

futuribles

analyse et prospective

NUMÉRO 218

MARS 1997

Prospective et prophétie 3
Hugues de Jouvénel

*Les plantes du futur. Les organismes
génétiquement modifiés* 5
Dominique Bodin-Rodier

*Le « métamanagement » ou les nouvelles
dimensions du management
des grands groupes* 21
Michel Drancourt

*Méthode Delphi : une étude de cas
sur les technologies du futur* 33-53
Jean-Alain Héraud, Francis Munier, Kostas Nanopoulos

*France : les industries de défense
au pied du mur* 55
Pierre Bonnaure

FUTURS D'ANTAN

Sur l'art de prophétiser 63
Gilbert Keith Chesterton

ACTUALITÉS PROSPECTIVES 67

Sur un mythe à la mode : la fin du travail. Les familles « étendues ». Cumul des risques sociaux et médicaux. Europe : l'Est se rapproche politiquement de l'Ouest. Misère de la justice ou misère du politique ? La reconnaissance des homosexuels dans l'entreprise. L'écluse des idées. Armées de la paix.

BIBLIOGRAPHIE

Analyses critiques 77
Comptes rendus 93



9 770337 307004



00218

70 F

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

Jean-Alain Héraud, Francis Munier ¹,
Kostas Nanopoulos ²

On a assisté, ces dernières années, à un développement important des études prospectives sur les « technologies du futur », également appelées « technologies critiques » résultant sans doute, d'une part de la rapidité du progrès technologique et de ses très nombreuses composantes, d'autre part de la nécessité d'opérer des arbitrages, notamment en terme d'investissement de RDT en fonction des effets qui pouvaient en être attendus.

À l'instar du Japon, qui, depuis 1971, réalise tous les cinq ans une enquête Delphi sur lesdites technologies du futur, l'Allemagne d'abord, la France ensuite, ont entrepris plus récemment de faire de même, d'ailleurs en utilisant une méthode (le Delphi) et un questionnaire à peu près identiques.

L'article ci-dessous, prenant appui sur l'enquête réalisée en France en 1994 auprès de plus de 1 000 experts, décrit d'abord la méthode en la situant dans le contexte des enquêtes Delphi sur les technologies du futur réalisées dans d'autres pays.

Les auteurs présentent ensuite quelques-uns des résultats de cette enquête française de 1994 et montrent l'usage qui peut en être fait en prospective et dans l'élaboration des politiques publiques de recherche. Enfin, ils montrent comment, grâce à une méthode originale de segmentation, les résultats de l'enquête peuvent être plus finement exploités que d'ordinaire.

H.J.

1. Bureau d'économie Théorique et Appliquée (BETA), URA CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), Université Louis Pasteur, Strasbourg I.

2. CESAG-IECS, Université Robert Schuman, Strasbourg III.

Les grandes opérations publiques de prospective technologique poursuivent deux objectifs plutôt contradictoires :

— couvrir un champ très large puisque la démarche concerne *a priori* tout le potentiel scientifique et technologique d'une nation ;

— déboucher sur des représentations systémiques et cohérentes de futurs possibles, éventuellement sur des scénarios alternatifs, ce qui implique, pour des raisons évidentes de maîtrise de la complexité, de concentrer l'analyse sur quelques sujets seulement.

En fait, on observe une assez grande variété d'exercices. À un extrême, s'appliquent des méthodes qui « brassent large » comme les enquêtes Delphi, donnant des résultats agrégés d'opinions d'experts en sacrifiant en grande partie la richesse des visions individuelles (liaisons logiques entre les différents sujets ; contextualité des réponses d'experts, en particulier en fonction de leur profil ou de leur opinion sur d'autres champs, etc.). À l'autre extrême, se placent les comités d'experts rendant des rapports circonstanciés sur des sujets bien circonscrits. La question se pose de savoir si la première catégorie de travaux peut être exploitée d'une manière moins agrégée, au moins pour en tirer des typologies d'opinions, et, si possible, pour servir de base à des réflexions ultérieures plus qualitatives et circonstanciées, voire des démarches relevant de la deuxième catégorie.

L'objet de l'article est de proposer une analyse originale, reposant sur une méthode de segmentation statistique, des données brutes d'une enquête auprès d'un grand nombre d'experts. Une telle méthode permet de centrer l'analyse et d'éviter ainsi les écueils liés à l'agrégation d'opinions individuelles très différentes, en décrivant des visions différentes du futur et en repérant d'éventuels scénarios contrastés. La méthode est appliquée ici aux résultats de l'enquête nationale sur les technologies du futur³.

L'enquête, de type Delphi, a pour objet de recueillir les avis d'experts des secteurs publics et industriels sur les évolutions de la technologie et ses ruptures dans les trente années à venir. Elle reproduit en France une expérience menée auparavant au Japon puis en Allemagne, d'où l'intérêt complémentaire d'une comparaison internationale des opinions d'experts.

Après un rappel historique de l'évolution de la méthode Delphi comme l'une des approches possibles de la prospective, en précisant les objectifs généraux de l'enquête étudiée ici, nous présenterons quelques résultats globaux. Nous verrons ensuite deux exemples d'application de la méthode de segmentation.

3. L'article se réfère à l'enquête réalisée au cours de l'année 1994 à l'initiative du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, projet mené avec le concours de la SOFRES pour la réalisation matérielle et la saisie informatique initiale, et celui du laboratoire universitaire BETA pour l'exploitation et l'interprétation des réponses. Voir BETA, « Enquête sur les technologies du futur par la méthode Delphi », Rapport intermédiaire avril 1995, rapport final mai 1995.

Les enquêtes Delphi de prospective technologique

Les premières expériences de prospective technologique, et en particulier la création de la méthode Delphi, remontent aux années 50 et 60 aux États-Unis, appliquées surtout dans le contexte des technologies liées à la défense nationale. L'approche « Delphi » a été développée initialement par la Rand Corporation⁴. Mise au point par Olaf Helmer et ses collègues comme une série organisée de *brainstormings* où l'on tente d'éviter les interférences psychologiques qui réduisent la valeur des opinions individuelles émises au sein de groupes d'experts, la méthode a, par la suite, connu une très large diffusion, en particulier dans les grandes entreprises. Le but de l'exercice est de recueillir non seulement l'opinion brute des experts sur un certain nombre de questions concernant l'avenir, mais également de faire réagir chaque expert à l'opinion générale de ses pairs.

La méthode

La méthode Delphi est une méthode de type « subjectif »⁵ dans la mesure où elle fait appel à l'intuition et aux connaissances des experts. Ses éléments fondamentaux sont l'anonymat, la rétroaction et la simultanéité des données⁶.

Dans son principe fondamental, une enquête Delphi consiste à interroger les experts, dans un premier temps de manière individuelle pour éviter les effets d'influence, sur un ensemble de sujets. Ceux-ci portent, dans le cas de l'enquête nationale que nous analysons ici, sur la réalisation de découvertes

4. GORDON T.J., HELMER Olaf, « Report on a Long Range Forecasting Study », The Rand Corporation : Santa Monica, Cal. 1964 (une traduction a été publiée dans la revue *Futuribles* n° 88, mars 1965).

5. On distingue deux types de méthodes. Les premières sont dites « subjectives » ou intuitives et reposent essentiellement sur les sondages, en ayant recours à des *brainstormings*. Les autres sont plus « objectives » car elles sont de type projectif, en se fondant notamment sur l'extrapolation de tendances (Voir SCHMÉDER Geneviève, « Prévision technologique, rétrospective critique », *Futuribles* n° 124, septembre 1988.). Les méthodes dites « objectives » mettent plutôt l'accent sur la continuité de l'évolution technologique (méthode des courbes-enveloppe, modèles analogiques), d'autres plutôt sur la notion de discontinuité de l'évolution technologique (analyse morphologique). Leur caractère objectif s'explique par le fait qu'elles obéissent à des règles logiques, plus ou moins formalisées, ne laissant en principe aucune place à la subjectivité. Il demeure néanmoins des limites à ce genre d'approches, notamment dans la mise en œuvre, souvent ardue et délicate.

6. DUCOS Gilbert, « Delphi et analyses d'interactions », *Futuribles*, n° 71, novembre 1983.

capitales, d'innovations techniques ou sur la diffusion massive d'une technologie. À chaque sujet correspond un ensemble de questions comme le degré d'importance accordée, la date de réalisation probable, la nature des obstacles, la nécessité d'une coopération internationale, etc. Les résultats de cette première phase (premier tour) sont communiqués aux experts dans une seconde phase afin de leur donner l'occasion de modifier leur opinion initiale ou, au contraire, de la maintenir en motivant leur position.

Comme on peut le constater, une approche de type Delphi autorise une consultation *large* (par enquête postale et relance téléphonique⁷) et *indépendante* dans le premier tour (on évite les effets d'influence qui pourraient apparaître au sein d'un groupe d'experts réunis physiquement dans un même lieu). Le second tour au contraire tend à rapprocher les points de vue dans la mesure où chaque expert a la possibilité de revoir son jugement en prenant connaissance de l'opinion moyenne — mais anonyme — de l'ensemble des experts consultés.

Les spécialistes de la prospective, en particulier les Français — de Gaston Berger à Michel Godet⁸, et dans l'environnement de l'association Futuribles International — ont développé et défendu d'autres approches, plus orientées vers la construction de *scénarios*. Il faut souligner que la tradition française tend à opposer très nettement la notion de prospective à celle de prévision⁹. La *prévision* permet l'anticipation d'un futur possible. Pour reprendre l'expression de M. Godet, elle correspond à une estimation assortie d'un certain degré de confiance. Elle cadre plutôt avec une approche sectorielle, en privilégiant le quantifiable et le principe de continuité¹⁰. La *prospective* dresse plusieurs futurs selon la dialectique suivante : « ce que nous aurons dépend des choix d'aujourd'hui ». La démarche privilégie une approche globale en conciliant quantitatif et qualitatif — le qualitatif introduit un principe de rupture¹¹.

Le fait que la méthode Delphi ne s'axe pas *a priori* sur la recherche de scénarios contrastés — et soit souvent utilisée pour faire émerger des consen-

7. Dans le cas de l'enquête française, 3 388 experts ont été contactés et ont reçu l'un des 15 questionnaires thématiques correspondant à leur domaine technologique d'expertise. Environ un tiers ont donné des réponses exploitables. Chaque questionnaire comprend une centaine de sujets (énoncés d'innovations) que les experts doivent commenter en répondant à 7 questions (importance, date de réalisation, principaux obstacles, etc.).

8. BERGER Gaston. *Étapes de la prospective*. Paris : PUF, 1967 ; GODET Michel. « Prospective, prévision et planification : pluralisme et complémentarité », *Futuribles*, n° 71, novembre 1983. GODET Michel. « La prospective : une indiscipline intellectuelle », *Économie Appliquée*, n° 4, 1991. GODET Michel. *De l'anticipation à l'action*. Paris : Dunod, 1991.

9. Il n'existe d'ailleurs pas d'équivalent parfait du terme « prospective » en langue anglaise, le plus proche étant *foresighting*.

10. JOUVENEL Hugues (de). « Sur la démarche prospective : un bref guide méthodologique », *Futuribles*, n° 179, septembre 1993.

11. JOUVENEL Hugues (de). *Op. cit.*

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

sus sur des tendances lourdes — lui donne une image un peu négative dans le cadre de l'approche de la *prospective* au sens le plus qualitatif et systématique du terme. Mais nous voulons montrer en quoi, à condition de l'insérer dans un dispositif plus vaste, elle peut remplir une fonction essentielle. Comme le souligne M. Godet ¹², il est essentiel de retenir le pluralisme et les complémentarités des méthodes qui offrent pour chaque problème d'anticipation de l'avenir une réponse méthodologique appropriée. Il n'y a pas d'incompatibilité entre la méthode Delphi et celle des scénarios. Nous avançons même l'idée que l'une devrait constituer la première étape de l'autre dans le cas qui nous intéresse ici, à savoir la prospective technologique nationale.

En tant que telle, à travers ses deux étapes, l'enquête Delphi préserve la possibilité de recueillir des opinions variées, d'observer des points de vue minoritaires intéressants à prendre en compte, tout en invitant ensuite à la définition de consensus. Après ce premier repérage, la voie est ouverte à des réunions d'experts (de « méta-experts » devrait-on dire, puisqu'ils fonderont leur réflexion sur les résultats d'un premier sondage) pour bâtir des scénarios autour des sujets apparaissant comme les plus importants et/ou les moins consensuels d'après l'enquête Delphi.

L'enquête nationale sur les technologies du futur a reçu un accueil plutôt favorable auprès des experts contactés en France ¹³, mais elle a aussi été largement critiquée. Certaines critiques sont parfaitement fondées et nous en reparlerons plus loin. Mais les réticences significatives de principe de la part du monde académique ne se retrouvent pas de manière identique du côté des experts industriels. Cela s'explique par le fait que les grandes entreprises connaissent déjà la méthode en interne et savent l'apprécier à sa juste valeur (ce qui les retient éventuellement de répondre à l'enquête nationale est d'un autre ordre, par exemple stratégique). L'ambiguïté du statut de la méthode Delphi tient à ce qu'elle a surtout été utilisée dans les organisations (grandes entreprises ou administrations) pour mobiliser les acteurs internes autour de scénarios futurs à la fois possibles et souhaitables. La production de ces « *futuribles* » est, par essence, une forme de construction de consensus. Dans le cas que nous décrivons ici, la méthode est appliquée dans le sens d'un sondage d'opinion auprès d'experts au niveau public le plus large. L'objectif immédiat est donc plutôt de faire le point sur les visions possibles de l'avenir sans rechercher des consensus ou gérer des désaccords, mais simplement en les constatant.

12. GODET Michel. « Prospective, prévision et planification ». *Op. cit.*

13. On a obtenu en France 33 % de taux de réponse à l'issue du deuxième tour, contre 13 % en Allemagne, soit au total 1 122 questionnaires exploitables contre 804. Au Japon, les résultats sont meilleurs, mais cette enquête y est une véritable institution.

L'expérience récente des grandes enquêtes Delphi publiques sur les technologies du futur

C'est à la fin des années 60 que le Japon a décidé d'utiliser cet outil de prospective pour éclairer les choix de politique technologique de la nation. L'expérience fut jugée suffisamment fructueuse pour justifier sa reproduction approximativement tous les cinq ans jusqu'à la dernière qui a eu lieu en 1991. L'organisme chargé au Japon de la réalisation de ces enquêtes est le NISTEP, un centre de recherche dépendant de l'Agence Nationale de la Science et de la Technologie ¹⁴.

Les technologies du futur vues du Japon

La Science and Technology Agency du National Institute of Science and Technology Policy japonais a l'immense mérite de réaliser depuis 1971 de cinq ans en cinq ans, une enquête auprès de 3 000 experts travaillant au sein d'entreprises, d'universités, d'agences gouvernementales et de centres de recherches pour essayer de discerner quelles sont les avancées technologiques prévisibles à l'horizon de trente ans.

Cette enquête très vaste, puisqu'elle couvre plus de 1 000 sujets regroupés en 16 grands domaines allant des matériaux nouveaux à la médecine en passant par les développements de l'électronique, de la recherche spatiale et des ressources énergétiques, étant menée depuis plus de vingt ans, a fait preuve désormais d'une certaine validité puisque 28 % des prévisions ainsi élaborées se sont avérées rigoureusement exactes (par exemple s'agissant de la production d'insuline et d'autres molécules) et que près de 68 % desdites prévisions, établies voici vingt ans, n'apparaissent pas absurdes comparées à la réalité du développement technologique survenu depuis lors.

La dernière enquête de la Science and Technology Agency, dont les résultats ont été rendus publics en 1992, mérite donc

La boule de cristal des scientifiques

Année	Technique
1998	Substitut aux CFC
1999	Système de communication optique cohérent et important
2000	Puce informatique avec accès en 1 nanoseconde
2001	Système économique pour traiter les déchets urbains
2002	Puce informatique de 1 gigabit
2003	Technologie pour prévenir les émissions de NO _x - 100 % des emballages biodégradables
2004	Ordinateur hyper rapide (UHS)
2006	Traitement du Sida - Prévention éruption volcanique sur 2 à 3 j.
2007	Méthode efficace de prévention du cancer
2008	Technologie pour prévenir les émissions de CO ₂
2010	Compréhension des mécanismes liés à tous les types de cancers - Prévision des tremblements de terre de magnitude 7 - Robot-infirmière
2011	Prévention de la maladie d'Alzheimer
2013	Médicaments de prévention du cancer
2015	Traitement de la démence sénile après 2020 - Fusion nucléaire.

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

attention. Elle révèle que, selon les experts consultés, un substitut aux chlorofluocarbones détruisant la couche d'ozone devrait être mis au point d'ici à l'an 2000, horizon auquel un réseau mondial de communications optiques devrait également être mis en place. Les mêmes experts prévoient d'ici 2006 la mise au point d'un traitement efficace contre le Sida et d'ici 2010 le fait que nous aurons enfin compris les mécanismes déclenchant le cancer.

D'une manière générale, les experts portent un intérêt tout particulier au développement du progrès médical et aux technologies permettant de résoudre les problèmes d'environnement, qu'ils estiment particulièrement importants, et vis-à-vis desquels ils considèrent que des technologies alternatives efficaces devraient pouvoir être mises au point d'ici à 2003. Assez curieusement, parmi toutes les technologies nouvelles qui pourraient être

mises au point au cours des trente prochaines années, près de 80 % d'entre elles devraient être opérationnelles, selon lesdits experts, entre 2001 et 2010. Une perception optimiste du développement technologique qui ne doit toutefois pas nous faire oublier que régulièrement, au fil des diverses enquêtes, la date d'apparition des nouvelles technologies est reportée par rapport aux prévisions précédentes, en moyenne de quatre ans.

Comme nous l'avons déjà souvent souligné dans *futuribles*, les prévisions technologiques élaborées par les ingénieurs ont tendance à pêcher par optimisme, la mise au point des nouvelles technologies demandant en général plus de temps que ce qui était prévu et leur diffusion dans la société s'opérant à un rythme beaucoup plus lent en raison des obstacles notamment d'ordre économique, financier et social.

futuribles

En Allemagne, le BMFT (ministère fédéral de la Recherche et de la Technologie) a décidé, avec un décalage d'un an, de traduire et d'appliquer le cinquième Delphi japonais. C'est en collaboration avec le NISTEP que l'Institut Fraunhofer ISI de Karlsruhe a réalisé la transposition de cette enquête pour le compte du BMFT. Un rapport a été publié en août 1993 par ce ministère¹⁵. D'autres documents ont également été publiés, de manière conjointe, pour comparer les résultats de l'enquête dans les deux pays¹⁶.

C'est à titre expérimental qu'il a été décidé par le ministère français de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (DGRT-DRI) d'adapter cette même enquête au cas français, sans modification substantielle du contenu, afin d'assurer une comparaison possible avec les opinions japonaises et allemandes, malgré le décalage d'un an supplémentaire (enquête réalisée en 1994). L'utilisation de sujets initialement élaborés par des experts japonais a parfois été critiquée en France (plus qu'en Allemagne, d'ailleurs). On peut avancer le contre-argument qu'un test sur des experts français d'un corpus « exogène » de sujets de prospective présente au moins l'avantage de ne pas

15. BMFT. *Deutscher Delphi - Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik*. 1993.

16. ISI - NISTEP. « Outlook for Japanese and German Technology Forecast Surveys ». NISTEP Report, n° 33, avril 1994.

futuribles mars 1997

risquer de restreindre le champ étudié à une vision franco-française au moins en ce qui concerne la nature des sujets abordés. De plus, l'économie de moyens est certaine pour une opération de nature exploratoire (nouvelle en France). Mais l'avantage du choix adopté nous paraît être principalement la possibilité de comparaison systématique des réponses sur trois pays. Les exercices de prospective transnationales sont trop rares¹⁷ pour ne pas saluer cette initiative malgré ses inévitables défauts. Le rapport BETA¹⁸, présentant et analysant les résultats de l'enquête française, propose ainsi, en outre, un certain nombre de comparaisons avec l'Allemagne et le Japon.

Un choix différent a été fait au Royaume-Uni puisque ce pays a pris l'option plus ambitieuse de redéfinir préalablement l'ensemble des sujets proposés aux experts nationaux en faisant travailler des groupes d'experts par domaines techniques¹⁹. Cette option présente bien sûr le désavantage de ne pas autoriser de comparaison internationale directe des pronostics des experts. Mais en termes de mobilisation collective, l'opération de prospective apparaît plus forte. Or, la dimension stratégique collective — prise de conscience, réflexion commune et construction d'un consensus — est inhérente à la démarche Delphi réalisée à l'intérieur d'une organisation et le processus de cette enquête-débat est souvent jugé aussi important par son impact sur la communauté qui la pratique que pour le résultat lui-même. La question est de savoir si la méthode Delphi, utilisée comme une forme de sondage dans un but d'information du décideur public, poursuit ou non ce type de but.

Quelques résultats de l'enquête française et éléments de comparaison internationale

Notre objectif n'est pas de rendre compte, dans l'espace restreint de cet article, de l'énorme masse d'informations que contient l'enquête (pour la France : 70 000 réponses élémentaires provenant de plus de mille experts sur 15 domaines technologiques), ainsi que de toutes les analyses statistiques comparatives que nous avons pu réaliser. Pour avoir une idée du type de résultats de l'étude, le lecteur peut se rapporter aux deux premiers documents figurant en encadré.

Le premier tableau compare les réponses agrégées sur un sujet particulier (l'un des 1 150 sujets de l'enquête) pour les trois pays. On observera par exemple des différences importantes de date de réalisation : la date médiane

17. LESOURNE Jacques. « Sujets de prospective », *Futuribles*, n° 100, juin 1986.

18. BETA. « Rapport sur les technologies du futur par la méthode Delphi ». *Op. cit.*

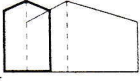
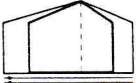
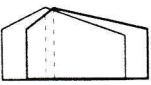
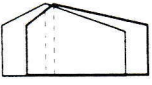
19. LOVERIDGE Denis, GEORGHIOU Luke, NEDEVA Maria. *United Kingdom Technology Foresight Programme Delphi Survey*. PREST, University of Manchester, 1995.

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

Comparaison des résultats France / Allemagne / Japon Sujets (38), Domaine « technologie des procédés - matériaux » « Développement d'un supraconducteur dont la température critique est la température ambiante »			
	France	Allemagne	Japon
Connaissance du sujet	Indice = 17	Indice = 24	Indice = 34
Importance du sujet	Indice = 79	Indice = 86	Indice = 91
Période de réalisation	2006 (2001-2012)	2013 (2007-2019)	2017 (2012-2025)
Précision du pronostic	Indice = 48	Indice = 18	Indice = 26
Nécessité d'une coopération internationale	Indice = 65	Indice = 81	Indice = 65
Comparaison internationale	États-Unis France Japon	États-Unis Japon Allemagne	Le Japon est surtout considéré au même niveau que les autres pays
Obstacles éventuels	Problèmes techniques Facteurs de coûts Organisation de la R&D	Problèmes techniques Organisation de la R&D Facteurs de coûts	Problèmes techniques Manque de capitaux Qualification et formation

sur l'ensemble des experts français est plus précoce que dans l'enquête japonaise ou allemande (il faut dire que, sur ce sujet précis touchant aux supraconducteurs, des découvertes sont intervenues au cours des deux à trois ans qui séparent la réalisation des enquêtes nationales, la française étant la plus récente, ce qui explique en partie l'optimisme plus marqué). Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart inter-quartile, qui donne une idée de la divergence d'opinions intra-nationale. En ce qui concerne le contexte international, on notera l'importance très élevée accordée à la coopération chez les experts allemands et le fait qu'ils citent, en moyenne, en meilleure position le Japon que les experts français. C'est un biais que l'on retrouve assez fréquemment sur les autres sujets de l'enquête : outre le fait que les experts de tous les pays ont tendance à évaluer un peu mieux leur propre recherche, il apparaît statistiquement une meilleure reconnaissance des compétences américaines en France et japonaises en Allemagne. Le classement des obstacles principaux à l'innovation fait aussi apparaître des spécificités nationales, sans doute révélatrices de différences entre les systèmes d'innovation (cf. la problématique de l'éducation scientifique au Japon qui affleure dans le troisième obstacle cité).

Le deuxième tableau présenté en encadré propose une sélection de sujets du domaine « électronique - technologies de l'information » qui font l'objet d'appréciations très ou très peu consensuelles au sein même de l'enquête

Analyse des sujets consensuels et non-consensuels « Électronique - Technologies de l'information »			
Intitulé du sujet	Nombre de répondants	Période probable de réalisation	Commentaires
3. Utilisation pratique de VLSI dotés d'une capacité de stockage de plus de 1 Gbit par puce.	76 61 9		Sujet jugé important par les Français et les Allemands
34. Utilisation générale de lasers à semi-conducteurs à fil quantique ou à boîte quantique	9 3 1		Sujet jugé le plus important par les experts français. Obstacle lié à l'organisation de la R&D. Sujet dont la date de réalisation est une des plus proches.
41. Explication des mécanismes de communication entre les nerfs crâniens et développement d'un cerveau artificiel comportant 10 000 cellules.	24 17 3		Sujet jugé important par les experts français. Obstacle lié aux problèmes techniques. Nécessite une coopération internationale.
42. Développement d'une méthode d'apprentissage de réponse aux stimulations, permettant de transformer les douleurs en un autre type de sensation, utilisée pour le traitement des névralgies et autres maladies.	16 11 2		Sujet jugé important par les experts français. Obstacle lié aux problèmes techniques.
48. Développement de biocapteurs capables de s'auto-régénérer.	7 4 1		Obstacle lié à l'organisation de la R&D.
49. Développement de biocapteurs d'une durée de vie de plus de trois ans.	8 5 (1)		Obstacle lié aux problèmes techniques. Obstacle lié à l'organisation de la R&D.
60. Développement d'une batterie sèche ayant une densité d'énergie massique de plus de 200 Wh/kg (les capacités actuelles tournent autour de 70 à 80 Wh/kg).	53 38 2		Sujet jugé important par les experts français et allemands (1 ^{er} du classement).
104. Normalisation des représentations du savoir qui rendra possible la réduction des durées de développement de systèmes experts fondés sur des connaissances déjà existantes.	53 37 7		Nécessite une coopération internationale.
106. Utilisation générale de bases de données de logiciels permettant de réutiliser la plupart des logiciels.	64 47 8		Sujet jugé important par les experts français et allemands.

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

française, ainsi que quelques remarques en comparaison France-Allemagne-Japon. À titre d'exemple, pour aider la lecture, considérons le premier sujet cité, qui porte le numéro 3 dans l'ordre du questionnaire. 76 personnes ont répondu au premier tour, et 61 ont accepté de répondre aussi au second tour (pour réagir aux résultats agrégés du premier) ; 9 personnes ont déclaré une « très grande connaissance » du sujet, ce qui signifie de manière précise qu'ils travaillent ou ont travaillé directement sur le sujet — on les appelle « grands experts » ; le diagramme en forme de toit précise la médiane de la date de réalisation estimée par l'ensemble des experts ainsi que les premier et troisième quartiles de la distribution ; les petits segments en-dessous donnent les mêmes informations pour le sous-ensemble des « grands experts ». Presque tous les autres sujets font apparaître deux diagrammes non confondus : celui qui est en gras illustre la répartition des réponses au second tour et l'autre au premier. En général les réponses sont moins dispersées au second tour, les experts ayant tendance à se ranger un peu à l'avis général une fois qu'ils le connaissent. Mais il est précisément très intéressant de noter que ce n'est pas toujours le cas. Les sujets pour lesquels les opinions sont partagées et le restent sont certainement d'intéressants cas d'étude pour une analyse plus fouillée selon une méthode de scénarios.

L'objectif de la prospective

Il est important de rappeler ici les objectifs généraux de la démarche prospective afin de mieux cadrer l'usage politique qui peut être fait de l'enquête Delphi nationale.

Les objectifs généraux

La prospective n'est pas une tentative de décryptage du futur. Cet objectif serait irréaliste dans la mesure où le futur n'est pas une réalité, mais une représentation et un projet. La démarche doit être stratégique et non pas simplement exploratoire. Dans cette mesure, la prospective technologique vise *in fine* à déclencher ou à accompagner le processus naturel de l'innovation ou de la découverte. Ce processus est avant tout une mise en réseau d'idées et de volontés variées — des éléments apparaissant parfois sans rapport *ex ante*, mais l'histoire des sciences et technologies montre que la chance joue un rôle important dans la réalisation de combinaisons cognitives fructueuses et la sociologie de l'innovation (cf. les travaux de Michel Callon) montre à quel

futuribles mars 1997

point cette dernière est affaire de réseaux et non pas seulement de qualité intrinsèque de l'idée initiale.

Les objectifs intermédiaires, comme la réalisation d'une enquête Delphi ou son utilisation ²⁰, peuvent jouer aussi un rôle essentiel, à la manière d'un catalyseur, en réunissant des compétences et des volontés qui ne se seraient jamais rencontrées de manière opérationnelle sans cette opportunité. Tout processus de désenclavement des savoirs et des désirs individuels permet de « laisser sa chance » au processus, parfois assez fortuit, de production de nouveautés scientifiques et techniques.

On considère d'ordinaire que l'action prospective complète, comprise comme un acte de management stratégique, comprend les étapes logiques suivantes :

- la communication des spécialistes et des acteurs ;
- la concentration collective sur un futur possible commun (ou plusieurs, sous forme de scénarios alternatifs) ;
- l'établissement d'un consensus ;
- la coordination de l'action commune.

Ce schéma peut être celui d'un groupe restreint d'acteurs à l'intérieur d'une organisation ou d'un groupe de partenaires déjà constitué. L'enquête Delphi étudiée ici n'a pas cette prétention. Elle ne constitue que la première étape de la démarche stratégique : recueil d'opinions et début de prise de conscience collective d'une communauté d'experts académiques, industriels et d'agences publiques par le simple fait de répondre en deux tours à l'enquête. La démarche prospective ne sera aboutie que lorsque des groupes de travail se seront saisis des résultats de l'enquête pour l'interpréter, bâtir des scénarios et lancer le débat public ²¹. L'intérêt de la méthode Delphi est qu'elle constitue la base d'information la plus complète possible pour poursuivre le processus de prospective et viser à la coordination de l'action au sein de groupes *ad hoc* sur des thèmes particuliers ²².

Les éléments importants à repérer dans un premier temps dans l'enquête pour initier le travail d'analyse sont *a priori* :

- les sujets jugés importants par les experts ;

20. Une opération d'animation et de prospective technologique territoriale est en cours, organisée par Bordeaux - Technopolis, avec l'aide du BETA (Strasbourg I) et de l'IERSO (Bordeaux IV), pour réunir les principaux acteurs privés et publics de la région bordelaise afin qu'ils s'approprient, dans une première étape, les résultats de l'enquête nationale, puis définissent la place que leur région pourrait jouer dans les réseaux mondiaux de l'innovation technologique.

21. En France, cette démarche n'a pas pu aller vraiment jusqu'à son terme dans le cas de l'enquête Delphi. D'un autre côté, lorsque les décideurs publics utilisent la matière d'une telle enquête, ce peut être en extrayant les seuls éléments susceptibles de légitimer des choix préétablis. Mais notre propos n'est pas de rentrer dans ces considérations socio-institutionnelles, quel que soit leur intérêt sur le plan pragmatique.

22. DUCOS Gilbert. « Delphi et analyses d'interactions », *Op. cit.*

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

Les dix sujets jugés les plus importants par les experts français dans le domaine : « Électronique et technologies de l'information »				
Libellé d'importance	Indice	Date estimée de réalisation		
		1 ^{er} quartile	Médiane	3 ^e quartile
34. Utilisation générale de lasers à semi-conducteurs à fil quantique ou à boîte quantique.	83	1999	2001	2003
60. Développement d'une batterie sèche ayant une densité d'énergie massique de plus de 200 Wh/kg (les capacités actuelles tournent autour de 70 à 80 Wh/kg).	80	2002	2004	2007
40. Développement d'une technique permettant d'écrire ou de lire à l'échelle moléculaire une très grande quantité d'informations sur un substrat moléculaire.	77	2007	2009	2012
42. Développement d'une méthode d'apprentissage de réponse aux stimulations, permettant de transformer les douleurs en un autre type de sensation, utilisée pour le traitement des névralgies et autres maladies.	77	2005	2010	2022
52. Développement de capteurs sensoriels permettant d'exciter les nerfs humains.	75	2005	2007	2010
103. Développement de méthodes de test des logiciels autorisant le développement rapide de gros programmes sans erreur.	75	2003	2006	2010
50. Utilisation pratique d'un appareil implantable permettant le diagnostic et le traitement d'une maladie et rendant possible un contrôle de santé.	71	2001	2005	2010
106. Utilisation générale de bases de données de logiciels permettant de réutiliser la plupart des logiciels.	69	1999	2004	2008
41. Explication des mécanismes de communication entre les nerfs crâniens et développement d'un cerveau artificiel comportant 10 000 cellules.	68	2009	2016	2021
3. Utilisation pratique de VLSI dotés d'une capacité de stockage de plus de 1 Gbit par puce.	67	2001	2003	2006

- la différence temporelle entre les sujets réalisables à court terme (objectifs intermédiaires motivants) et les projets plus futuristes ;
- le degré d'ouverture à la coopération (ici la question est posée en termes de nécessité de coopération internationale) ;
- l'évaluation de la nature des obstacles à la réalisation (techniques, financiers, culturels, relatifs à l'organisation de la recherche, ...) pour mieux situer les convergences de moyens et donc les lieux de coopération imposés ;
- la localisation des pays les plus avancés sur chaque thème ;
- sur chacune des questions évoquées : l'évaluation du degré de consensus entre experts — et, lorsqu'il n'y en a pas, la construction de typologies d'experts et de scénarios distincts concernant le futur.

Sur ce dernier point, beaucoup d'approches peuvent être proposées. On peut d'abord observer la dispersion des réponses dans l'enquête nationale (typiquement : l'intervalle interquartile des estimations de la date de réalisation de l'innovation). On peut aussi vérifier si les « grands experts », c'est-à-dire les personnes travaillant régulièrement sur le sujet, ont une opinion nettement différente de l'opinion moyenne (ce résultat étant d'ailleurs à interpréter avec précaution, sachant que le grand expert est par définition très impliqué et donc peut-être moins objectif dans son jugement). Disposant en fait de trois enquêtes nationales à peu près identiques dans leur contenu, on peut aussi vérifier la convergence ou la divergence d'opinion entre experts français, allemands et japonais. Enfin, les réponses des experts variant plus ou moins entre le premier et le second tour, selon le degré d'influence de l'opinion des pairs, on peut révéler soit un manque de confiance dans les pronostics individuels et souligner le risque d'effets de mode, soit au contraire la persistance d'opinions tranchées (qu'il convient alors d'analyser en réunissant experts et acteurs pour débattre de ces visions contradictoires du futur).

Les objectifs politiques

L'objectif, pour les pouvoirs publics, est d'organiser une réflexion permanente, en amont, sur les orientations de la recherche pour le pays. C'est ce qui s'est pratiqué depuis les années 70 au Japon autour de l'enquête Delphi. C'est ce que les Allemands se sont plus ou moins refusés à faire jusqu'aux années 80, avant qu'arrive le temps des arbitrages, avec la prise de conscience que l'Allemagne ne pouvait plus se permettre un financement aussi large et libéral de la recherche (c'est-à-dire laissant des chances égales à toutes les options imaginables de l'excellence scientifique et technique).

Lorsque le ministère français de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a décidé la réplication de l'opération Delphi en France, dans la foulée de la consultation nationale sur les grands objectifs de la recherche,

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

l'objectif était bien de contribuer au renouvellement des données et instruments dont dispose l'État « pour le pilotage de son action dans le domaine de la recherche et de la technologie »²³. Le texte insiste sur la dimension internationale : la comparaison avec d'autres enquêtes nationales permet de recadrer la place de la France dans un monde où aucune nation ne peut plus prétendre à l'exhaustivité des compétences et où la multiplication en parallèle des projets de recherche ira sans doute en diminuant (notre analyse). La dimension globale — sociétale — de l'approche est aussi nettement soulignée : il s'agit de croiser les approches et les objectifs de la recherche publique et ceux de la recherche des entreprises avec les attentes et les enjeux pour les utilisateurs et les consommateurs. L'intention est tout à fait louable. Comme on reproche souvent au monde politique de négliger la notion de durée au bénéfice d'enjeux de court terme, il y a lieu de souligner l'importance de démarches prospectives de ce type qui contribueront peut-être à limiter l'emprise de la « politique sans finalité »²⁴. Mais jusqu'à présent le relai n'a pas été vraiment pris, du moins officiellement, pour prolonger l'opération Delphi par une appropriation large de ses résultats et l'amorce d'un débat. Il serait pourtant dommage d'en rester là, en considération du fait que l'enquête a produit une information considérable tout en étant peu utile socialement sous sa forme brute.

Pour revenir à l'objectif affiché de l'opération Delphi, le document de présentation MESR²⁵ précise les conditions dans lesquelles sera fertile le débat public sur les orientations nationales du développement de la science, de la recherche et des technologies (nous résumons) :

— penser l'anticipation de la demande réelle de technologies, condition première de la sélection des technologies à développer (alors qu'en France, la tradition est plutôt de prendre comme point de départ l'offre de connaissances scientifiques) ;

— guetter le bon moment, lorsque l'intervention publique sera à la fois efficace et la moins coûteuse possible (l'exploitation des dates probables de réalisation des innovations fournit une sorte d'agenda de la recherche — encore faudrait-il qu'elles soient validées) ;

— repérer le rôle que pourraient jouer les coopérations internationales (puisque un seul pays ne peut souvent pas tout faire, même dans un domaine technologique assez restreint) ;

23. MESR. « La prospective technologique au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche : l'enquête Delphi sur les technologies du futur ». Document pour la conférence de presse du 6 avril 1995.

24. TENZER Nicolas. « La politique sans finalité ». *Futuribles*, n° 147, novembre 1990.

25. MESR. « La prospective technologique au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ». *Op. cit.*

— améliorer la qualité des interactions entre ingénieurs et chercheurs des entreprises et chercheurs de la recherche publique (c'est là l'une des principales conditions de la cohérence et de l'enrichissement mutuel des stratégies de développement entre les différentes formes de produits de la recherche au sein d'un *système national d'innovation*).

Les dix sujets jugés les plus importants par les experts français dans le domaine : « Sciences de la vie »				
Libellé	Indice d'importance	Date estimée de réalisation		
		1 ^{er} quartile	Médiane	3 ^e quartile
42. Applications pratiques d'une méthode efficace pour empêcher l'apparition de métastases.	92	2004	2007	2009
40. Développement de médicaments protégeant contre l'apparition du cancer.	89	2004	2008	2012
12. Identification de tous les gènes qui entravent l'apparition du cancer, débouchant sur la compréhension des relations qui existent entre ces gènes et la carcinogénèse.	88	2005	2011	2017
41. Développement de techniques très sensibles et cependant simples de détection précoce des cancers, par exemple à partir du sérum.	88	2001	2003	2006
11. Explication de l'ensemble des phénomènes biomoléculaires qui interviennent dans les réponses immunitaires.	85	2006	2011	2019
74. Possibilité de prévenir la maladie d'Alzheimer.	83	2006	2011	2016
75. Possibilité de guérir les démences séniles du type de la maladie d'Alzheimer.	83	2007	2011	2018
22. Explication du processus complexe de transmission des signaux dans l'apparition des cellules cancéreuses.	82	2005	2008	2012
9. Explication complète de la structure et de la fonction des molécules qui jouent un rôle dans la transmission des signaux.	81	2005	2010	2015
59. Utilisation clinique d'organes transplantables obtenus par multiplication ou régénération de cellules spécifiques.	81	2006	2011	2015

Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

D'autres objectifs de politique publique sont évoqués. Pour que « l'aléa soit perçu comme une source d'opportunités et non de menaces », il faut « éviter que ces développements technologiques ne débouchent sur une croissance et un flux d'activités par trop déstabilisants pour les modes de vie ». Ce qui est en jeu ici, c'est le rapport complexe reliant l'activité créatrice erratique de la recherche et la croissance soutenue et régulière que la société appelle de ses vœux. Par ailleurs, pour que les choix correspondent bien à des priorités nationales, « la puissance publique doit se doter de moyens d'échapper aux groupes de pression qui disent trop bien aux hommes politiques ce qu'ils ont envie d'entendre » : il est fait ici référence en particulier à l'importation de schémas technologiques des pays *leaders* — avec les propositions d'investissement correspondants — sans tenir suffisamment compte des différences d'échelle, des compétences spécifiques de chaque nation et de l'impérieuse nécessité des arbitrages budgétaires (tout ce qui est souhaitable n'est pas simultanément réalisable).

Analyse des réponses d'experts selon une méthode de segmentation

Afin de montrer qu'il est possible de tirer des résultats de l'enquête nationale Delphi une information riche débouchant sur des scénarios — ou, à tout le moins, permettant de caractériser dans sa diversité l'opinion des experts sur un sujet donné — nous avons testé l'utilisation d'une méthode de segmentation²⁶.

Le troisième sujet du questionnaire thématique intitulé « Technologie des procédés - Matériaux », sujet relatif aux composés inter-métalliques pour lequel le nombre de réponses complètes recueillies est assez grand²⁷, est l'un de ceux qui a été choisi à titre expérimental pour une analyse approfondie de la population d'experts qui y a répondu. Une telle approche typologique permet : — d'une part, de relativiser les résultats agrégés relatifs à un sujet (notion de date médiane, indices agrégés d'importance, dispersion des citations d'obstacles, etc.) en faisant émerger les composantes contrastées identifiables à l'intérieur de la population d'experts et de leurs réponses ;

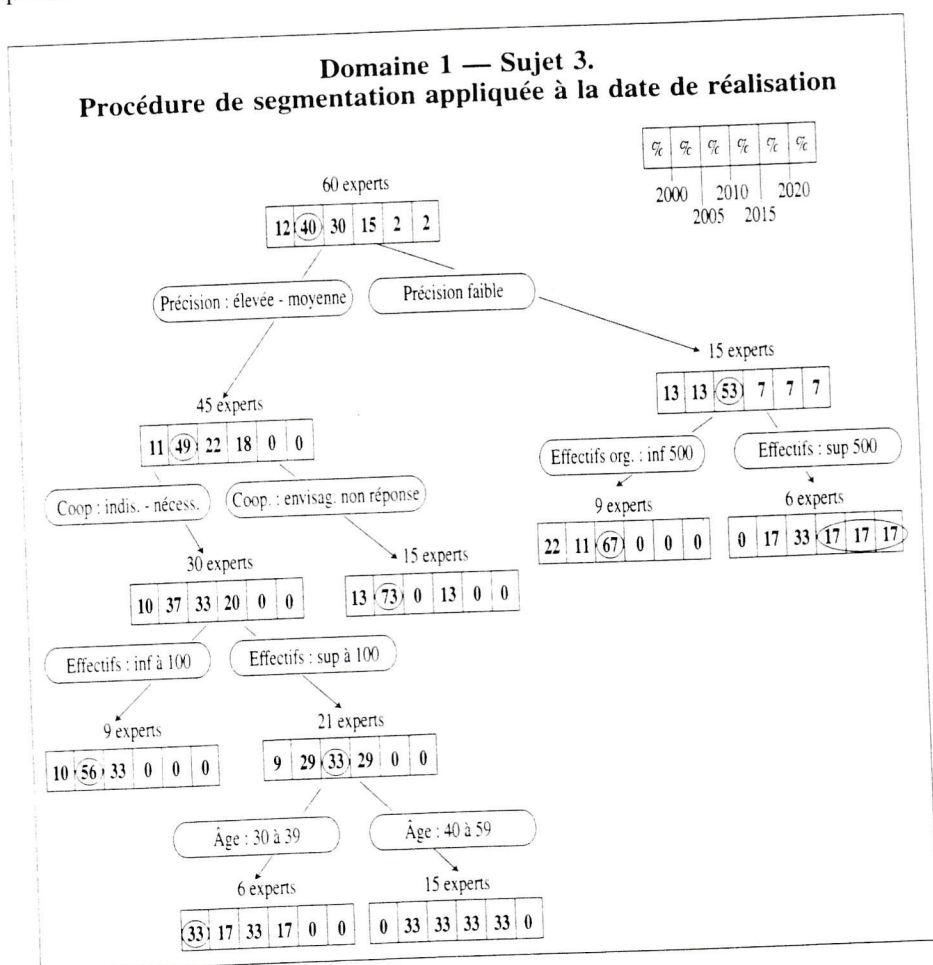
26. NANOPOULOS Kostas. « Les méthodes de partitions optimales ». *Cahiers du CESAG*, n° 1. Université Robert Schuman, Strasbourg, 1991.

27. Nous avons sélectionné 60 experts (sur 70 ayant répondu au troisième sujet dans le second tour) en fonction de leurs réponses les plus complètes possibles à l'ensemble des questions du sujet.

— d'autre part, de repérer d'éventuels scénarios par la lecture de chacune de ces visions possibles du futur ; en effet, les principaux regroupements d'experts correspondent chacun à une approche relativement cohérente (à tout le moins, plus cohérente que l'ensemble agrégé de toutes les opinions d'experts).

Expliquer la répartition des dates avancées par les experts

La première expérience de segmentation concerne le profil temporel des pronostics de réalisation. On se référera au graphique ci-dessous.



Méthode Delphi : une étude de cas sur les technologies du futur

La cartouche de départ donne la répartition globale des réponses des 60 experts sur les six périodes considérées. On observe un mode sur la deuxième période (2000 à 2005). Une série de segmentations dichotomiques est faite sur la population des 60 experts, en recherchant chaque fois le critère de séparation entre deux sous-populations qui maximise la différence des profils de réponses sur la date de réalisation.

La première partition est obtenue à partir du degré de précision déclaré par les experts : 45 d'entre eux, ceux de précision « élevée » et « moyenne », d'un côté, et 15 experts de précision « faible » de l'autre. Comme on peut le voir, le mode de la distribution n'est pas le même. C'est toujours, et même encore plus nettement que dans la population de départ, la deuxième période que tendent à élire les 45 experts « précis », alors que c'est la troisième qui est majoritairement choisie par les 15 experts plus hésitants. Il est intéressant de noter que c'est le critère de précision qui « explique » le plus fortement, au sens statistique du terme, la variété des réponses. En gros, lorsque les experts hésitent, ils donnent une date plus tardive : on craint moins (ou on se sent moins gêné) de se tromper par excès de pessimisme que par excès d'optimisme. Les autres critères explicatifs de la variété des réponses viennent ensuite.

Les 15 experts « moins précis » constituent une population elle-même composite, dont on peut observer sur la droite du graphique que le principal critère de séparation est cette fois-ci la taille de l'organisation à laquelle ils appartiennent. Précisons tout de suite que l'organisation est, pour le troisième sujet du premier domaine, généralement une firme (80 %). Les 15 experts se regroupent donc en deux sous-ensembles : 9 travaillent dans des organisations de moins de 500 salariés et choisissent typiquement la troisième période ; 6 travaillent dans de plus grandes organisations et leurs pronostics s'étalent particulièrement vers les périodes plus lointaines. Doit-on conclure que les PME sont plus dynamiques ou que les grandes entreprises sont plus réalistes ?

Si l'on reprend maintenant le groupe des 45 experts de « précision élevée », on observe que la première dichotomie pertinente pour expliquer leur structure de réponse temporelle est relative à l'indice de coopération. Le sous-groupe qui est le plus représentatif du mode de distribution en deuxième période est l'ensemble des 15 experts qui ne voient pas de très grande nécessité à la coopération internationale sur le sujet (coopération « envisageable » et non réponse). Les réponses de l'autre sous-groupe, de 30 experts, apparaissent plus réparties dans le temps. Il faut aller plus loin pour les départager.

Comme on le voit à la dichotomie suivante, 9 experts appartiennent à des petites organisations (moins de 100 salariés) et parient plutôt sur la deuxième période, alors que les 21 experts appartenant à de plus grosses organisations anticipent à plus long terme. On retrouve donc souvent le biais souligné plus

haut : la taille de l'organisme où travaille l'expert est corrélée positivement avec la date de réalisation pronostiquée (le cas du sujet n° 3 n'est pas isolé : des observations identiques ont été faites ailleurs dans l'enquête).

Enfin, une dernière étape permet de séparer encore cette dernière population en faisant apparaître que c'est l'âge qui contribue le plus, *in fine*, à décaler les pronostics vers les dates éloignées. Là encore, il semble que ce phénomène soit assez systématique dans l'ensemble de l'enquête Delphi.

Expliquer la variété des obstacles cités

Une seconde approche par la méthode de segmentation a été tentée pour appréhender un domaine qui nous semble particulièrement complémentaire de l'analyse de la date de réalisation : celui des types d'obstacles.

Nous synthétiserons les résultats de la figure correspondante (voir encadré) par la typologie suivante :

— Le sujet étudié a été majoritairement associé à la notion d'obstacle technique (78 %), mais le score le plus élevé (95 %) est atteint pour une sous-population de 22 experts dont la précision de diagnostic temporel est « moyenne ou faible », qui appartiennent au secteur des entreprises ou organismes publics non universitaires de grande taille.

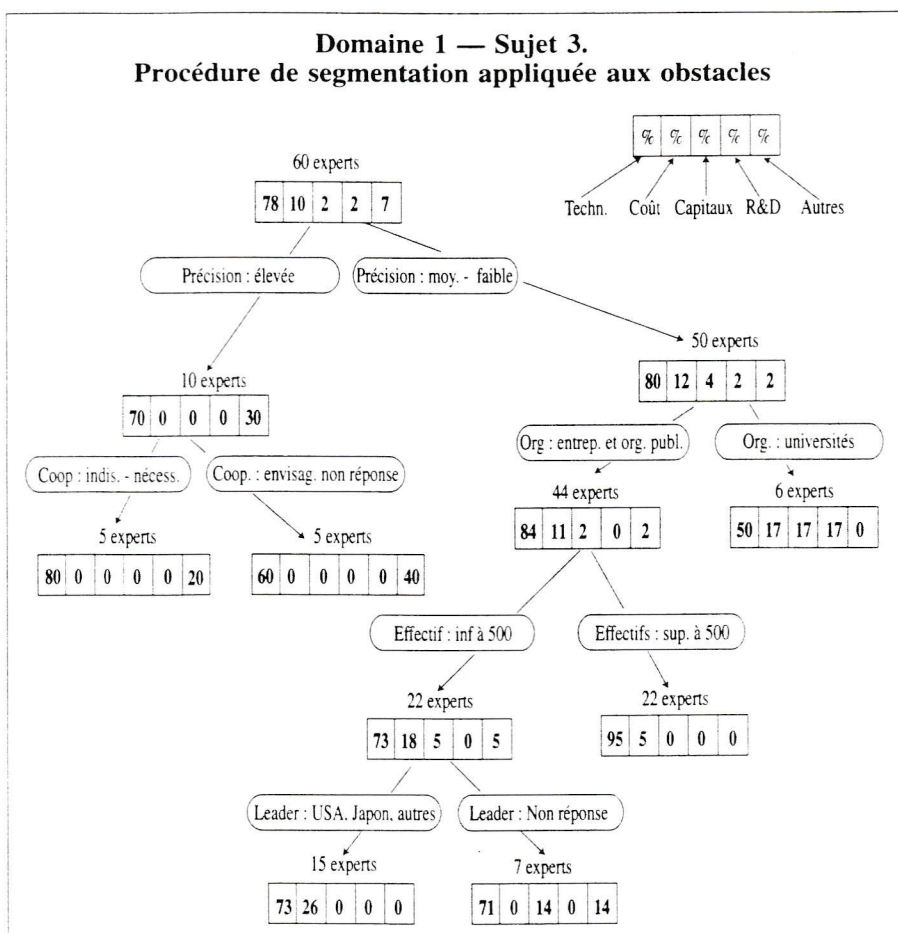
— Lorsque les experts affichent une précision élevée dans leur estimation de la date de réalisation, ils n'envisagent jamais les facteurs « coût », « capitaux » ou « R&D », mais seulement les obstacles « techniques » ou « autres ». L'obstacle technique semble justifier le recours à la coopération internationale.

— Le facteur coût semble principalement déterminant pour les experts des petites entreprises qui, par ailleurs, ont particulièrement conscience de leur *leadership* étranger dans le domaine.

— La difficulté de rassembler les capitaux et celle d'organiser la R&D sont des obstacles relativement peu cités dans la population initiale de 60 experts, mais on les retrouve plus souvent cités par les experts universitaires.

Comme on peut le constater, une analyse fine des données individuelles de l'enquête autorise une lecture moins réductrice des résultats que l'exploitation habituelle. Les critiques générales adressées à la méthode Delphi portent donc plus sur la façon dont sont exploités les résultats (souvent manque de temps ou d'imagination) que sur le principe.

De toutes manières, une opération publique de prospective de l'ampleur de celles qui ont été présentées ici ne saurait se limiter à l'enquête Delphi laquelle constitue un sondage préalable indispensable (à notre avis) mais certainement pas suffisant.



Ce qui est irremplaçable dans l'approche Delphi, c'est la dimension étendue du balayage qu'elle autorise en termes de sujets traités comme en nombre d'experts contactés. Cela constitue une relative garantie d'objectivité ou d'universalité de l'information recueillie. Mais il faut aller plus loin et savoir s'approprier les résultats pour passer à d'autres phases, plus ciblées, du processus de prospective publique. Les résultats bruts ne sont pas directement opérationnels : ils permettent de poser de bonnes questions quand on les lit intelligemment, mais pas vraiment d'y répondre. C'est après que commence le travail du décideur.