économique et stratégique de plus en plus importante. Ces scénarios sont fondés sur une image de la situation 1990 assez peu différente de la situation actuelle sur le plan politique, puisque l'on retrouve les trois principaux partenaires (Etats-Unis, Majors et OPEP) en présence.

C'est parmi eux que l'on choisit le scénario de référence (111111), qui a obtenu la probabilité moyenne la plus élevée.

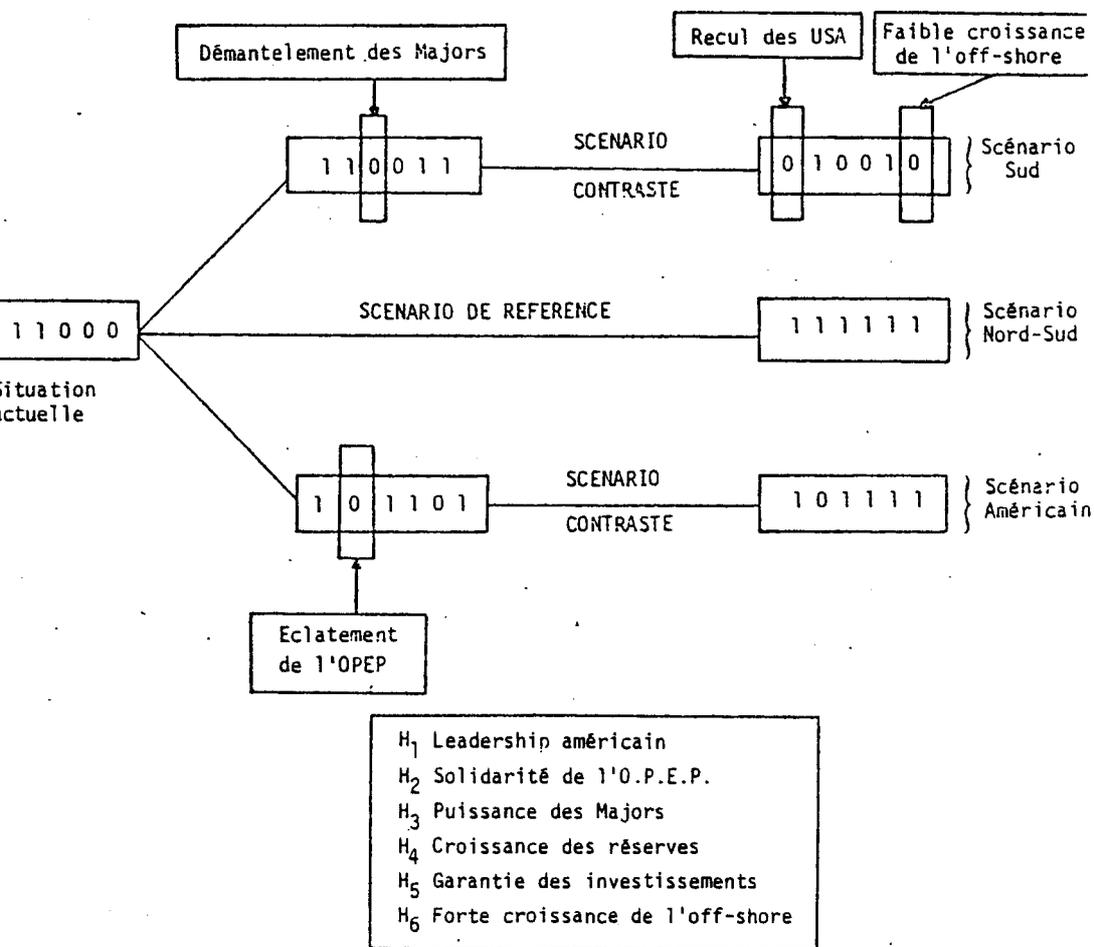
- l'axe des scénarios américains. Il est caractérisé par le maintien de la puissance américaine, sur les plans politiques, économiques et pétroliers (maintien de la puissance des Majors). Il passe par l'éclatement de l'OPEP, ce qui entraîne une évolution très importante du contexte géo-politique par rapport à la situation actuelle.

Des activités off-shore très importantes continuent à avoir lieu sur la période 1975-1990, car une croissance économique, entraînant une forte augmentation des besoins en énergie, est assez probable pour ces scénarios.

- l'axe des scénarios Sud. Il amène à une situation très contrastée par rapport au second axe, et caractérisée par la domination du bloc Sud et le recul des Etats-Unis, pouvant entraîner un déclin relatif de l'off-shore, dû soit à une crise socio-économique grave chez les pays industrialisés, et/ou à un recours aux autres formes d'énergie, soit à une collaboration Europe - Tiers-Monde avec une exploitation massive des ressources pétrolières du Moyen-Orient. Il aboutit à deux images contrastées du point de vue des activités off-shore.

Compte tenu des probabilités affectées par les experts, et des résultats de la méthode SMIC, on a choisi l'image (111111) comme image finale du scénario de référence, et les images (101111) et (010010) pour les scénarios contrastés.

Le schéma ci-dessous illustre les cheminements et les images finales retenues pour les trois scénarios que l'on a choisi de développer :



## 2.2 - L'élaboration des scénarios

A ce stade, les scénarios sont encore à l'état embryonnaire, puisqu'ils se limitent chacun à des jeux d'hypothèses réalisés ou non.

Le questionnaire envoyé aux experts, qui a permis de probabiliser les jeux d'hypothèses fondamentales, contenait aussi des questions complémentaires destinées à préciser l'impact de la réalisation ou de la non réalisation des hypothèses fondamentales sur différentes parties du système.

On peut alors, à partir des jeux d'hypothèses fondamentales et des réponses aux questions complémentaires, utiliser les relations décrites dans le tableau de stratégie des acteurs et la matrice d'analyse structurelle pour construire des scénarios détaillés du système à l'horizon choisi.

Il s'agit ensuite de décrire l'évolution conduisant de la situation actuelle aux images finales retenues pour le scénario de référence et pour les scénarios contrastés.

L'élaboration d'un scénario repose le plus souvent sur le découpage de la période d'étude en sous-périodes successives avec des images intermédiaires\*. Naturellement, le nombre de ces sous-périodes dépend des cycles propres au système étudié.

Afin d'assurer la cohérence des cheminements entre les différentes images (situation actuelle, images intermédiaire et finale), on est amené à compléter au cours du raisonnement les jeux d'hypothèses fondamentales. Ces hypothèses complémentaires résultent soit des conclusions auxquelles on arrive progressivement (en utilisant les informations recueillies dans la base, et notamment le tableau de stratégie des acteurs), soit sont induites par les hypothèses fondamentales.

\* Analyse diachronique et synchronique.

La méthode des scénarios consiste donc, en faisant jouer les mécanismes d'évolution compatibles avec les jeux d'hypothèses retenues, à décrire de façon cohérente le cheminement entre la situation actuelle et l'horizon choisi, en suivant l'évolution des principales variables du phénomène que l'analyse structurelle avait dégagées. On complète le scénario par une description détaillée de l'image finale (et des images intermédiaires si nécessaire).

Pour l'étude off-shore, 1980 est une étape importante, aussi bien en ce qui concerne les projets des acteurs (par exemples, le projet de l'OPEP prévoit un maintien, en monnaie constante, du prix du pétrole jusqu'à cette date, et une forte augmentation ensuite) que pour des motifs spécifiques (temps de réponse des campagnes de prospections pétrolières, carnets de commandes des constructeurs d'équipements, etc...).

Il paraît alors utile de distinguer deux sous-périodes : 1975-1980 d'une part, 1981-1990 d'autre part, et d'arrêter aux dates 1980 et 1990 une image de la situation mondiale et du contexte off-shore qui en résulte.

Les scénarios comprennent cinq parties :

- la période 1975-1980,
- l'image 1980,
- la période 1981-1990,
- l'image 1990,
- les prévisions off-shore 1975-1980-1990.

Chaque période est étudiée dans son contexte politique, économique, énergétique, pétrolier et off-shore.

On est alors en mesure d'établir, zone par zone, des prévisions concernant les besoins en matériels de forage d'exploration et en plates-formes de production, et ce pour chaque scénario. En effet, un modèle de prévision ne vaut que par ses hypothèses, et un scénario fournit précisément un cadre cohérent, permettant d'étayer la prévision.

Les scénarios fournissent également un cadre pour analyser les conditions de l'évolution de l'industrie off-shore : modification des relations entre industriels et compagnies pétrolières, entre compagnies pétrolières et Etats, financement, restructuration, etc...

#### 4 - AIDE A LA DECISION

Les résultats des phases précédentes se présentent sous la forme de trois scénarios d'évolution du contexte off-shore pétrolier mondial. Cette phase exploratoire est à compléter par une phase normative au cours de laquelle sont étudiées les conséquences de ces scénarios pour les industriels concernés par les activités off-shore.

L'étape suivante consiste à définir une stratégie de développement, c'est-à-dire l'élaboration prévisionnelle des moyens à mettre en oeuvre, des actions à engager pour atteindre les objectifs que l'entreprise se sera fixés.

Une stratégie se construit à partir d'un ensemble d'actions telles que :

- leurs conséquences à court, moyen et long terme n'aillent pas à l'encontre des objectifs visés mais bien au contraire concourent à les atteindre ;
- elles soient cohérentes entre elles ;
- à tout instant, la batterie d'actions à entreprendre ou à poursuivre soit pertinente vis-à-vis de l'évolution de l'environnement.

Ce dernier point est fondamental. En effet, s'il est relativement aisé de définir une stratégie qui aujourd'hui semble bien adaptée à la situation actuelle, on peut sans doute être amené à l'infléchir pour tenir compte des modifications du contexte externe et même interne. Il se peut que ces modifications soient légères et que le changement de cap s'effectue moyennant quelques réglages de voiles. (actions conjoncturelles). Mais il se peut aussi que ces modifications obligent à remettre en cause les décisions prises jusqu'alors, et que l'on soit contraint de faire table rase moyennant une nouvelle batterie d'actions, (actions structurelles) pour s'adapter efficacement.

Ces actions doivent viser :

- à oeuvrer, si cela est possible, pour favoriser la réalisation effective des scénarios les plus favorables aux objectifs de l'entreprise,
- à limiter les conséquences néfastes d'une évolution proche du scénario pessimiste,
- à faciliter l'insertion de l'activité future de l'entreprise dans un environnement en constante évolution.

La multiplicité des actions possibles pose le problème du choix de celles qui sont les plus judicieuses, compte tenu des objectifs visés par l'entreprise et des contraintes qu'elle subit.

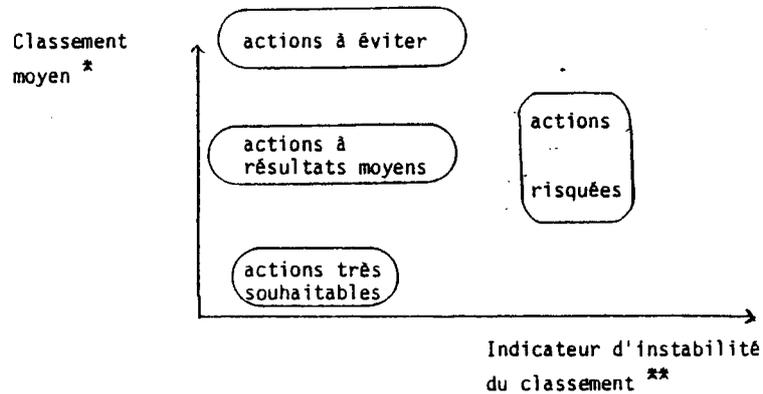
La SEMA a développé des méthodes de choix en avenir incertain en présence de critères multiples\*.

Ces méthodes permettent :

- d'évaluer les conséquences de chacune des actions possibles, dans les différents contextes décrits par les scénarios,
- de juger chaque action selon les critères que l'entreprise doit prendre en considération (critères financiers, techniques, stratégiques, commerciaux, etc...),
- de mettre en avant le groupe d'actions à entreprendre en priorité, compte tenu des probabilités d'apparition des différents scénarios.

\* Cf. Brochure "Méthodes multicritères" disponible à SEMA-PROSPECTIVE.

Certaines actions sont bonnes dans toutes les hypothèses de scénarios, d'autres ne sont bonnes que dans certaines hypothèses et comportent donc un risque qu'il convient d'évaluer, ce que l'on peut représenter ainsi :



Le risque encouru est ainsi explicitement pris en compte dans les choix de stratégie par les méthodes multicritères.

Ainsi, la méthode des scénarios SEMA-PROSPECTIVE :

- fournit par l'analyse structurelle une vision globale du phénomène étudié et de son environnement ;
- appréhende par la méthode MICMAC, la dynamique du système ;

\* L'indicateur de classement moyen d'une action peut par exemple être la moyenne des classements des actions dans les différentes hypothèses de scénarios, pondérés par les probabilités des scénarios.

\*\* Par exemple : écart type, écart entre le meilleur et le plus mauvais classement.

- donne une vision multiple d'un avenir de toutes façons incertain : la méthode des scénarios complétée par la méthode SMIC aide à cerner ces avènements possibles ;
- enfin, aide à la décision en avenir incertain ; elle permet de choisir, en mettant le maximum d'atouts de son côté, la stratégie qui, au milieu des contraintes de toutes sortes et des orientations déjà prises, sera à même de réaliser le projet de développement choisi par les responsables concernés.

### 5.1. Détermination des variables clés : Méthode MICMAC

La méthode MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés - Multiplication appliquée à un classement) a pour objectif de dégager les variables explicatives "essentiels", à partir d'un tableau d'analyse structurelle.

Un tel tableau traduit qualitativement l'existence ou la non existence de relations entre les variables caractérisant le phénomène étudié.

#### 5 . LES METHODES MICMAC ET SMIC

Les variables sont en général divisées en deux groupes : celui des variables internes au domaine considéré, et celui des variables externes décrivant son environnement. Le tableau se présente alors comme suit :

		Influence de sur	
		Variables internes	Variables externes
Variables internes	j	1	2
	i	3	4

Detailed description of the diagram: A 2x2 matrix with 'Variables internes' on the vertical axis and 'Variables externes' on the horizontal axis. The top-left cell is labeled '1', top-right '2', bottom-left '3', and bottom-right '4'. A vertical dashed line labeled 'j' is between columns 1 and 2. A horizontal dashed line labeled 'i' is between rows 1 and 2. The intersection of these lines is labeled 'a<sub>ij</sub>'. The text 'Influence de sur' is written above the matrix, and 'de' is written to the left of the matrix.

Le bloc n° 1 : relations entre les variables internes

Le bloc n° 2 : influence des variables internes sur l'environnement

Le bloc n° 3 : influence de l'environnement sur le sous-système interne

Le bloc n° 4 : relations entre les variables externes

Avec  $a_{ij} = 1$  : si la variable  $i$  exerce une influence sur la variable  $j$   
 $= 0$  : dans le cas contraire.

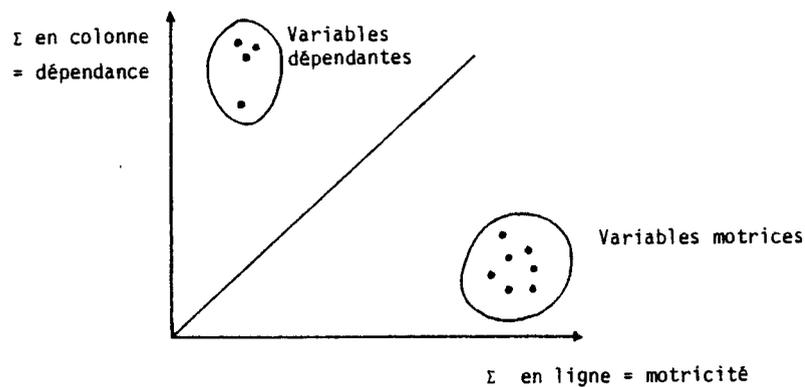
## I - CLASSEMENT DIRECT

On obtient une première série d'informations en analysant tout d'abord les influences directes : la somme de la  $i^{\text{ème}}$  ligne représente le nombre de fois où la variable  $i$  a une action sur le système. Ce nombre constitue un indicateur de motricité de la variable  $i$ .

De même, la somme de la  $j^{\text{ème}}$  colonne représente le nombre de fois où  $j$  subit l'influence des autres variables, et constitue un indicateur de dépendance de la variable  $j$ .

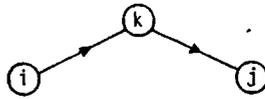
On obtient ainsi pour chaque variable un indicateur de motricité et un indicateur de dépendance, permettant de classer les variables selon ces deux critères.

La structure par blocs des variables aide à affiner l'analyse. Ainsi, les sommes des différentes lignes du bloc 3 nous donnent les motricités des variables externes sur le sous-système interne : on en déduit quels sont les éléments de l'environnement qui ont apparemment des effets prépondérants sur le sous-système interne. De même, les sommes en colonne du bloc 3 font apparaître la dépendance des variables du sous-système interne vis-à-vis de l'extérieur.



## 2 - CLASSEMENT MICMAC

Si la variable  $i$  influence directement la variable  $k$  et si  $k$  influence directement la variable  $j$ , on a le schéma suivant :



Dans ce cas, tout changement affectant la variable  $i$  peut se répercuter sur la variable  $j$ . Il y a une relation indirecte entre  $i$  et  $j$ .

Il existe dans la matrice d'analyse structurelle de nombreuses relations indirectes du type  $i \rightarrow j$  que le classement direct ne permet pas de prendre en considération.

L'élévation au carré de la matrice met en évidence les relations d'ordre 2 telles que  $i \rightarrow j$ .

En effet,  $A^2 = A \times A = \{a^2_{ij}\}$

$$\text{Avec } a^2_{ij} = \sum_k a^1_{ik} \cdot a^1_{kj}$$

Quand  $a^2_{ij}$  n'est pas nul, c'est qu'il existe au moins un  $k$  tel que  $a^1_{ik} \cdot a^1_{kj} = 1$ , c'est à dire qu'il existe au moins une variable intermédiaire  $k$  telle que la variable  $i$  agisse sur  $k$  ( $a^1_{ik} = 1$ ) et que la variable  $k$  agisse sur la variable  $j$  ( $a^1_{kj} = 1$ ).

On dit qu'il y a un chemin d'ordre 2 allant de  $i$  vers  $j$  ; si  $a^2_{ij} = N$ , il y a  $N$  chemins de longueur 2 allant de  $i$  vers  $j$ , et passant par  $N$  variables intermédiaires. En particulier, si  $a^2_{ii} = N$ , il y a  $N$  circuits (ou boucles d'influence) de longueur 2 passant par la variable  $i$ .

En calculant  $A^3, A^4, \dots, A^n$ , on obtient de la même façon le nombre de chemins d'influence (ou de boucles d'influence) d'ordre 3, 4, ...  $n$ , reliant les variables entre elles.

On en déduit, à chaque itération, une nouvelle hiérarchie des variables, classées cette fois en fonction du nombre des actions indirectes (des influences) qu'elles exercent sur les autres variables. On constate que à partir d'une certaine puissance\*, la hiérarchie reste stable. C'est cette hiérarchie qui constitue le classement MICMAC.

Quand la somme en ligne  $\sum_j a^n_{ij}$  est élevée pour la variable  $i$ ,

( $a^n_{ij}$  étant un élément de la matrice élevée à la puissance  $n$ ) cela signifie qu'il existe un grand nombre de chemins de longueur  $n$  partant de la variable  $i$ , et que la variable  $i$  exerce un grand nombre d'influences sur les autres variables du système (ou du sous-système, si l'on s'intéresse à un bloc).

Le classement MICMAC permet donc de classer les variables en fonction de l'influence qu'elles exercent (ou qu'elles subissent), en tenant compte de l'ensemble du réseau des relations décrit par la matrice d'analyse structurelle.

La comparaison des classements (direct et MICMAC) permet bien sûr de confirmer l'importance de certaines variables, mais amène également à découvrir que d'autres variables, que l'on pensait a priori peu importantes, jouent, du fait des actions indirectes, un rôle prépondérant, et que ce serait une erreur grave de les négliger au cours de l'analyse explicative.

\* En général pour  $n = 8$  ou  $9$ .

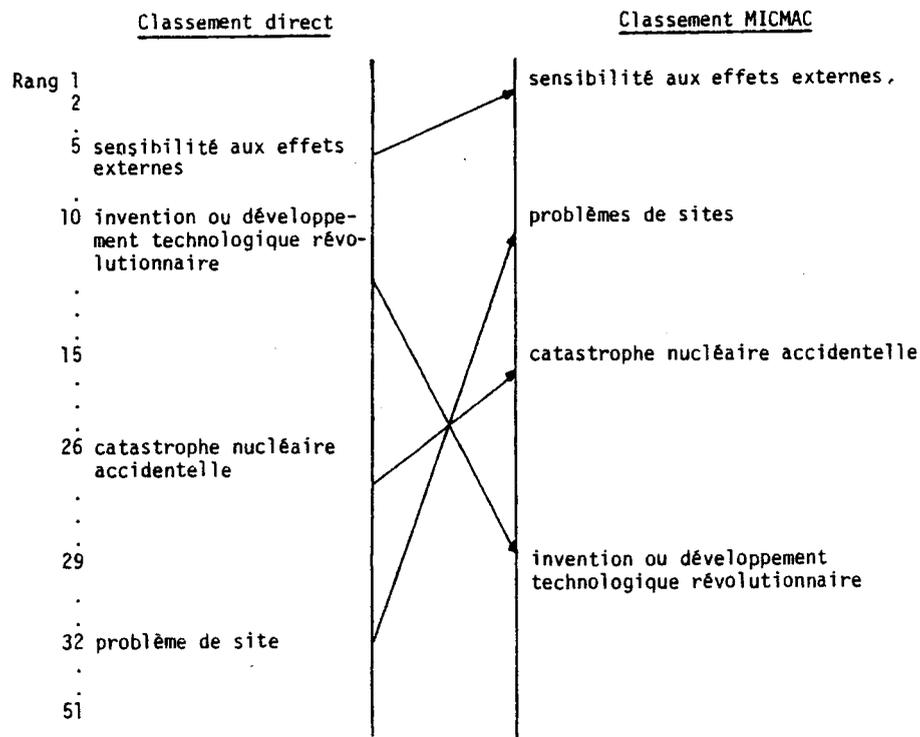
### 3 - COMPARAISON DES DEUX CLASSEMENTS

Il est intéressant de visualiser l'évolution de la hiérarchie entre les deux classements.

L'exemple ci-dessous est extrait d'une étude prospective de l'énergie nucléaire en France entreprise au C.E.A. en 1972.

En adoptant différents points de vue, (politique, économique, technologique, etc ...) le groupe de réflexion constitué à l'occasion de l'étude a retenu une liste de 51 variables qu'il convient de prendre en compte.

Les résultats obtenus se présentent de la façon suivante :



La variable "sensibilité aux effets externes" passe du cinquième au premier rang. Ainsi, dès 1972 l'analyse structurelle nous a permis de pressentir l'importance de la psychologie collective et des réactions d'opinions pour le développement de l'énergie nucléaire.

Cette variable explique le débat sur le nucléaire entamé en France depuis 1975 et dont les premiers effets sont un ralentissement du programme initialement prévu par E.D.F.

La variable "problèmes de sites pour l'implantation de centrales nucléaires" qui est 32ème dans le premier classement, devient 10ème dans le second ; la variable "catastrophe nucléaire accidentelle" passe entre le premier et le second classement du 26ème au 15ème rang. Ce qui signifie que les effets indirects (notamment psycho-sociologiques) d'une catastrophe nucléaire accidentelle sont toutes proportions gardées, plus importantes et plus durables que les effets directs (milliers de morts, réaction de l'opinion ...).

Ce changement de classement traduit un phénomène bien connu : "la peur de l'atome" si puissante aujourd'hui s'explique en grande partie par l'explosion atomique d'Hiroshima il y a trente ans.

En revanche, la variable "invention ou développement technologique révolutionnaire" passe du 10ème au 29ème rang entre le premier et le second classement, ce qui signifie que l'inertie du système est telle que les retombées de cette variable sont moins importantes qu'on ne le pense généralement à l'examen des effets directs.

Enfin, il convient de préciser que les résultats de la méthode MICMAC standard ne doivent pas être pris au pied de la lettre ; ils doivent uniquement servir à guider la réflexion, notamment en mettant en relief une nouvelle hiérarchie des variables qui, d'une part, vient confirmer l'intuition première en ce qui concerne l'importance de certaines variables mais qui, d'autre part, vient l'infirmier par certains résultats tout à fait "contre-intuitifs".

#### 4. Conclusions générales sur l'analyse structurelle (extrait de la thèse de J.F. LEFEBVRE "L'analyse structurelle : méthodes et développements" 1982)

Face à des phénomènes complexes aux multiples interdépendances, il est nécessaire dans toute la mesure du possible d'appréhender les nombreuses facettes que revêt la réalité.

L'analyse structurelle d'un système répond à cette préoccupation en ce que s'inscrivant dans le cadre de l'approche systémique elle vise à prendre en considération le tout dans toute la complexité de ses interrelations.

Elle permet de prendre en compte un nombre élevé de variables caractéristiques de la diversité des phénomènes ce qui correspond avec le niveau de détail requis pour en faire des actions réellement possibles.

Dans l'étude d'un système plusieurs façons d'insérer l'analyse structurelle sont à considérer :

- Tout d'abord, comme une aide pour réfléchir à la prise en compte d'un système et préparer à la construction dans une deuxième étape d'un modèle plus élaboré qui consistera par exemple en un modèle dynamique. Dans cette optique, l'analyse structurelle consiste en une phase préliminaire et s'accompagne de la construction d'un modèle cognitif ;
- L'analyse structurelle est d'autre part susceptible d'être utilisée seule sans le concours d'autres méthodes. On peut considérer qu'elle fournit un support adéquat en vue par exemple de la réflexion sur des choix stratégiques ;
- En outre, l'analyse structurelle est susceptible de prendre place dans une phase ultérieure constituée par la construction d'un modèle pour - le phénomène ayant été analysé et les grandes options dégagées - guider l'action. On aura affaire alors à un modèle décisionnel à l'orientation simulation éventuellement marquée.

Nous avons passé en revue la plupart des outils à notre connaissance actuellement développés concernant l'utilisation et l'exploitation d'une matrice d'analyse structurelle.

Cette recherche ne prétend pas se limiter à une synthèse au sens classique du terme dans la mesure où notre examen de la littérature dans ce domaine nous a amené à nous interroger sur le bien fondé de certains de ses résultats et même parfois à montrer qu'ils étaient faux.

A ce propos, nous nous sommes particulièrement attachés à expliciter les hypothèses sous-jacentes à ces outils. Nous avons relevé une certaine confusion méthodologique créée en grande partie par un manque de clarification des concepts afférant à la structure et particulièrement la difficulté de dissocier le concept de structure de celui de fonction, distinction qu'il est à notre sens fondamental de faire.

De ces développements, on retiendra :

1. Qu'il est utile lorsque l'on s'intéresse à l'étude prospective ou décisionnelle d'un phénomène en relation avec un certain environnement d'établir la liste des variables qui composent le sous-système et son environnement et de les mettre en relation afin, en quelque sorte, de ramener l'étude d'un système ouvert à celle d'un système fermé.
2. Cet effort d'identification des variables et de balayage systématique de toutes les relations possibles entre ces variables représentent un cadre précieux pour la communication, l'échange et la structuration des idées au sein d'un groupe de travail ; sans oublier le caractère stimulant pour l'imagination : en se posant des questions sur les relations on est amené à découvrir de nouvelles variables.

3. L'analyse systématique des relations directes et indirectes entre les variables (au moins sur le plan de leur existence qualitative) telle qu'elle est proposée par la méthode MICMAC, par exemple, est un outil puissant dans la mesure où elle permet, certes de confirmer certaines intuitions premières, mais aussi de révéler certains résultats contre-intuitifs et par là même poser des questions qui ne seraient pas venues à l'esprit autrement.
4. Il semble naturel à l'esprit de vouloir dépasser le simple repérage qualitatif de l'existence ou non des relations en introduisant des quantifications des relations.

Les développements en ce sens pour intéressants qu'ils soient dans leur principe rencontrent tous la même difficulté liée à la fiabilité des données (opinions subjectives sur des impacts pour la plupart difficilement quantifiables) sans oublier le risque inhérent à toute quantification qui conduit trop souvent à une précision illusoire.

Par ailleurs, trop souvent les tentatives en ce sens ce sont limitées à introduire des coefficients sans s'interroger sur la signification et l'interprétation de ces coefficients (élasticité, probabilité, ...).

5. Une approche particulièrement solide pour des systèmes nécessairement réduits nous semble être celle de F.S. Roberts.

Toutefois, à notre sens, la plupart des analyses de type quantifiées ne sont plus des modèles d'analyse structurelle mais déjà des modèles dynamiques dans lesquels par conséquent, comme d'ailleurs le fait F.S. Roberts, on introduit la dimension temps qui, rappelez-le au passage, ne doit pas être confondue avec la notion d'effets indirects d'ordre  $n$ , comme semble le faire H. Lesca lorsqu'il assimile les effets indirects d'ordre 1, 2, ...,  $n$  à des périodes.

Remarquons qu'un modèle structurel dans lequel la dimension du temps intervient devient dynamique ce qui suppose d'autres conditions plus spécifiques pour la définition même des variables.

6. Une autre voie qui nous semble extrêmement prometteuse pour la quantification des relations serait de considérer que les coefficients ne sont pas égaux à 0 ou 1 mais qu'une plus ou moins grande incertitude pèse sur l'existence de ces relations qui peut donc être traduite par une probabilité.

Un autre sens a été donné dès 1970 à l'introduction de probabilités dans une matrice : en considérant la relation  $i$  et  $j$  quelle est la probabilité conditionnelle de  $j$  sachant que  $i$ .

Mais ce faisant, on sort à nouveau du cadre de l'analyse structurelle pour entrer dans le domaine des matrices d'impacts croisés\* qui fait l'objet d'une littérature spécifique.

Si l'on en revient à la matrice d'analyse structurelle booléenne, celle-ci se prête aisément à d'autres traitements mathématiques dont les résultats sont particulièrement riches pour la compréhension de la structure du système.

Finalement, les problèmes méthodologiques que nous venons de rappeler appellent d'autant plus la recherche de solutions que les applications des méthodes d'analyse structurelle connaissent un développement incontestable dans les entreprises et les administrations.

L'ambition de notre recherche est d'avoir contribué à l'évaluation et à la diffusion de ces méthodes et à animer l'indispensable critique en la matière.

\* Méthode SMIC, Explore-sim de Battelle, Modèles Markoviens, ...

## 5.2. Les scénarios les plus probables : Méthode SMIC

### 1 - LES SCENARIOS POSSIBLES

De même que l'on peut résumer l'histoire passée par une série d'événements marquants, on peut repérer les futurs possibles par une liste d'hypothèses traduisant, par exemple, le maintien d'une tendance, sa rupture ou le développement d'une tendance encore en germe.

La réalisation, à un horizon donné, d'une hypothèse constitue un événement et l'ensemble des hypothèses constitue un référentiel dans lequel il y a autant d'états possibles, c'est-à-dire d'images finales que de combinaisons d'événements.

Pratiquement si l'on considère un système de  $N$  hypothèses ( $h_1, h_2 \dots h_N$ ) il y a  $2^N$  images finales conduisant à autant de scénarios possibles pour ce système. Dire par exemple qu'à tel horizon se produisent  $h_1, h_2, h_4 \dots h_N$  mais non  $h_3$  est l'une de ces  $2^N$  images.

La méthode SMIC permet, à partir d'informations fournies par des experts, de choisir, à partir des  $2^N$  images possibles, quelles sont celles qui méritent d'être plus particulièrement étudiées, compte tenu de leur probabilité de réalisation.

### 2 - L'INFORMATION DISPONIBLE

L'expérience montre que les experts interrogés sur l'évolution probable d'un système ne peuvent fournir qu'une information limitée et parcellaire qui se résume par :

- Les probabilités d'occurrence de chacune des hypothèses dans une période donnée.
- Les probabilités conditionnelles des hypothèses prises deux à deux.

### 3 - SELECTION DES EXPERTS REPRESENTATIFS

Quand le nombre d'experts ayant fourni l'information demandée est élevé, on constitue des groupes d'experts, tels que les experts d'un groupe aient des points de vue très voisins, et que les groupes aient des points de vue assez différents.

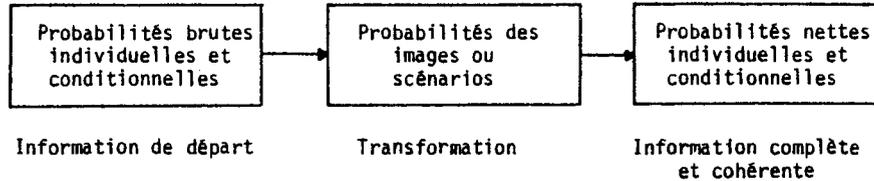
On sélectionne ensuite au sein de chaque groupe un ou plusieurs experts-type (de façon à respecter le poids relatif de chaque groupe) tels que ces experts soient représentatifs de l'opinion émise par le groupe auquel ils appartiennent.

### 4 - PRINCIPE DE LA METHODE DE CALCUL

En fait chaque expert répond en se référant à l'image qu'il se forme de l'évolution du système étudié ; mais cette image reste implicite et inexprimée dès lors que le système comporte plusieurs dimensions dépendantes les unes des autres : les descriptions partielles que l'expert en donne à travers les diverses probabilités conditionnelles peuvent donc être partiellement incohérentes entre elles.

La méthode SMIC corrige les opinions brutes exprimées par les experts représentatifs de chaque groupe de manière à obtenir des résultats nets cohérents (c'est-à-dire satisfaisant aux contraintes classiques sur les probabilités), les plus proches possibles des estimations initiales : chaque probabilité doit être comprise entre zéro et un ; la probabilité d'avoir une hypothèse doit être égale à la probabilité d'avoir cette hypothèse et n'importe quelle autre, plus la probabilité d'avoir cette hypothèse et le contraire de cette autre, c'est la règle de la somme ; il y a aussi la règle du produit, etc ...).

Le principe retenu est d'obtenir des probabilités nettes cohérentes par l'intermédiaire des probabilités des images, c'est-à-dire de l'opinion globale inexprimée mais implicite.



Calcul des probabilités des images finales à partir de l'information fournie par un expert.

Les  $2^N = r$  situations possibles du système constitué par les  $N$  hypothèses sont :

- $E_1 = (h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_N)$
- $E_2 = (\bar{h}_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_N)$  ( $h_1$  non réalisée)
- $E_3 = (h_1, \bar{h}_2, \dots, h_i, \dots, h_N)$  ( $h_2$  non réalisée)
- $E_r = (\bar{h}_1, \bar{h}_2, \dots, \bar{h}_i, \dots, \bar{h}_N)$  (aucune hypothèse réalisée)

Chaque situation (ou image)  $E_k$  possède une probabilité de réalisation  $\pi_k$  inconnue, que l'on veut connaître.

A chaque hypothèse isolée  $h_i$ , on peut associer des probabilités théoriques individuelles et conditionnelles qui s'expriment en fonction des  $\pi_k$ .

1) Probabilité de  $h_i$

$$P^*(i) = \sum_k \theta_{ik} \pi_k \quad (1)$$

Avec  $\theta_{ik} = 0$  si  $h_i$  ne figure pas dans  $E_k$

$\theta_{ik} = 1$  si  $h_i$  figure dans  $E_k$

La relation (1) exprime que la probabilité de l'hypothèse  $i$  est la somme des probabilités des situations où  $h_i$  est effectivement réalisée.

2) Probabilité de  $h_i$  si  $h_j$  est réalisée

$$P^*(i/j) = \frac{\sum_{k=1}^r t(ijk) \pi_k}{P(j)} \quad \forall (ij) \quad (2)$$

avec  $t(ijk) = 1$  si  $h_i$  et  $h_j$  figurent dans  $E_k$

$t(ijk) = 0$  si  $h_i$  ou  $h_j$  ne figure pas dans  $E_k$

En effet, on a  $P(i, j) = P(i/j) \cdot P(j)$ , et la probabilité pour que  $h_i$  et  $h_j$  soient réalisés ensemble est égale à la somme des probabilités des situations où  $i$  et  $j$  sont simultanément réalisées.

3) Probabilité de  $i$  si non  $j$

$$P^*(i/\bar{j}) = \frac{\sum_{k=1}^r S(ijk) \pi_k}{1 - P(j)} \quad \forall (ij) \quad (3)$$

avec  $S(ijk) = 1$  si  $h_i$  et  $\bar{h}_j$  figurent dans  $E_k$

$S(ijk) = 0$  si  $h_i$  ou  $\bar{h}_j$  ne figure pas dans  $E_k$

Les conditions à respecter, vérifiées par construction sont :

- a)  $0 < P^*(i) < 1$
- b)  $P^*(i/j) \cdot P^*(j) = P^*(j/i) \cdot P^*(i) = P^*(i, j)$
- c)  $P^*(i/j) \cdot P^*(j) + P^*(i/\bar{j}) \cdot P^*(\bar{j}) = P^*(i)$

Les contraintes a, b, c, sont vérifiées par les probabilités théoriques mais non par les probabilités estimées, par conséquent la fonction objectif que nous nous proposons d'optimiser consiste à minimiser la différence entre les produits  $P(i/j) \cdot P(j)$  résultant des estimations fournies par les experts et les produits théoriques  $P^*(i/j) \cdot P^*(j)$  qui s'expriment en fonction des  $\pi_k$ .

Ce qui revient à chercher les probabilités  $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k, \dots, \pi_r)$  des R situations possibles qui rendent minimum par exemple :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \sum_{ij} \{ P(i/j) \cdot P(j) - \sum_{k=1}^r t(ijk) \cdot \pi_k \}^2 \right. \\ \left. + \sum_{ij} \{ P(i/\bar{j}) \cdot P(\bar{j}) - \sum_{k=1}^r S(ijk) \cdot \pi_k \}^2 \right\} \end{array} \right\}$$

sous les contraintes :

$$\begin{array}{l} \sum_{k=1}^r \pi_k = 1 \\ \pi_k > 0 \quad \forall k \end{array}$$

C'est un programme classique de minimisation d'une forme quadratique sous contraintes linéaires.

A ce stade, on peut montrer qu'il y a de multiples solutions pour les  $\pi_k$  alors que les  $P^*$  sont uniques. On introduit alors un critère de choix : on retient comme solution optimale celle qui correspond à l'ensemble des  $\pi_k$  tel que le scénario le plus probable ait la valeur la plus élevée possible, ce qui correspond à la réalité, dans la mesure où la plupart des experts ont en tête, quand ils répondent au questionnaire SMIC, une image finale qu'ils considèrent comme étant nettement plus probable que les autres.

La solution répondant à ce critère, c'est-à-dire  $\max \{ \max \pi_k \}$  est obtenue facilement par l'algorithme du simplexe, puisqu'il s'agit d'une fonction linéaire en  $\pi$  à optimiser sous des contraintes linéaires.

## 5 - ANALYSE DE SENSIBILITE

-En comparant les histogrammes des réponses aux probabilités simples et conditionnelles, on observe les variations de probabilités. Ceci permet de déduire quelles sont les hypothèses "influentes" et quelles sont les hypothèses "dominées".

L'analyse de sensibilité indique donc quels sont les hypothèses dont il faut favoriser ou empêcher la réalisation pour faire évoluer le système dans le sens souhaité.

## 6 - CHOIX DES IMAGES FINALES

On dispose, pour chaque expert retenu, de la liste des  $2^N$  images classées par ordre de probabilité décroissante.

On dresse alors une liste de quelques images (une dizaine), ces images étant telles que :

- pour chaque expert, la somme des probabilités des images ne figurant pas sur la liste soit faible
- pour chaque image retenue, il existe au moins un expert qui lui affecte une probabilité importante.

On calcule alors pour chaque image la moyenne des probabilités affectées, et l'on obtient une hiérarchie des images finales retenues et des scénarios correspondants.

On choisit alors parmi ces scénarios le scénario de référence (scénario souvent cité, et avec une forte moyenne de probabilités), et les scénarios contrastés.

\*            \*  
  
\*            \*

Finalement, le rôle de la méthode SMIC se résume essentiellement à cerner les avens les plus probables qui feront l'objet de la méthode des scénarios.

Et, une fois les images finales déterminées, l'objet de la méthode des scénarios consiste alors à décrire de façon cohérente les différents cheminements qui, partant de la situation actuelle, y conduisent.

### 5.3. L'analyse structurelle : les développements récents

#### I - L'ANALYSE STRUCTURELLE, OUTIL DE DIALOGUE

Ayant eu l'occasion de présenter plusieurs fois la démarche prospective SEMA à des cadres d'une même entreprise, travaillant dans un secteur commun, nous avons noté un vif intérêt pour la méthode MICMAC, se traduisant par le désir de traiter un problème les concernant directement.

- Etablir une liste de variables pour caractériser un phénomène et son environnement est déjà un exercice enrichissant pour les participants, dans la mesure où un effort de définition est nécessaire : chacun ayant une vision parcellaire du phénomène, la juxtaposition des différents points de vue amène le groupe à avoir une vue beaucoup plus globale. De plus, classer les variables en variables internes et variables d'environnement conduit à définir de façon assez précise la frontière du système étudié.
- L'étape suivante (définir les liaisons directes entre variables) est l'occasion de nombreuses discussions entre participants, car là encore les points de vue sont différents, sinon contradictoires : confusions entre l'effet et la cause, mécanismes explicatifs divergents, etc.

La méthode MICMAC est de ce fait un outil de dialogue très constructif, aussi bien au niveau du remplissage de la matrice, qu'au niveau des résultats de la méthode (mise en évidence des variables d'environnement les plus motrices, des variables les plus dépendantes, comparaison du classement direct et du classement MICMAC), créant une optique et un langage communs.

De plus, l'intérêt de la procédure (interrogation systématique) est très facilement perçu par les participants.

On peut donc appliquer la méthode MICMAC à des séminaires de réflexion se déroulant dans les entreprises sous la forme suivante :

- une première session de travail de trois journées, destinée à poser le problème à étudier, et à remplir la matrice ;
- une deuxième session d'une demi-journée, intervenant quinze jours plus tard, destinée à étudier les résultats du traitement MICMAC, et à tirer les conclusions de l'analyse.

#### 2 - CLUB SMIC CONJONCTURE

Ce que permet la méthode SMIC est plus riche que ce que donnent les sondages classiques (probabilités des images, cohérence). Par conséquent, on peut réaliser des enquêtes SMIC périodiques sur des problèmes spécifiques\* de conjoncture au sein d'un club. Sont concernés par un tel club au premier chef les syndicats et organisations professionnelles.

Le rôle de la SEMA est de recueillir et de structurer les opinions (parfois divergentes) des experts sur les questions fondamentales que se posent les membres du club. Les résultats se présentent sous la forme de scénarios de conjoncture les plus probables.

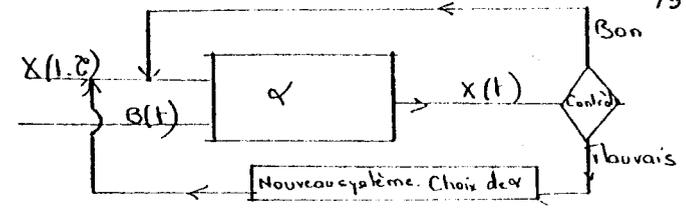
-----  
\* Exemple : Club exportation

Les questions SMIC portent sur les taux de changes, l'évolution des marchés extérieurs, de la concurrence, etc.

D - PROBLEMES ET METHODES : L'ANCIEN ET LE NOUVEAU

---

1. Recherche d'une méthodologie générale de prévision (Odile DESFORGES "Méthodologie des études de prévision à long terme et application du trafic aérien sur la région parisienne en 1990 - mars/juin 1973).



I.1. Formalisation du problème

Prévoir à long terme, c'est en fait étudier un système dans le temps. Or, tout système peut être schématisé à un instant t par un vecteur état X(t). De plus, nous étudions l'évolution du système dans le futur : ceci implique la création d'un vecteur aléa B(t) agissant sur le système au temps t et représentant les événements extérieurs aléatoires.

L'évolution du système entre les instants t-Δ et t se traduit par des relations de la forme :

$$\textcircled{1} \begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = f_{\alpha}(t, X(t-\Delta), B(t)) \\ X(t) = g_{\alpha}(t, X(t-\Delta), B(t)) \\ X(t) = P_{t, t-\Delta} [X(t-\Delta)] \end{cases}$$

P probabilité de transition, ou toute autre forme de relation.

Cette évolution se schématise donc de la façon suivante :



Deux problèmes se posent : le contrôle du modèle et le choix de alpha.

En principe, un contrôle se traduit par un système de contraintes que l'on peut représenter par

$$\text{ou } \left. \begin{matrix} X(t) \in D_t \\ f_j[X(t)] \geq 0 \quad j = (1, 2, \dots, n) \end{matrix} \right\} \textcircled{2}$$

L'utilisateur de la méthode choisit alors alpha(t) de façon :

- à satisfaire les contraintes  $\textcircled{2}$
- et ceci en fonction d'un certain critère qui peut être représenté par  $\min G(X, t, \alpha)$ .

Ainsi dans le cas d'une prévision normative alpha devra être le plus près possible - au sens d'une distance d qui reste à définir - d'un alpha donné à l'avance et le critère sera  $\min d(\alpha, \alpha_0)$ .

En général, cependant, on ne peut donner ni le domaine des états possibles D\_t, ni la fonction économique G.

C'est pourquoi on se contente d'une représentation permettant de contrôler le système sans se préoccuper de savoir si ce contrôle est optimal ou non.

L'évolution du système peut alors être schématisée selon la figure 3.

I.2. Construction du modèle

I.2.1. On commence par dresser une liste des facteurs entrant dans le système f = (f\_i).

On note les interactions f\_ij entre les facteurs.

Par exemple, f\_ij = 1 si f\_i a une influence sur f\_j  
f\_ij = 0 dans le cas contraire

Ces interactions sont notées d'une manière purement qualitative.

On appelle M\_j = (f\_ij) la matrice d'influence, d'élément f\_ij. M\_j représente les actions directes des facteurs les uns sur les autres.

I.2.2. On décompose M\_j en sous-systèmes comme suit :

I.2.2.a) Construction de la matrice M des actions directes et indirectes des facteurs les uns sur les autres.

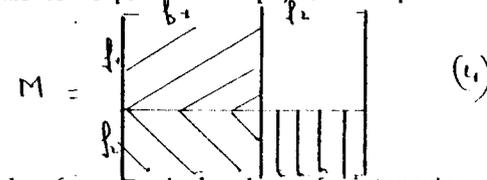
Cette matrice M se déduit de M\_j en associant à M son graphe et en considérant les actions indirectes d'ordre inférieur ou égal à n.

n est généralement choisi égal à 5. On considère en effet que les actions ou chemins d'ordre supérieurs sont :

- soit instables
- soit d'inertie supérieure à la période d'étude

Par exemple m\_ij = 1 si f\_i a une influence directe/sur f\_j

Dans cette première étape, M a l'aspect suivant :



- les facteurs de la classe f\_1 interagissent directement/entre eux et peuvent être appelés facteurs internes.
- les facteurs de la classe f\_2 agissent directement/sur ceux de la classe f\_1 mais la réciproque est fautive. Ces facteurs peuvent être appelés externes.

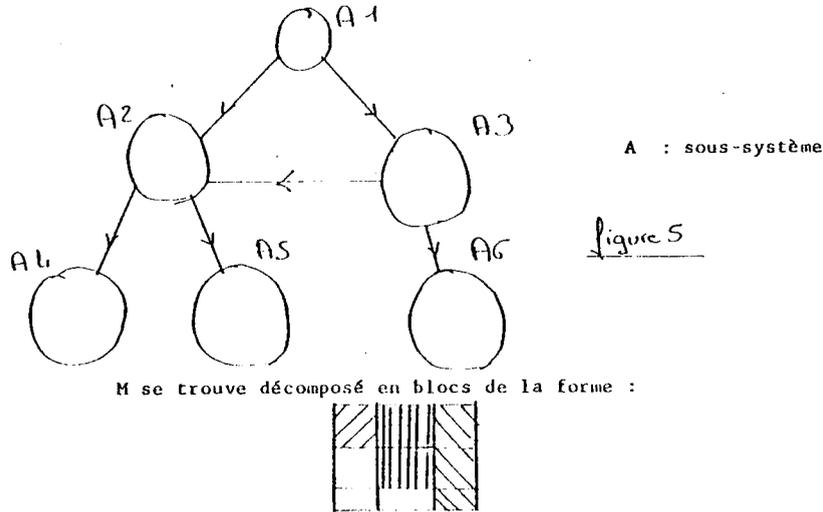
I.2.2.b) On peut affiner cette décomposition de M en sous-systèmes de la façon suivante :

- on associe à M son graphe
- Dans ce graphe, on recherche les composantes fortement connexes.

Chaque composante f.c. constitue un sous-système. Cette recherche donne donc les composantes f.c., les interactions qui existent entre elles.

A un instant donné, on obtient une schématisation du système suivant la figure 5.

On trouvera en annexe 4 la définition et la méthode de la décomposition d'un graphe en composantes fortement convexes.



#### I.2.2.c) L'intérêt de cette décomposition est multiple

- Le système est réduit simplement en ses sous-systèmes avec leurs interactions.
  - On obtient l'ordre hiérarchique dans lequel les sous-systèmes doivent être étudiés.
  - Le bloc  $A_1$  correspond au sous-système des facteurs extérieurs  $f_2$ . Suivant le type de problème, on peut l'étudier de deux façons différentes :
    - . Il suffit de se donner les sorties de  $A_1$  pour étudier le graphe. Ceci revient à donner a priori des valeurs aux facteurs extérieurs  $f_2$  : par exemple leur associer des événements avec leur probabilité d'apparition et leurs règles d'action sur les facteurs  $f_1$ .
    - . Il faut étudier les interactions internes au bloc ( $A_1$ ) : ceci revient à construire un modèle de ce sous-système (étude du bloc  $(f_2, f_2)$  de la représentation  $(4)$ ).
  - On peut associer à chaque sous-système un modèle qui décrit son comportement avec ses relations internes. La quantification peut devenir ainsi plus aisée.
- Supposons que la variable-résultat choisie appartienne au sous-

système  $A_2$ . L'étude du système se ramènera à celle des sous-systèmes  $A_1, A_2, A_3$ . On a ainsi un procédé sûr de simplification de l'étude.

#### I.2.2.d) Il reste à résoudre un problème important :

Celui de l'importance relative des sous-systèmes considérés. Pour cela, il faudrait mettre en place une étude de sensibilité du système à ses différents facteurs et composantes f.c.

### I.3. Marche du modèle

Cette étude de la matrice M et de son graphe est une étude en un temps donné. Or, actuellement, il n'existe pas d'exploitation pratique du modèle proposé dans son ensemble, faisant en particulier le lien entre I.1 et I.2. Il semblerait donc que ce modèle soit un jeu de l'esprit. En fait, l'étude bibliographique nous a montré que ce modèle général avait reçu plusieurs applications pratiques partielles. C'est ce que nous allons examiner dans le paragraphe suivant.

### I.4. Recherche des applications pratiques du modèle général

#### I.4.1. Recensement des facteurs $f_1$ , des $f_{ij}$ : Construction de M.

Ce recensement qui sert à définir et à délimiter le système est obligatoire pour pouvoir traiter convenablement le problème : on le retrouve donc dans toutes les méthodes étudiées. Mais la systématisation en est faite de manière plus ou moins partielle.

FORRESTER ne tient compte que des facteurs internes  $f_1$ . En négligeant les actions indirectes type feed-back et les facteurs externes  $f_2$ , il restreint grandement la portée de son modèle.

La méthode des scénarios par la construction du système de base recherche bien tous les facteurs internes et externes et leurs interactions. Les invariants et tendances lourdes qu'elle dégage, par exemple, sont en fait des facteurs externes. Cependant, elle ne mentionne pas les facteurs aléatoires de la classe  $f_2$ . Et surtout, ces deux méthodes (FORRESTER et scénarios) perdent en systématisation en ne recourant pas à la représentation matricielle et se privent ainsi de la possibilité d'une représentation par graphe et de sa décomposition.

La méthode du cross-impact utilise bien la représentation matricielle mais donnant a priori d'événements aléatoires et des coefficients d'interaction, elle ne construit que le bloc  $(f_2, f_2)$ . Mais ceci vient du fait que le cross-impact est surtout une technique qui permet de passer de probabilités a priori à des probabilités a postériori.

On trouve la meilleure recherche et la meilleure systématisation des facteurs et de leurs interactions dans le modèle "ppole" : la matrice  $M_1$  est la matrice des relations logiques et la matrice M est la matrice des relations fondamentales. Le bloc  $(f_1, f_1)$  est exploité sous le nom de "variables motrices" décisionnelles et non décisionnelles. Enfin, les facteurs  $f_2$  sont recensés là et là seulement sous le nom de variables de causalité condition ou "contraignantes"

sur lesquels il est fait des pronostics - ce qui correspond bien à donner des probabilités d'apparition à des événements associés aux facteurs  $f_2$ .

Enfin, le modèle Popole associe à sa matrice un graphe. Mais il se contente de simplifier les chemins et de couper certaines boucles sans tenter de faire une décomposition plus systématique.

Par contre, la méthode d'analyse d'un graphe d'interaction est bien menée dans le modèle X (annexe 3 page 16) puisqu'on mesure l'importance d'un facteur par le nombre de boucles d'ordre  $n$  qui passent par lui.

On pourrait discuter de la valabilité de ce critère.

Remarquons cependant qu'il possède deux mérites :

- le classement n'est pas subjectif : les interprétations personnelles données aux liaisons entre facteurs sont éliminées
- les interactions indirectes significatives et stables (par le choix de  $n$ ) sont seules prises en compte.

#### I.4.2. Etude à une époque donnée de la matrice M et politique de contrôle

Nous venons de voir que le modèle Popole construisait un graphe pour étudier M.

De même, la technique des graphes de transfert permet de voir les chemins d'influence existant dans le système et de faire une analyse de sensibilité du bloc des facteurs internes.

Citons aussi la méthode des scénarios qui, bien qu'elle n'utilise pas la technique des graphes, étudie dans son analyse synchrone le système en un temps donné : c'est-à-dire en fait les relations  $m_{ij}$  entre les facteurs de M. Elle en déduit une cohérence ou incohérence du système, des nouvelles relations  $m_{ij}$  et selon les cas la création de nouveaux facteurs. C'est la seule méthode vue qui se préoccupe d'avoir une politique de contrôle.

#### I.4.3. Etudes dans le temps : équations (A)

La méthode des scénarios fait évoluer le système du temps  $t$  au temps  $t + T$  dans son analyse diachronique : à chaque étape on détermine  $X(t)$  d'après les tendances dégagées par l'analyse synchrone faite au temps  $t$ . On a ainsi les fonctions  $f_{\alpha}$ ,  $g_{\alpha}$  : Mais celles-ci correspondent généralement plus à une description qualitative des interactions qu'à un essai de quantification rigoureux de ces interactions.

FORRESTER, par contre, en donnant des équations différentielles dynamiques comme équations (A) a été le plus rigoureux dans son approche quantitative. Mais il suppose le paramètre  $\alpha$  constant ce qui est aussi une restriction.

Enfin la méthode du cross-impact donne des équations du type :

$$X(t+T) = R_{t,T} X(t)$$

.../...

Elle permet ainsi de faire évoluer le bloc  $(f_2, g_2)$  des facteurs externes. Mais de grosses difficultés subsistent au niveau de la définition de ces probabilités de transition et surtout de l'introduction de la variable-temps.

#### I.4.4. Conclusion

On trouve très peu d'essais de formalisation du problème : FORRESTER ne considère ainsi implicitement que le vecteur  $X(t)$ . On gagnerait beaucoup en compréhension du problème en approfondissant et en utilisant la formalisation proposée en I.1.

Cette étude des applications pratiques d'une méthode de prévision à long terme met en évidence les points-clés ci-dessous :

- . Porter la plus grande attention à la décomposition du système en sous-systèmes : ceci permet en effet de mieux comprendre la structure du système et, en diminuant le nombre de relations à étudier, en facilite grandement l'étude. Toutes les méthodes conduisent à l'analyse des relations des facteurs internes et externes donc finalement à l'analyse de graphes d'interactions.
- . Les relations de type (A) doivent :
  - tenir compte de l'évolution des facteurs (scénarios)
  - être grossières mais solides plutôt que sophistiquées (FORRESTER)
- . L'étude approfondie de la matrice M en un temps  $t$  est indispensable pour :
  - établir une politique de contrôle
  - assurer la cohérence et la vraisemblabilité du système.

Encore une fois répétons que c'est l'analyse du graphe des interactions du système qui permet le mieux cette étude.

## 2. Un nouveau défi pour la prévision

Synthèse des travaux de l'atelier :  
PREVISION EN ENVIRONNEMENT INCERTAIN

Président : Professeur R. COURBIS

Animateur : Michel GODET

Rapporteurs : Claire ANCELIN  
Rémi BARRE

Juillet 1982

### LES COMMUNICATIONS PRESENTÉES DANS LE CADRE DU GROUPE DE TRAVAIL

- Georges RIBEIL : Histoire des réseaux de service public : des enseignements pour la prospective.
- Patrick COHENDET : Progrès technique et percolation.
- Georges ROTTIER : Les comptes des Collectivités Locales : de la banalité de l'analyse à l'impossibilité dans la projection.
- M. JAUDOU : Formalisation et quantification d'un problème complexe : l'épargne.
- Rémi BARRE : Complémentarité entre méthodes quantitatives et qualitatives : la méthode des scénarios appliquée à l'environnement.
- Claire ANCELIN : Analyse structurelle des facteurs de développement d'une innovation technologique : le cas du VIDEOTEX.
- Humbert LESCA : Quantification de l'analyse structurelle : application à la gestion de l'entreprise.
- Michel GODET : Prospective et Prévision : Différences et complémentarités.

## 1. UN DEFI NOUVEAU POUR LA PREVISION

Prendre en compte un nombre croissant de facteurs de type qualitatif représentant l'environnement social et institutionnel du phénomène étudié ; appréhender le jeu des acteurs et leurs rapports de force ; tels sont les défis nouveaux que pose à la prévision la nécessaire prise en compte des incertitudes majeures sur le contexte.

Chocs extérieurs, modifications structurelles, discontinuités, conflits doivent ainsi désormais être étudiés à l'occasion des travaux de prévision : la prospective ne peut plus être séparée de la prévision.

L'axe de l'atelier a donc été l'examen des complémentarités et des apports réciproques possibles entre la prévision et la prospective, dont les différents aspects ont été évoqués à travers quatre communications de type méthodologique et quatre communications de type étude de cas.

## 2. QUATRE RESULTATS DE TYPE METHODOLOGIQUE SUR L'INTERFACE PREVISION-PROSPECTIVE

- Pas de prospective sans rétrospective : de même qu'il n'est pas d'économétrie sans séries passées, de même qu'il n'est pas de prospective sans rétrospective. De même que les futurs possibles sont multiples, de même le passé est susceptible de lectures multiples apportant chacune leur lot d'hypothèses pour la réflexion sur les futurs (Michel GODET).
- Il devient possible de modéliser les effets de seuil : des travaux sur la diffusion du progrès technique montrent qu'il est possible d'interpréter des discontinuités ou effets de seuil dans le rythme de diffusion d'une innovation comme résultantes de petites modifications de type quantitatif dont on peut prévoir à quel moment elles font masse critique (patrick COHENDET). Il est intéressant de noter qu'un tel modèle a des implications directes pour l'action publique : pour favoriser la diffusion d'une innovation l'important ne serait pas tant le renforcement d'un "noyau dur" (subventions massives à une industrie "de pointe") que la préparation du tissu - social, industriel, institutionnel - pour abaisser son seuil critique, au delà duquel l'innovation se diffuse très rapidement.

- Il convient de prendre en compte les interactions entre structures et phénomènes : par exemple, une innovation (phénomène observé) sera acceptée ou rejetée selon qu'elle peut s'insérer ou non dans le réseau existant des acteurs, des techniques et des intérêts du système d'institution et d'infrastructures existant (Georges RIBEIL).

- Il est possible d'utiliser des méthodes "qualitatives" de construction de scénarios (méthode SMIC (1) par exemple) comme module amont d'un modèle quantitatif de prévision, pour peu que l'ensemble soit conçu comme un tout dès le départ ; les scénarios sont alors des combinaisons cohérentes de valeurs pour les variables exogènes du modèle de prévision (Rémi BARRE).

## 3. QUATRE ETUDES DE CAS : LES NOUVELLES FRONTIERES DE LA PREVISION

- La modification de l'épargne des ménages par une méthode de dynamique des systèmes (M. JAUDOU) ; il s'avère que non seulement le type de modèle choisi doit être adapté au type de question posée mais que de plus la base de données doit aussi être en cohérence avec le modèle et la méthodologie : c'est ainsi qu'il conviendra d'élaborer les données adaptées à la démarche prospective.

- La prévision des comptes des Collectivités Locales (Georges ROTTIER) : les données issues des Comptes de la Nation, si elles sont adaptées pour expliquer le comportement des entreprises et des ménages, sont inadéquates pour traduire les comportements des Collectivités Locales qui dépendent directement du jeu d'un système d'acteurs aux comportements beaucoup plus "politiques" qu'économiques ; l'exercice de modélisation et de simulation des comptes de cet agent Collectivités Locales a mis en évidence une limite de la prévision.

- Les facteurs de développement d'un produit technologique nouveau, le Vidéotex (Claire ANCELIN) : face à un nouvel outil technologique, sans passé, l'application d'une méthode d'analyse structurelle a permis de mettre en évidence la structure du système organisé autour de ce produit et d'établir des scénarios qualitatifs d'évolution du développement de ce produit.

(1) SMIC : Système et Matrice d'Impacts Croisés, méthode d'enquête auprès d'experts selon une technique plus élaborée que la méthode Delphi classique (voir M. GODET, crise de la prévision, essor de la prospective, PUF, 1977).

- La quantification de l'analyse structurelle appliquée à la gestion de l'entreprise (Humbert LESCA) : les conséquences directes et indirectes d'une décision touchant à la structure de l'entreprise (organisation ou système d'information) ont ainsi pu être mises en évidence, quoi que subsistent certains délicats problèmes d'interprétation des valeurs quantifiées des résultats.

#### 4. VERS UN DIALOGUE ENTRE PREVISIONNISTES ET PROSPECTIVISTES

La prévision a beaucoup à gagner à prendre en compte des facteurs nouveaux, par exemple de type institutionnel, ce qui nécessite un travail amont sur des variables qualitatives et sur la construction de scénarios, c'est-à-dire un travail de prospective.

Parallèlement, la prospective ne peut devenir crédible que si elle est capable d'exprimer ses résultats sous forme suffisamment précise, et donc chiffrée, c'est-à-dire s'il y a en aval un travail de prévisionniste.

La reconnaissance actuelle des limites des deux démarches peut conduire à l'accentuation des tendances totalisantes de chacune d'elles :

- le prévisionniste ne pourrait-il pas, s'il disposait de séries passées correctes, modéliser le comportement de ces fameux "acteurs" du système faisant ainsi l'économie d'une réflexion de type prospectif ?
- le prospectiviste ne pourrait-il pas, s'il disposait d'indicateurs adéquats et de techniques d'analyses suffisantes, quantifier directement jeux d'acteurs et scénarios faisant ainsi l'économie d'un travail de prévision ?

Si ces tendances totalisantes d'ailleurs, propres à toute science et à toute théorie, sont sans doute porteuses pour une part de dynamisme et de créativité, il reste qu'elles peuvent aussi conduire, si elles sont passées trop loin, à des blocages et pour finir à une certaine stérilité ; c'est ainsi que la reconnaissance actuelle des limites des deux démarches doit d'urgence conduire à des synergies nées de leur complémentarité évidente.

Ceci passe d'abord par le dialogue et l'échange entre les spécialistes des deux domaines, trop longtemps isolés les uns des autres. Amorcer un tel dialogue, tel fut, en fin de compte, le résultat le plus fondamental de cet atelier.

E - SOMMAIRES DE QUELQUES OUVRAGES



1.

# LA PREVISION TECHNOLOGIQUE

La prévision technologique :  
cadre, techniques et organisation ;  
description des activités prévisionnelles  
et bibliographie annotée par  
Erich Jantsch  
Consultant auprès de l'OCDE

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES

## TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	11
AVANT-PROPOS .....	13
Définition générale de quelques termes fondamentaux fréquemment utilisés dans le rapport .....	16
Principaux résultats et recommandations .....	18
<b>PREMIÈRE PARTIE</b>	
<b>LE CADRE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE</b>	
<i>Chapitre 1.1</i>	
LE CONCEPT FONDAMENTAL D'UN ESPACE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE .....	25
<i>Chapitre 1.2</i>	
PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE .....	33
<i>Chapitre 1.3</i>	
LE FACTEUR TEMPS ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE.....	45
<i>Chapitre 1.4</i>	
RECHERCHE FONDAMENTALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE .....	57
1.4.1. La tradition scientifique et le problème des valeurs .....	57
1.4.2. Prévision et connaissance rationnelle .....	61
1.4.3. Les valeurs intrinsèques de la science et les objectifs sociaux .....	67
1.4.4. Conclusions .....	70
<i>Chapitre 1.5</i>	
INNOVATION TECHNIQUE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE .....	71
1.5.1. Les conditions générales de l'innovation technique .....	71
1.5.2. Taux d'innovation des secteurs industriels .....	75
1.5.3. Eléments normatifs de l'innovation technologique .....	78
1.5.4. Tendances à une plus grande complexité des transferts technologiques verticaux .....	82
1.5.5. Rôle croissant des transferts technologiques horizontaux dans l'innovation .....	85
1.5.6. Modifications structurelles de l'industrie sous l'effet de l'innovation technique .....	89
1.5.7. Conclusions .....	92
<i>Chapitre 1.6</i>	
PRÉVISION ET PLANIFICATION TECHNOLOGIQUES .....	93
1.6.1. Intégration croissante de la prévision et de la planification technologiques .....	93
1.6.2. Caractère normatif de la planification .....	96
1.6.3. Stratégie de la planification .....	98
1.6.4. Aspects quantitatifs de la planification .....	100
1.6.5. Conclusions .....	101

<i>Chapitre 1.7</i>	
TECHNOLOGIE SOCIALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE .....	103
<i>Chapitre 1.8</i>	
L'INFORMATIQUE ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE .....	109
<i>Chapitre 1.9</i>	
EXACTITUDE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE .....	113
<b>DEUXIÈME PARTIE</b>	
<b>MÉTHODES UTILISÉES POUR LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE</b>	
<i>Chapitre 11.1</i>	
APERÇU TECHNIQUE .....	125
11.1.1. Incitations et possibilités .....	125
11.1.2. Types de méthodes utilisées et état de l'art .....	129
11.1.3. Utilisation des méthodes .....	144
11.1.4. Perspectives proches .....	149
<i>Chapitre 11.2</i>	
APPLICATIONS ET AMÉLIORATION DE LA RÉFLEXION INTUITIVE .....	151
11.2.1. La pensée créatrice et la prévision .....	151
11.2.2. Les différentes versions du « brainstorming » .....	154
11.2.3. La méthode « Delphi » .....	155
11.2.4. Utopie et science-fiction .....	159
11.2.5. Nouveaux éléments d'une amélioration de la réflexion intuitive .....	160
<i>Chapitre 11.3</i>	
LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE .....	161
11.3.1. Informations de départ .....	161
11.3.2. Extrapolation de séries temporelles : tentatives de formulation de modèles analytiques simples .....	162
11.3.3. Extrapolation de séries temporelles sur une base phénoménologique .....	174
11.3.4. Courbes d'apprentissage .....	188
11.3.5. Représentation contextuelle indépendante du temps .....	191
11.3.6. Méthode morphologique d'exploration systématique des possibilités techniques .....	195
11.3.7. Rédaction de scénarios et itération par synthèse .....	201
11.3.8. Analogie historique qualitative .....	203
11.3.9. Éléments de prévision exploratoire probabiliste .....	204
11.3.10. Analyse économique .....	212
11.3.11. Modèles opérationnels .....	223
11.3.12. Prévision technologiques exploratoire au niveau des agrégats .....	228
<i>Chapitre 11.4</i>	
LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE .....	235
11.4.1. Matrices de décision horizontales .....	235
11.4.2. Matrices de décision verticales .....	236
11.4.3. Méthodes simples de sélection des projets fondés sur la recherche opérationnelle .....	238
11.4.4. Méthodes simples de sélection des projets, fondés sur la théorie de la décision .....	240
11.4.5. Systèmes de décision intégrés, fondés sur les graphes de pertinence .....	243
11.4.6. Certaines applications des techniques de réseaux .....	259
11.4.7. Modèles opérationnels .....	261
11.4.8. Analyse des systèmes .....	265

<i>Chapitre 11.5</i>	
MÉTHODES COMPORTANT DES SYSTÈMES EN BOUCLE FERMÉE .....	269
11.5.1. Premières tentatives .....	269
11.5.2. Prévision technologique et évolution des techniques de traitement de l'information .....	273

## TROISIÈME PARTIE

## ORGANISATION DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

<i>Chapitre 111.1</i>	
INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'ÉTUDES .....	279
<i>Chapitre 111.2</i>	
INDUSTRIE .....	283
111.2.1. Rôle de la prévision technologique .....	283
111.2.2. Évolution de la planification à long terme dans l'industrie .....	284
111.2.3. La fonction de prévision technologique dans l'organigramme de l'entreprise .....	285
111.2.4. Analyse statistique des systèmes de prévision technologique de 62 entreprises .....	288
111.2.5. Intégration de la planification et de la prévision technologique et ré-orientation vers les fonctions .....	292
111.2.6. Les objectifs de l'entreprise et la motivation .....	299
111.2.7. Calcul très approximatif des dépenses consacrées par l'industrie à la prévision technologique .....	300
<i>Chapitre 111.3</i>	
DOMAINE MILITAIRE .....	303
<i>Chapitre 111.4</i>	
L'ÉCHELON NATIONAL .....	309
111.4.1. Planification nationale orientée vers les fonctions .....	309
111.4.2. Autres tentatives .....	312
111.4.3. Le rôle des associations professionnelles .....	314
<i>Chapitre 111.5</i>	
ORGANISATIONS INTERNATIONALES .....	317
<i>Chapitre 111.6</i>	
« INSTITUTIONS-VICIES » .....	321
<b>ANNEXES</b>	
<b>4. TRAVAUX DE PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EFFECTUÉS EN DEHORS DU CADRE INDUSTRIEL ET IDENTIFIÉS LORS DE L'ENQUÊTE DE L'OCDE</b>	
<i>Annexe A.1.</i>	
INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'EXPERTS-CONSEILS .....	325
A.1.1. Abt Associates, Inc. ....	325
A.1.2. Battelle Memorial Institute .....	325
A.1.3. Bureau d'Informations et de Prévisions Économiques (BIPE) .....	326

A.1.4. Corplan Associates	326
A.1.5. The Diebold Group, Inc.	327
A.1.6. Hudson Institute	327
A.1.7. Arthur D. Little, Inc.	327
A.1.8. Département économique de McGraw-Hill	328
A.1.9. National Planning Association	328
A.1.10. The RAND Corporation	328
A.1.11. Resources for the Future, Inc.	329
A.1.12. Samson Science Corporation/Quantum Science Corporation	329
A.1.13. Société d'Etudes et de Documentation Economiques, Industrielles et Sociales (SÉDÉIS)	329
A.1.14. Stanford Research Institute	330
A.1.15. Studiengruppe fuer Systemforschung	331
A.1.16. System Development Corporation	331
A.1.17. TEMPO Center for Advanced Studies, General Electric Co.	331
A.1.18. Autres bureaux d'experts-conseils	332

#### Annexe A.2

PRÉVISIONS EFFECTUÉES DANS LE CADRE MILITAIRE	332
A.2.1. France	332
A.2.2. Suède	333
A.2.3. Royaume-Uni	334
A.2.4. États-Unis	335
A.2.5. Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN)	341

#### Annexe A.3

ÉCHELON NATIONAL	341
A.3.1. Autriche	341
A.3.2. Canada	341
A.3.3. République fédérale d'Allemagne	342
A.3.4. France	342
A.3.5. Israël	342
A.3.6. Italie	343
A.3.7. Pays-Bas	343
A.3.8. Suisse	344
A.3.9. Royaume-Uni	344
A.3.10. États-Unis	344

#### Annexe A.4

ORGANISATIONS INTERNATIONALES	347
A.4.1. Les trois communautés européennes	347
A.4.2. Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)	348
A.4.3. Travaux occasionnels d'autres organisations	349

#### Annexe A.5

ACTIVITÉS D'AVANT-GARDE DANS LE DOMAINE DES « INSTITUTIONS-VIGIES »	350
A.5.1. American Academy of Arts and Sciences	350
A.5.2. American Institute of Planners	350
A.5.3. Center for Culture and Technology, University of Toronto	350
A.5.4. The Center for the Study of Democratic Institutions	350
A.5.5. Centre International d'Études de Prospective	351
A.5.6. CIBA Foundation	351
A.5.7. Harvard University Program on Technology and Society	351
A.5.8. Institut für Zukunftsfragen	351
A.5.9. Mankind 2000	351
A.5.10. Parlement Suédois	351

A.5.11. État de Californie	352
A.5.12. World Future Society	352
A.5.13. World Resources Inventory	352
A.5.14. « Institutions-vigies » envisagées	352

### B. BIBLIOGRAPHIE COMMENTÉE

B.1. Science fondamentale et technique (généralités)	354
B.2. Invention, innovation et diffusion des techniques (généralités)	357
B.3. Technologie sociale (généralités)	363
B.4. Méthodes relatives à la prévision technologique	365
B.5. Organisation de la prévision technologique et de la planification dans l'industrie	381
B.6. Organisation de la planification et de la prévision technologiques en dehors du cadre industriel	386
B.7. Exactitude de la prévision technologique	388
B.8. Prévisions technologiques réelles : scénarios approfondis de l'avenir	390
B.9. Prévisions technologiques réelles : domaines particuliers importants	396
B.10. Prévisions technologiques réelles : objectifs et conséquences pour la nation et la société	406
B.11. Utopie et science-fiction	411
B.12. Coopération internationale et problèmes des économies en voie de développement	412
B.13. Publications périodiques	412
B.14. Bibliographie et liste des sources d'information	413
B.15. Index bibliographique des auteurs	415

### C. LISTE DES CONTACTS ÉTABLIS EN VUE DE LA RÉDACTION DE CE RAPPORT

C.1. Autriche	421
C.2. Belgique	421
C.3. Canada	421
C.4. République fédérale d'Allemagne	423
C.5. France	423
C.6. Israël	424
C.7. Italie	425
C.8. Luxembourg	425
C.9. Pays-Bas	426
C.10. Suède	426
C.11. Suisse	427
C.12. Royaume-Uni	427
C.13. États-Unis	429

Index des noms et des organismes cités	435
--	-----

ROBERT U. AYRES

L'édition originale en langue anglaise a été publiée par McGraw-Hill Book Company,  
Inc., New York, U.S.A., sous le titre :

*Technological forecasting and long-range planning*

Copyright : ©, 1969, by McGraw-Hill, inc.

## 2. Prévision technologique et planification à long terme

Introduction à l'édition française

par  
RAYMOND SAINT-PAUL

Traduit de l'anglais  
par  
PHILIPPE J. PICHAT

ÉDITIONS HOMMES ET TECHNIQUES

Traduction française : © 1972, Editions Hommes et Techniques.  
Imprimé en France

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction à l'édition française, par R. Saint-Paul</b> .....	9
<b>Préface</b> .....	11
<b>Glossaire</b> .....	13
<b>Chapitre premier : Introduction et historique</b> .....	19
Références .....	30
<b>Chapitre II : Les défauts de la prévision technologique</b> .....	33
Références .....	41
<b>Chapitre III : Epistémologie de la prévision</b> .....	43
Le changement technologique .....	43
Types de prévisions .....	47
Les projections exploratoires (les futurs possibles) .....	47
Les projections de buts .....	50
Les critères de validité .....	52
Références .....	55
<b>Chapitre IV : Le contexte : les dimensions du changement technologique</b> .....	57
Les facteurs intellectuels, philosophiques et culturels .....	59
Les facteurs politiques et internationaux .....	60
Les positions militaires et stratégiques .....	63
Macroéconomique .....	65
Microéconomique .....	68
Les communications et le « feedback » social .....	73
Diffusion technologique et innovation .....	78
Références .....	79
<b>Chapitre V : Analyse morphologique</b> .....	81
Analyse des possibilités fonctionnelles .....	81
Analyse morphologique des « mondes futurs » .....	92
Méthodes utilisant les réseaux .....	93
Références .....	99

<b>Chapitre VI : Extrapolation de tendances</b> .....	101
Lissage de courbes .....	101
Enveloppes, contraintes et échelles .....	105
L'inertie des courbes de tendances .....	113
Références .....	119
<b>Chapitre VII : Prévisions heuristiques</b> .....	121
Extrapolation de variables dépendantes .....	121
Projection de variables contraintes .....	123
Analogies, métaphores et modèles structuraux .....	124
Modèles phénoménologiques .....	129
Modèles opérationnels et simulation .....	137
Références .....	141
<b>Chapitre VIII : Les méthodes intuitives de prévision</b> .....	143
La prévision par des experts .....	143
Les interactions structurées de personne à personne .....	144
Les interactions structurées homme-technique .....	152
Références .....	156
<b>Chapitre IX : Politique et planification stratégique</b> .....	157
La planification en tant que prévision téléologique ou normative ..	157
Les méthodes de planification politique .....	161
Les méthodes de planification stratégique .....	164
L'analyse coût-efficacité .....	171
Le système de planification et de programmation budgétaire (P.P.B.S.) .....	173
Planification orientée par la demande .....	175
Références .....	177
<b>Chapitre X : La planification au niveau tactique ou au niveau opérationnel</b> .....	179
Mesures de l'utilité .....	179
L'analyse des opérations et l'analyse des systèmes .....	185
Les erreurs de prévision et la boucle de planification .....	190
Références .....	193
<b>Chapitre XI : Le planning des recherches futures</b> .....	195
La recherche pure (non dirigée) et la recherche appliquée (dirigée) ..	195
Mesures de valeur .....	198
Méthodes systématiques pour planifier la recherche de base .....	202
Recherche scientifique se rattachant aux objectifs technologiques ..	208
Références .....	214

**Raymond SAINT-PAUL**

*Docteur ès sciences économiques, Docteur en droit  
Professeur au Conservatoire national des arts et métiers*

**Pierre-Frédéric TENIÈRE-BUCHOT**

*Ingénieur des Arts et Manufactures, Docteur en économie appliquée*

### 3. **Innovation et évaluation technologiques**

**Sélection des projets  
Méthodes de prévision**

*Préface de M. Paul GUERIN, Directeur du Conservatoire national  
des arts et métiers*

*Avant-propos de M. R.-M. DOUMENC, Président de l'Association nationale  
de la recherche technique*

*Dessin de ROUXEL*

## Sommaire

<i>Préface</i> . . . . .	13
<i>Avant-propos</i> .. . . .	15
<b>CHAPITRE 1. — CARACTERISTIQUES DE L'INVESTISSEMENT EN R.D. VUE GENERALE SUR LES METHODES DE GESTION DE LA R.D. ET DE L'INNOVATION</b> .. . .	17
<i>Les caractéristiques de l'investissement en R.D.</i> . . . . .	19
<i>Les méthodes de gestion de la R.D. et de l'innovation.</i>	24
<i>Typologie sommaire</i> . . . . .	25
<b>CHAPITRE 2. — DETERMINATION DE L'ENVELOPPE-RECHERCHE ET EVALUATION TECHNOLOGIQUE DU SYSTEME DE LA R.D. DANS L'ENTREPRISE</b> .. . .	29
<i>L'enveloppe-recherche</i> .. . . .	31
Les méthodes empiriques .. . . .	32
Les méthodes « formalisées » .. . . .	37
<i>Evaluation technologique du système de la R.D. dans l'entreprise</i> .. . . .	41
a) Une première présentation de l'évaluation technologique .. . . .	41
b) L'évaluation technologique dans son acception industrielle et humaine .. . . .	43

© Entreprise Moderne d'Édition, Paris, 1974.

I.S.B.N. : 7.7044.0491.7.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

c) L'évaluation technologique en tant qu'analyse du système « Recherche et Développement » .. .. .	46
— De la prévision à la sélection .. .. .	47
— Le plan à long terme .. .. .	48
— De la sélection à la production .. .. .	49
— Le bouclage du système de la R.D. .. .. .	50
— La modélisation .. .. .	52
— La gestion de la R.D. élément politique de la conduite des entreprises .. .. .	52

## PREMIERE PARTIE

### EVALUATION ET SELECTION DES PROJETS DE RECHERCHE ET DES INNOVATIONS

CHAPITRE 3. — ELABORATION DES LISTES DE PROJETS ET DE CRITERES .. .. .	59
<i>La liste des projets</i> .. .. .	60
<i>La liste des critères de jugement</i> .. .. .	61
<i>La collecte des données statistiques</i> .. .. .	63

#### CHAPITRE 4. — LES METHODES EMPIRIQUES

I. — Les méthodes de sélection utilisant des ratios et des indices de performance .. .. .	65
---	----

#### CHAPITRE 5. — LES METHODES EMPIRIQUES

II. — Les méthodes de sélection issues du calcul d'actualisation ..	71
<i>LES PRINCIPALES METHODES DE SELECTION ISSUES DU CALCUL D'ACTUALISATION</i> .. .. .	75
<i>Méthode DISMAN</i> .. .. .	75
<i>Méthode HESS</i> .. .. .	75
<i>Méthode DEAN et SENGUPTA</i> .. .. .	76
<i>Méthode DAUDE</i> .. .. .	77
<i>LES TECHNIQUES D'ANALYSE COUT-VALEUR (OU COUT BENEFICE)</i> .. .. .	79

#### CHAPITRE 6. — LES METHODES EMPIRIQUES

III. — Les méthodes matricielles .. .. .	83
a) <i>Les matrices d'analyse (QUEST, MACRO)</i> .. .. .	84
b) <i>Les matrices de décision (PROFILE)</i> .. .. .	91

#### CHAPITRE 7. — LES METHODES MULTICRITERES .. .. .

1. <i>La méthode MOTTLEY-NEWTON</i> .. .. .	96
2. <i>La méthode des déclassements comparés (D.C.)</i> .. .. .	97
a) <i>L'approche analytique</i> .. .. .	97
b) <i>La procédure de sélection</i> .. .. .	99
c) <i>L'aspect négatif de la méthode des D.C.</i> .. .. .	103
d) <i>L'aspect positif de la méthode des D.C.</i> .. .. .	104
3. <i>La méthode MARSAN-ELECTRE</i> .. .. .	105
a) <i>La phase d'exploration : MARSAN</i> .. .. .	106
b) <i>La phase de sélection : ELECTRE</i> .. .. .	109
c) <i>Arbitraire et mise en œuvre de MARSAN-ELECTRE</i> ..	119
4. <i>Application de la théorie des ensembles flous à la sélection des projets</i> .. .. .	121

#### CHAPITRE 8. — LES ARBRES DE PERTINENCE .. .. .

1. <i>La modélisation, première phase du travail</i> .. .. .	131
2. <i>La notation, deuxième phase du travail</i> .. .. .	135
2.1. <i>Le système de notation PATTERN</i> .. .. .	136
a) <i>Calcul de la pertinence des nœuds</i> .. .. .	136
b) <i>Calcul de la pertinence globale</i> .. .. .	139
2.2. <i>Le système de notation C.P.E.</i> .. .. .	141
a) <i>Pertinence des nœuds rattachés à un même élément supérieur</i> .. .. .	141
b) <i>Pertinence des éléments d'un même niveau</i> ..	144
c) <i>Pertinence globale des chemins</i> .. .. .	145

<b>CHAPITRE 9. — L'ANALYSE DES SYSTEMES ET L'EVALUATION TECHNOLOGIQUE</b> .. .. .	149
<b>ORIGINALITE ET PERSPECTIVE DE LA THEORIE DES SYSTEMES</b> .. .. .	152
<i>Une synthèse</i> .. .. .	152
<i>Le mélange des critères et des projets</i> .. .. .	154
<i>L'étude des conflits</i> .. .. .	155
<i>Une perspective</i> .. .. .	156
<b>CHAPITRE 10. — LES TECHNIQUES D'ANALYSE DE SYSTEMES</b>	
<b>I. — L'analyse factorielle des correspondances</b> .. .. .	158
<b>UNE TYPOLOGIE DES VILLES FRANÇAISES PAR L'ANALYSE FACTORIELLE</b> .. .. .	162
<i>L'analyse en composantes principales</i> .. .. .	163
<i>L'analyse en facteurs communs et spécifiques</i> .. .. .	165
<i>Le classement et le regroupement des villes</i> .. .. .	166
<b>REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES</b> .. .. .	167
<b>CHAPITRE 11. — LES TECHNIQUES D'ANALYSE DE SYSTEMES</b>	
<b>II. — L'analyse structurelle prévisionnelle</b> .. .. .	169
1. <i>Le recensement des variables</i> .. .. .	170
2. <i>La matrice des relations logiques</i> .. .. .	171
3. <i>La matrice des relations fondamentales</i> .. .. .	175
4. <i>La synthèse des actions et orientations décisionnelles</i> .. .. .	178
5. <i>Le graphe associé au système</i> .. .. .	179
6. <i>La quantification</i> .. .. .	182
7. <i>La simulation sur ordinateur</i> .. .. .	185
<b>CHAPITRE 12. — LES TECHNIQUES D'ANALYSE DE SYSTEMES</b>	
<b>III. — La dynamique des systèmes</b> .. .. .	188
<i>Formulation des systèmes dynamiques</i> .. .. .	191
<i>Les tentatives de modèles mondiaux</i> .. .. .	196

## DEUXIEME PARTIE

## METHODES DE PREVISION TECHNOLOGIQUE

<b>CHAPITRE 13. — PRESENTATION DES METHODES DE PREVISION TECHNOLOGIQUE</b> .. .. .	201
<i>Le domaine d'application de la prévision technologique</i> .. .. .	203
<i>Les différentes sortes de prévision technologique</i> .. .. .	205
a) <i>Les orientations de la prévision</i> .. .. .	205
b) <i>Les approches intellectuelles de la prévision</i> .. .. .	210
c) <i>Les logiques utilisées pour la prévision</i> .. .. .	210
d) <i>Continuité des prévisions</i> .. .. .	211
<i>Typologie sommaire des méthodes de prévision technologique</i> .. .. .	214
<b>CHAPITRE 14. — L'EXTRAPOLATION DE LA TENDANCE ET LES COURBES-ENVELOPPES</b> .. .. .	215
<i>Le bon usage de la théorie</i> .. .. .	216
<i>L'invariabilité du décor environnant</i> .. .. .	219
<i>Les deux approches de l'extrapolation de la tendance : les courbes-enveloppes</i> .. .. .	220
a) <i>Les contraintes absolues</i> .. .. .	221
b) <i>Les contraintes relatives</i> .. .. .	222
c) <i>Les contraintes économiques</i> .. .. .	223
<i>L'observation des variables extérieures</i> .. .. .	224
<b>CHAPITRE 15. — LES COURBES EN S ET LES MODELES ANALOGIQUES</b> .. .. .	226
<i>Conjecture, analogie, homologie, quasi-modèle</i> .. .. .	227
<i>Les modèles empiriques</i> .. .. .	228
1. <i>Analyse des événements précurseurs</i> .. .. .	228
2. <i>Modèles corrélés</i> .. .. .	229
3. <i>Courbe d'apprentissage</i> .. .. .	230
<i>Les modèles analogiques</i> .. .. .	231
<i>Les courbes en S</i> .. .. .	234
<i>Les modèles phénoménologiques différentiels</i> .. .. .	236
a) <i>Modèle de Ridenour</i> .. .. .	236
b) <i>Modèle de Hartman</i> .. .. .	237
c) <i>Modèle d'Isenson</i> .. .. .	238

<b>CHAPITRE 16. — LES METHODES PROBABILISTES DE PREVISION</b> .. .. .	240
<i>La prévision probabiliste</i> .. .. .	241
<i>La prévision incertaine</i> .. .. .	243
<b>CHAPITRE 17. — LES SCENARIOS</b> .. .. .	246
<i>Les deux types d'analyse utilisés dans les scénarios</i> .. .. .	247
<i>Les hypothèses de base et leur modification</i> .. .. .	248
<i>Les scénarios et l'objectivité</i> .. .. .	249
<i>Une technique complémentaire aux scénarios : les jeux prospectifs</i> .. .. .	252
<b>CHAPITRE 18. — LA METHODE DELPHI</b> .. .. .	254
<i>Description de la méthode</i> .. .. .	254
1. La constitution d'un groupe d'experts .. .. .	254
2. L'élaboration d'un questionnaire .. .. .	256
3. Le déroulement pratique et l'exploitation d'un DELPHI .. .. .	257
<i>Variation de l'espace interquartile en fonction de la valeur de la médiane et effet de mode dans la méthode DELPHI</i> .. .. .	266
<i>Intégration de la méthode DELPHI dans le plan à long terme</i> .. .. .	269
a) Les techniques PROBE et SOON .. .. .	269
b) La technique SEER .. .. .	270
<b>CHAPITRE 19. — LA METHODE DES MATRICES D'INTERDEPENDANCE « CROSS IMPACT MATRIX »</b> .. .. .	271
<i>La simulation et les facteurs de sensibilité</i> .. .. .	276
<i>Les matrices de non-occurrence</i> .. .. .	281
<b>CHAPITRE 20. — L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE</b> .. .. .	285
<i>La technique de l'analyse morphologique</i> .. .. .	286

<i>Les difficultés de mise en œuvre de l'analyse morphologique</i> .. .. .	290
Le problème de l'exhaustivité .. .. .	292
Les domaines d'application de l'analyse morphologique .. .. .	293

### TROISIEME PARTIE

#### EN PRATIQUE...

<b>CHAPITRE 21. — PRINCIPES ET RECOMMANDATIONS D'APPLICATION</b> .. .. .	297
A. <i>Principes généraux et recommandations techniques</i> .. .. .	297
B. <i>L'apport véritable de ces méthodes</i> .. .. .	305
<b>CHAPITRE 22. — LES AIDES PUBLIQUES A L'INNOVATION</b> .. .. .	307
<b>DOCUMENTATION</b> .. .. .	315

L'histoire économique récente est marquée par de fréquentes erreurs de prévisions ; la répétition de ces erreurs et notamment l'absence de prévision des crises économiques expliquent la crise de la prévision et l'essor de la prospective.

Les praticiens des entreprises et des administrations, les universitaires et plus généralement tous ceux qui doivent sinon établir des prévisions du moins s'en servir ou y réfléchir sont amenés un jour ou l'autre à se poser les questions suivantes :

- quelles sont les causes des erreurs de prévision ?
- que peut-on attendre des modèles économétriques ?
- en quoi la prospective diffère-t-elle de la prévision ?
- où en sont les nouvelles méthodes prospectives (analyse structurelle, impacts croisés, scénarios) et quel est leur apport ?
- une synthèse est-elle possible entre les approches « littéraire » et « formalisée » ?
- que faut-il penser des modèles mondiaux ?
- finalement quel est l'avenir de la prospective ?

A toutes ces questions ce livre apporte des réponses d'autant plus pertinentes qu'elles sont le fruit d'une longue pratique des études prospectives dans des domaines aussi divers que l'énergie, le transport, l'agriculture, les relations internationales, etc.

Au-delà de la réflexion théorique et de l'exposé méthodologique, cet ouvrage comprend aussi des études de cas et propose notamment une nouvelle lecture rétrospective et prospective de la crise énergétique à la lumière de la stratégie des acteurs en présence.

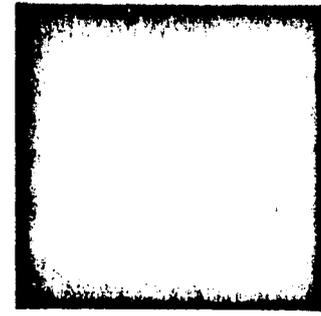
Docteur d'Etat ès Sciences économiques, docteur en Sciences, Michel Godet est ingénieur en chef responsable de SEMA-PROSPECTIVE au sein du groupe METRA International.

godet / crise de la prévision, essor de la prospective

# 4. crise de la prévision essor de la prospective

## exemples et méthodes

**michel godet**



**puf**  
**l'économiste**

SOMMAIRE

PRÉFACE par J. LESOURNE ..... 9

INTRODUCTION. — *La prospective : une création de l'avenir par l'homme* ..... 13

1. Les étapes de la prévision ..... 13

1.1. La prévision : une notion contingente ..... 14

1.2. La prévision nécessaire ..... 15

1.3. La prévision insuffisante ..... 17

2. La prospective, une création de l'avenir ..... 19

PREMIÈRE PARTIE

POUR UNE PRÉVISION GLOBALE  
QUALITATIVE ET MULTIPLE  
EN AVENIR INCERTAIN :  
LA PROSPECTIVE

CHAPITRE PREMIER. — *Critique de la prévision classique* . 27

1.1. La prévision et ses erreurs ..... 27

1.2. Les causes d'erreurs valables pour toute prévision . 29

1.2.1. L'accélération du changement ..... 29

1.2.2. L'effet d'annonce ..... 30

1.2.3. L'inexactitude des données ..... 31

1.2.4. Les simplifications arbitraires ..... 32

1.2.5. L'erreur d'interprétation ..... 33

1.2.6. Les obstacles épistémologiques ..... 35

1.3. Les causes d'erreurs spécifiques à la prévision classique ..... 36

1.3.1. Vision parcellaire ..... 36

1.3.2. Variables quantitatives, objectives et connues ..... 37

6 CRISE DE LA PRÉVISION. ESSOR DE LA PROSPECTIVE

1.3.3. Relations statiques ..... 38

1.3.4. Le passé explique l'avenir ..... 39

1.3.5. Avenir unique et certain ..... 40

1.3.6. Modèles déterministes et quantitatifs ... 41

Conclusion ..... 43

CHAPITRE II. — *La prospective des systèmes : une prévision globale qualitative et multiple* ..... 44

2.1. Les caractéristiques de la prospective ..... 44

2.1.1. Vision globale ..... 44

2.1.2. Variables qualitatives, quantifiables ou non, subjectives, connues ou cachées ..... 45

2.1.3. Relations dynamiques ..... 46

2.1.4. Avenir multiple et incertain ..... 47

2.1.5. L'avenir, raison d'être du présent ..... 48

2.1.6. Analyse intentionnelle ..... 49

2.1.7. Conclusion ..... 50

2.2. La prospective des systèmes ..... 50

2.2.1. L'objet de la prospective ..... 51

2.2.2. Finalité et limites de la prospective ..... 51

2.2.3. Les systèmes ..... 53

2.3. Conclusions ..... 59

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODE DES SCÉNARIOS

CHAPITRE PREMIER. — *L'analyse structurelle : une vision globale et qualitative* ..... 63

1.1. Appréhension du système ..... 63

1.2. Compréhension ..... 64

1.2.1. Recensement des variables ..... 64

1.2.2. Le repérage des relations et la matrice d'analyse structurelle ..... 65

1.3. Explication ..... 68

1.3.1. Etude des effets directs ..... 68

1.3.2. Etude des effets indirects ..... 69

Conclusion ..... 81

CHAPITRE II. — <i>Les scénarios : une vision multiple en avenir incertain</i> .....	83
2.1. Définition des concepts .....	84
2.2. L'approche « littéraire » .....	89
2.2.1. La construction de la base .....	90
2.2.2. L'élaboration de scénarios .....	93
2.2.3. Synthèse des scénarios et stratégie de développement .....	95
2.2.4. Conclusion .....	96
2.3. L'approche formalisée .....	96
2.3.1. L'objet des méthodes d'impacts croisés ..	96
2.3.2. Bref historique .....	98
2.3.3. Les développements récents .....	99
2.3.4. Méthode SMIC .....	101
2.3.5. La méthode SMIC dans sa version 1976 ....	105
2.4. Conclusion (Tableau comparatif des différentes méthodes d'impacts croisés) .....	107
CHAPITRE III. — <i>La méthode des scénarios : une approche intégrée</i> .....	110
Introduction. — Prévision et avenir incertain .....	110
3.1. Construction de la base .....	113
3.2. Elaboration de scénarios .....	115
3.3. Aide à la décision .....	117
Conclusion .....	120

## TROISIÈME PARTIE

## CAS CONCRETS DE PROSPECTIVE

CHAPITRE PREMIER. — <i>Les scénarios du transport aérien en région parisienne</i> .....	123
1.1. Les scénarios contrastés .....	123
1.1.1. Scénario pessimiste .....	124
1.1.2. Scénario optimiste .....	129
1.2. Le jeu des acteurs à l'horizon 1983 : SMIC d'orientation .....	134

## 8 CRISE DE LA PRÉVISION, ESSOR DE LA PROSPECTIVE

1.2.1. Stratégie des acteurs .....	135
1.2.2. Liste des événements caractérisant la situation en 1983 .....	136
1.2.3. Les données brutes .....	137
1.2.4. Les résultats .....	138
1.2.5. Commentaires .....	139
1.2.6. Probabilités des scénarios .....	140
1.2.7. L'analyse de sensibilité .....	142
CHAPITRE II. — <i>Rétrospective et prospective énergétique : une lecture de la crise</i> .....	144
2.1. Rétrospective des années 20 aux années 1970 ..	144
2.1.1. Les crises de 1928 et 1956 : conséquences jusqu'en 1965 .....	145
2.1.2. Le jeu des acteurs pendant la période 1965-1973 .....	148
2.1.3. Les années de crise 1973-1975 .....	151
2.2. Situation actuelle et projets des acteurs .....	154
2.2.1. Le projet occidental .....	155
2.2.2. Le projet de l'OPEP .....	160
2.2.3. Conclusion .....	163
2.3. Eléments de prospective énergétique .....	165
2.3.1. Les hypothèses géo-énergétiques fondamentales .....	166
2.3.2. Résultats de l'enquête .....	169
2.3.3. Le traitement de l'information .....	172
2.3.4. Le choix des scénarios de référence et contrastés .....	173
2.3.5. Conclusion .....	175
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	176
1. Synthèse des résultats .....	176
2. Complémentarité entre prospective et prévision ..	178
3. Les nouvelles voies de la prévision mathématique : les travaux de Prigogine et de R. Thom .....	179
4. L'avenir de la prospective .....	182
BIBLIOGRAPHIE .....	185