

# Une prévision technologique utile

Henri Aujac (1)

Produits nouveaux et techniques nouvelles se succèdent à une vitesse surprenante. Dans le même temps, prévisions technologiques et méthodes correspondantes se multiplient dans les directions les plus variées et les plus inattendues : prévision de la vitesse probable des avions de l'an 2000 selon la méthode des courbes enveloppes, dates probables — par la méthode Delphi — de commercialisation de certaines innovations, prévisions technologiques portant sur les sujets les plus divers par application de la méthode Cross-Impact, et bien d'autres encore, toutes ces prévisions et méthodes étant censées faire partie d'un même ensemble : « la prévision technologique » et sa méthodologie. Cet ensemble apparaît aujourd'hui à ce point hétérogène qu'il conviendrait d'y mettre un peu d'ordre, de préciser les objets véritablement utiles de la prévision technologique ainsi que l'efficacité et le coût des différentes méthodes (2).

Mais opérer ce tri et mettre un peu d'ordre ne sont pas ici notre but ; nous désirons simplement exposer une méthode de prévision technologique que nous savons pouvoir conduire à des résultats fort utiles. Aussi allons-nous préciser sur quoi porte cette prévision et quelle méthode peut être utilisée. Nous illustrerons ces propos d'un cas d'application déjà ancien mais qui, pensons-nous, n'a rien perdu de son intérêt.

## *Les innovations majeures*

Nous allons tout spécialement chercher à prévoir quelles vont être les « innovations majeures » au cours des prochaines années et quelle sera vraisemblablement la date de leur apparition. Mais il nous faut définir ce que nous entendons par « innovations majeures ».

C'est en permanence que chaque

---

(1) Conseiller scientifique du Président du B.I.P.E., Maître de conférences à l'École Polytechnique.

(2) Certaines méthodes sont naïves, pas toujours stupides et parfois efficaces ; la simple extrapolation des tendances passées par exemple : sa mise en œuvre réclame seulement du papier semi-logarithmique, une règle, un crayon, une gomme. D'autres sont remarquablement sophistiquées et nécessitent l'usage intensif de l'ordinateur, ce qui les rend fort coûteuses : il y a parfois une telle disproportion entre les résultats escomptés et les moyens utilisés — dont le coût de la prévision — que leur principale justification est sans doute, chez leurs auteurs, un sens commercial particulièrement aiguisé.

entreprise doit procéder à des innovations : produits nouveaux, process nouveaux de production, nouveaux types d'organisation. Cette adaptation permanente de l'entreprise aux évolutions de la demande sociale est une condition de sa survie. A chaque instant des chercheurs, des ingénieurs, des patrons, des centres de R-D tant publics que privés, etc., découvrent des « inventions », c'est-à-dire imaginent de nouvelles fonctions, de nouveaux produits, de nouveaux procédés qui améliorent le service de telle ou telle fonction de la demande sociale ou vont être capables d'assurer le service de fonctions nouvelles jusqu'ici inconnues. Dans ce foisonnement, seules certaines inventions vont se développer pour donner naissance à des « innovations » largement commercialisées. C'est en définitive le marché qui va trier, parmi l'ensemble des possibilités techniques que propose la recherche, celles qui vont se concrétiser.

Voici mis en évidence un « critère de premier rang » dont l'importance est tout à fait décisive pour nous permettre de repérer les inventions et les projets de recherche actuelles qui vont pouvoir demain devenir innovations (3).

La grande majorité des innovations ne crée de difficulté particulière ni aux entreprises — ce sont les innovations que nous qualifierons de « mineures » — ni aux pouvoirs publics car la société s'adapte progressivement, sans

difficultés ni drames particuliers.

Mais d'autres innovations posent problèmes. Ce sont les « innovations majeures », précisément celles qui nous intéressent ici. Nous les qualifierons de « majeures » en ce sens qu'elles vont :

- soit modifier rapidement et de façon importante le niveau de l'emploi et la structure des qualifications professionnelles exigées par la production du nouveau produit ou l'utilisation de la nouvelle technique ; l'entreprise va alors traverser une période difficile et peut-être mortelle ;
- soit rendre obsolètes, dans un délai relativement bref, de nombreux équipements, ce qui va poser aux entreprises des problèmes difficiles de financement des investissements de remplacement ;
- soit nécessiter une restructuration de l'industrie concernée, la structure industrielle existante ne permettant pas le développement de l'innovation qui s'annonce ; par exemple parce que l'industrie est composée d'entreprises nombreuses, mais individuellement trop faibles financièrement et techniquement ; la restructuration va poser de difficiles problèmes d'emplois et de financement ;
- soit encore pour plusieurs de ces raisons à la fois.

Dans chacun de ces cas, les entreprises vont, sans doute pour essayer de surmonter les difficultés rencontrées, réclamer l'intervention des pouvoirs publics. Entreprises et pouvoirs pu-

---

(3) Par exemple, une collection de bleus de travail Mao ne réclame que l'utilisation de machines textiles courantes : au contraire, la demande de vêtements féminins d'un pays riche, demande fort diversifiée et de séries courtes, nécessite, ainsi que nous allons le voir, l'utilisation de matières premières souvent chimiques et la mobilisation de l'électronique et de machines textiles à commande numérique.

blics sont donc, en général, également concernés par les «innovations majeures».

Ces innovations constituent autant de «tournants technologiques» que vont devoir prendre les entreprises. A l'évidence celles-ci ont un intérêt vital à prévoir suffisamment à l'avance l'arrivée de telles innovations, elles doivent prendre ces virages ni trop en avance, le marché ne serait pas encore mûr, ni trop en retard, la concurrence aurait déjà occupé les secteurs intéressants. En général, seules les entreprises grandes ou moyennes sont capables de prendre en charge ce type d'innovations. Ces innovations majeures vont d'ailleurs entraîner toute une série d'innovations induites de moindre importance que vont devoir promouvoir les entreprises, et bien sûr les PME, qui veulent tirer profit du virage technologique qui s'annonce.

Les pouvoirs publics également ont intérêt à connaître le plus tôt possible ces informations afin d'être en mesure de définir les aides efficaces que, le cas échéant, il serait opportun d'apporter à la mise au point de tel ou tel matériel ou produit «de pointe», ou encore à la restructuration industrielle indispensable, etc.

## *Prévoir ces innovations majeures*

Nous présentons maintenant une méthode qui devrait permettre de prévoir quelles sont «les innovations majeures» à venir et quelles vont être leurs dates probables d'apparition. L'élaboration de cette prévision nécessite nombre d'informations dont la

nature et la qualité vont se révéler décisives pour la fiabilité des résultats ; nous en traiterons dans un instant. Pour le moment nous exposons simplement le principe de la méthode et ses étapes successives.

Il convient d'abord de définir la partie du process de production et les produits et techniques qui vont constituer le domaine de notre recherche. Nous devons le faire, pour ainsi dire, à la fois verticalement et horizontalement :

— verticalement : le progrès technique à venir est étroitement conditionné par les évolutions de la demande sociale. C'est donc la filière entière de production jusques et y compris la demande finale qu'elle sert. L'analyse de l'interface : filière-demande sociale est un point clef de la méthode présentée. Filière «complète» car le progrès technique à chaque stade de production est étroitement lié, pour de multiples raisons, aux progrès enregistrés aux stades amont et aval du processus.

— horizontalement : l'interdépendance entre les progrès techniques réalisés dans les différentes filières augmente rapidement : par exemple, la chimie, l'électronique, la robotique révolutionnent la plupart des filières traditionnelles. Ces transferts de technologie se réalisent par l'intermédiaire des matières premières et des demi-produits, également et peut-être surtout, par celui des matériels.

Le premier stade de la recherche revient donc à déterminer quel est le champ du processus de production et de sa demande associée dans lequel nous aurons à rechercher l'apparition possible des «innovations majeures».

Nous devons ensuite identifier quelles sont, parmi les innovations attendues, celles qui vont mériter la qualification de «majeures». Pour cela nous allons procéder au recensement de futurs produits et procédés, encore virtuels et localisés aux différents stades de la R-D, dans les entreprises, les laboratoires publics et privés, français et étrangers, etc. Puis, appliquant à chacun d'eux les différents critères déjà signalés par lesquels nous avons caractérisé les innovations majeures, nous allons nous efforcer d'identifier les inventions en cours de R-D susceptibles de se transformer en «innovations majeures».

Pour ce faire, nous savons qu'il faut, d'une part préciser l'évolution probable de la demande sociale, et d'autre part déterminer les caractéristiques probables, techniques et économiques, que pourra présenter le produit ou le procédé lorsque l'invention qui lui correspond aura franchi victorieusement les différentes étapes de la R-D.

— Prévoir l'environnement économique, social et politique, dans lequel le produit ou le procédé va se présenter sur le marché ainsi que l'étendue possible de ce marché sont, à l'évidence, tâches difficiles. Il s'agit de prévoir comment vont évoluer les différentes demandes (celles des pouvoirs publics, des entreprises, des ménages, de l'étranger) et de les traduire en termes précis, relatifs aux caractéristiques techniques et économiques que va réclamer le marché. Les caractéristiques qualitatives auront au moins autant d'importance que celles qui sont quantifiables : il s'agira par exemple de savoir si le marché étudié de l'habillement va vers une plus ou moins grande diversification, quelles

techniques vont permettre aux industries agricoles et alimentaires de répondre à l'évolution d'une demande d'alimentation de plus en plus satisfaite par des cantines et des restaurants, ce qui exige la recherche et la réalisation de produits homogènes, etc.

— Nous aurons également à préciser les caractéristiques techniques (rendement, précision, fiabilité, etc.) et économiques (ordre de grandeur du coût de production, utilisateurs potentiels, etc.) qu'aura vraisemblablement le produit ou le procédé à sa sortie des différentes étapes de la R-D.

Naturellement nous essaierons de caractériser l'évolution de la demande finale à venir et celle des produits et procédés en attente d'innovations en des termes qui faciliteront la confrontation, dont l'importance est essentielle, entre les deux évolutions de l'offre et de la demande.

Disposant de ces deux types de prévision, de la demande sociale et prévision des caractéristiques techniques et économiques des produits attendus du développement des inventions, utilisant les critères de définition des «innovations majeures», il devient alors possible d'affiner l'identification des inventions actuelles susceptibles de se transformer en de telles innovations.

## *La méthode des méthodes*

La qualité de l'information mobilisée commande étroitement la fiabilité des résultats obtenus. Ces renseignements seront à rechercher auprès des entreprises les plus dynamiques du domaine étudié, auprès des construc-

teurs d'équipement, des sociétés d'ingénierie, des services de R-D des grandes entreprises, tant françaises qu'étrangères, auprès des centres techniques — certains centres français sont remarquablement informés, y compris sur le plan international, de l'état de la R-D et de celui des réalisations —, auprès des différents instituts de recherche, français et étrangers, etc.

C'est donc l'expérience des participants, directs et indirects, à la filière de production étudiée, que nous devons mobiliser. La difficulté d'entrer en contact est moins grande que l'on ne pourrait croire ; par contre une difficulté majeure se présente, une difficulté de langage : les informations obtenues des uns et des autres sont disparates, hétérogènes, exprimées dans des langages souvent incompatibles ; le langage de l'ingénieur de bureau d'études n'est pas celui du financier et ces deux langages sont différents du langage du comptable ou de celui de l'économiste d'entreprise, etc. La tâche de l'équipe chargée de la prévision technologique est alors une tâche de traducteur : ses membres doivent avoir une connaissance suffisante de l'économie et de la technique pour pouvoir traduire les informations fournies par les uns dans le langage entendu par les autres, ceci dans le but de favoriser entre tous des dialogues efficaces, de faire apparaître les points d'accord et les points de divergence. Il conviendra de réduire ces derniers et l'expérience montre qu'une confrontation approfondie entre les points de vue des différents intéressés y parvient dans la plupart des cas.

La méthode à utiliser n'est certes pas la méthode économétrique, complètement inadaptée dans ce cas : aucune série n'existe pour des produits ou des

procédés nouveaux ; pas non plus la méthode Delphi : il s'agit d'interroger, non des « experts », mais les différents acteurs qui, à un titre divers, constituent ou satisfont la demande sociale, surtout il ne s'agit pas de contacts épistolaires entre les participants et les responsables de la prévision, mais de contacts approfondis qui ont pour but d'explicitier de justifier clairement les opinions émises. La méthode que l'expérience a montré efficace est assez semblable à celle qui est utilisée lors d'un procès en justice : pour chaque élément à déterminer, nécessaire à l'élaboration de la prévision, soit de la demande, soit du développement technique du produit ou du procédé, l'équipe de recherche doit instruire deux dossiers : un dossier « pour » et un dossier « contre » ; et en fin de compte, elle doit établir son « intime conviction », juger « en son âme et conscience », tout comme un juge doit le faire lorsqu'il a entendu l'accusation et la défense.

Si nous réussissons à mobiliser ainsi l'expérience de ceux qui sont concernés par l'évolution de la société et celle des techniques, alors nous aurons réalisé tout ce qu'il est humainement possible de faire. La méthode utilisée est en effet la « méthode des méthodes » ; car les prévisions de chacun auront pu être établies par toute méthode possible et auront été confrontées, dans un cadre et un langage qui auront rendu les divers et nécessaires dialogues les plus constructifs possibles, puisque cadre et langage sont, peu à peu, devenus communs à tous, à mesure que se déroulaient les étapes de la prévision. Seul Dieu pourrait peut-être en dire plus...

La prévision technologique ici présentée est ainsi d'une nature assez parti-

culière : elle porte sur la nomenclature des produits et procédés à venir, elle demande à la confrontation entre l'évolution des caractéristiques de la demande et celle des caractéristiques de l'offre de déterminer à quelle vitesse vont apparaître les innovations. Mais sans doute est-il temps de présenter une application de la méthode (4).

### Une application concrète

Le tableau suivant rassemble les principaux résultats obtenus par une étude réalisée en 1967, il y a plus de 15 ans maintenant, qui portait sur l'évolution des structures techniques et économiques de la filière des industries textiles (5).

Sa lecture ne présente guère de difficultés.

— En ordonnée et de haut en bas, ont été schématisées les différentes étapes de la production de produits textiles, en partant du produit final (6). A chaque étape, ont été signalés les produits et procédés nouveaux qui avaient été estimés, à tort ou à raison,

susceptibles de devenir des innovations importantes.

— En abscisse le développement, d'abord technique puis économique, du procédé ou du produit nouveau avait été repéré de cinq ans en cinq ans. Quatre étapes caractérisaient la phase de R-D, depuis la recherche fondamentale jusqu'à l'élaboration du prototype industriel (7); les résultats présentés se voulaient valables sur le plan international. Trois étapes avaient ensuite servi à caractériser la phase de diffusion commerciale, les résultats correspondants se référant aux seules entreprises françaises.

On le voit, ce tableau donnait d'une part la liste des inventions susceptibles de se développer en «innovations majeures» et d'autre part l'échéancier des principales étapes techniques et économiques de ce développement.

Examinons ce tableau, établi, rappelons-le, en 1967. On y voyait apparaître un phénomène remarquable et assez exceptionnel. Vers les années 1960-1965, «l'ère technologique» précédant 1967 qui était caractérisée par le perfectionnement continu des techniques et des produits traditionnels allait prendre fin : une «période de

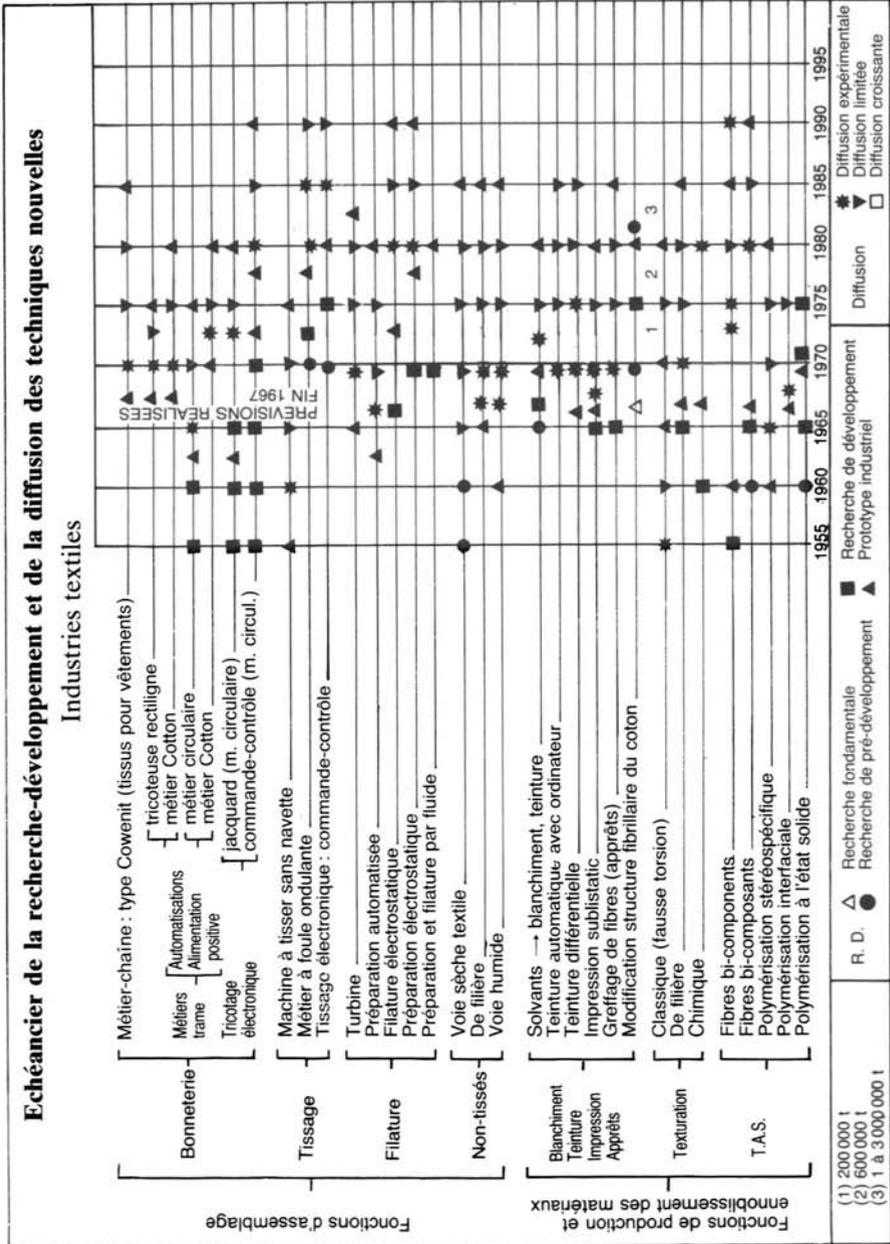
---

(4) Cette méthode a été présentée avec quelques détails dans l'article : Aujac, Henri. — «A New Approach to Technological Forecasting in French National Planning», Conférence St-Anton, 27 août-2 septembre 1971 sur «le rôle de la science et de la technologie dans le développement économique» publié dans *Sciences and Technology in Economic Growth*, Edited par B.R. Williams. Proceeding of a Conference held by the International Economic Association at Saint-Anton, Austria. London, Mac Millan, 1973, n° 4, page 96.

(5) Ce tableau est extrait de l'étude du B.I.P.E. «Essai de définition à long et très long terme de l'évolution des structures techniques et économiques de la filière des industries textiles», 1970. Etude réalisée en 1967 pour le Commissariat Général du Plan par Madame Guiriec, Directeur d'Études au B.I.P.E.

(6) Représenté ici par les seuls produits de la bonneterie. Il n'avait malheureusement pas été possible, dans le cadre de cette étude, de traiter des produits des industries de l'habillement.

(7) En fait, pour des raisons évidentes, la recherche fondamentale n'a que très rarement été prise en compte.



mutation technologique» profonde se préparait. D'industries de main-d'œuvre, les industries textiles allaient devenir des industries lourdes, fondées sur la chimie et l'informatique ; ce qui ne pouvait manquer de poser, à relativement brève échéance, des problèmes difficiles d'emploi, de financement des équipements nouveaux, de restructuration industrielle. Si les industries textiles françaises ne se révélaient pas capables de réussir à temps cette mutation, des secteurs entiers de ces industries seraient à coup sûr condamnés.

Ce qui faisait la valeur des résultats ainsi obtenus c'est que, seule, la synthèse méthodique des informations prévisionnelles particulières avait permis de les mettre en évidence. Car ni les chefs d'entreprise ni les responsables des organisations professionnelles n'avaient, avant cette étude, pris conscience du véritable ordre de gran-

deur et de l'imminence de la mutation technologique à venir (8).

Ces résultats étaient également intéressants parce qu'ils ne se contentaient pas d'affirmer que les industries textiles allaient nécessairement connaître des problèmes de disparition de postes de travail et de reconversions professionnelles — ce que l'on peut prédire sans crainte d'erreur pour toute industrie de main-d'œuvre — ils désignaient les produits et les techniques qui allaient être responsables de la mutation attendue et leur date probable d'apparition. Cette prévision technologique avait, à l'époque, intéressé les industriels concernés, les syndicats professionnels, les pouvoirs publics. Elle avait notamment révélé l'inopportunité d'aides importantes consenties par les pouvoirs publics pour le développement de matériels qui seraient nécessairement obsolètes lors de leur entrée en service, car allant à contre

---

(8) Voici ce que nous écrivions alors dans l'article cité :

«Que les responsables des industries textiles dans les pays industrialisés, tout comme dans les pays en voie de développement, ne soient pas conscients du véritable ordre de grandeur de l'imminence de cette mutation n'est que trop évident. Pour s'en assurer, il suffit de considérer le comportement des uns et des autres :

— Dans les pays industrialisés, les industries textiles en sont encore à réclamer aide et protection de leurs gouvernements respectifs au nom de raisons sociales et financières sinon patriotiques : la protection de la main-d'œuvre nationale et du capital national contre la concurrence des pays à bas salaires. Si les conclusions avancées dans cette étude sont valables, les arguments ainsi avancés perdent toute force. Le progrès technique attendu va condamner certaines qualifications professionnelles et certains investissements plus radicalement que ne saurait le faire la concurrence des pays en voie de développement. Si le dossier d'une temporaire protection des industries textiles de l'un des pays industrialisés devait être plaidé, il devait l'être, non pas au nom d'arguments sociaux ou historiques, mais au nom de l'avenir technologique de ces industries ; non dans le cadre de la concurrence entre pays développés et pays en voie de développement, mais dans celui de la concurrence entre pays industrialisés.

— Quant aux pays en voie de développement, ils devraient se montrer beaucoup plus méfiants à l'égard du cadeau empoisonné que pourrait devenir l'implantation des techniques textiles actuelles, alors que ces techniques semblent condamnées à plus ou moins brève échéance, que ces pays semblent relativement mal placés pour réussir le passage des structures techniques traditionnelles aux structures nouvelles et que les «nouvelles industries textiles» devront, pour toutes sortes de raisons, être implantées à proximité immédiate des marchés de consommation, étendus et «riches» ; or ceux-ci se trouvent dans les régions «riches» des pays industrialisés».

courant du virage technologique annoncé. Dans ces conditions, de telles aides constituaient un pur gaspillage (9).

Cette prévision s'est-elle, en fin de compte, révélée exacte? Une telle question n'a guère de sens dans la mesure où il s'agissait d'une «première». En fait, c'est tous les deux à trois ans qu'il conviendrait de mettre à jour de telles prévisions. Et cependant il n'est pas prétentieux d'avancer que, globalement, elle s'est révélée remarquablement exacte, quelques dates d'apparition de certaines innovations s'étant cependant révélées erronées. Quand à l'importance et à la nature de la crise que viennent de traverser les industries textiles françaises, il n'est que de consulter les revues économiques de ces dernières années pour vérifier que, malheureusement, le diagnostic posé était le bon.

Si quelques-uns avaient trouvé les résultats ici présentés fort intéressants, trop peu y avaient cru suffisamment pour se préparer à affronter réellement la mutation technologique imminente. Nous croyons cependant qu'une telle approche pourrait devenir le moyen privilégié de sensibiliser les différents intéressés, entreprises et pouvoirs publics, à l'évolution technologique en cours et à ses conséquences et de constituer une base indispensable pour définir les politiques de R-D et les politiques économiques efficaces.

De telles prévisions vont, de plus en plus, apparaître indispensables pour que notre industrie reste en mesure de maîtriser le progrès technique qui inexorablement se poursuit et évite de se préparer à la bataille technologique d'hier, sinon d'avant-hier...

---

(9) Cette étude avait également intéressé l'O.C.D.E. lors de l'enquête internationale qu'elle avait lancée sur l'avancement de la prévision technologique dans le monde. Voici ce qu'on pouvait lire dans le rapport final de l'OCDE «La prévision technologique» rapport de Erich Jantsch, p. 22: «A l'échelon national, la prévision technologique n'intervient que progressivement dans la planification générale. Les deux tentatives les plus frappantes ont été faites en France et aux États-Unis». Dans ce premier pays «la plus grande partie des travaux n'est plus confiée à l'administration, mais à un Institut scientifique sous contrat». C'était le B.I.P.E. et il s'agissait de la prévision ici présentée.