



HAL
open science

Méthode de hiérarchisation des éléments d'un système : essai de prospective du système de l'énergie nucléaire dans son contexte sociétal

Jean-Claude Duperrin, Michel Godet

► To cite this version:

Jean-Claude Duperrin, Michel Godet. Méthode de hiérarchisation des éléments d'un système : essai de prospective du système de l'énergie nucléaire dans son contexte sociétal. [Rapport de recherche] Centre national de l'entrepreneuriat(CNE); CEA. 1973, 63 p., figures. hal-02185432

HAL Id: hal-02185432

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02185432v1>

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.

CEA-R-4541
F.11
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

LG LIP 2

**METHODE DE HIERARCHISATION
DES ELEMENTS D'UN SYSTEME
ESSAI DE PROSPECTIVE DU SYSTEME DE L'ENERGIE
NUCLEAIRE DANS SON CONTEXTE SOCIETAL**

par

Jean-Claude DUPERRIN, Michel GODET

Commissariat à l'Energie Atomique

**ÉTUDES
ÉCONOMIQUES**

Rapport CEA-R-4541

DECEMBRE 1973

Fa

SERVICE DE DOCUMENTATION

C.E.N. - SACLAY B.P. n° 2, 91 190 - GIF-sur-YVETTE - France

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA
(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et cermets		
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 10	Economie
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 30	Documentation nucléaire
		F 40	Sauvegarde et contrôle
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique	F 60	Divers

Rapport CEA-R-4541

Cote-matière de ce rapport : F.11

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

en français

en anglais

SCIENCES ECONOMIQUES

ECONOMICS

ENERGIE NUCLEAIRE

NUCLEAR ENERGY

- Rapport CEA-R-4541 -

Commissariat à l'Energie Atomique
Département des Programmes

METHODE DE HIERARCHISATION DES ELEMENTS
D'UN SYSTEME
ESSAI DE PROSPECTIVE DU SYSTEME DE L'ENERGIE
NUCLEAIRE DANS SON CONTEXTE SOCIETAL

par

Jean-Claude DUPERRIN
et Michel GODET

- Décembre 1973 -

LISTE DES RAPPORTS ECONOMIQUES DEJA PARUS :

Rapport CEA-R-2325	CALCUL DES IMMOBILISATIONS FINANCIERES DES CYCLES DE COMBUSTIBLE	CALCULATION OF THE WORKING CAPITAL INVESTED IN FUEL CYCLES AND ITS INTEREST CHARGES	J. GAUSSENS	Novembre 1963
Rapport CEA-R-2458	RECHERCHE D'UNE POLITIQUE DE GESTION DU COMBUSTIBLE D'UNE PILE PISCINE	CALCULATION OF AN OPTIMUM FUEL POLICY FOR A POOL TYPE RESEARCH REACTOR	Dpt des Programmes	Mai 1964
Rapport CEA-R-2541	ETUDE ECONOMIQUE DU SITE DE MARCOULE	AN ECONOMIC STUDY OF THE SITE OF MARCOULE	H. DUPRAT	Août 1964
Rapport CEA-R-2642 Genève 64 Conf. 28/P/98	PERSPECTIVES A LONG TERME DES COUTS DE TRAITEMENT DE L'URANIUM NATUREL IRRADIE TAILLES ET LOCALISATIONS OPTIMALES DES USINES	LONG TERM PROSPECTS OF IRRADIATED NATURAL URANIUM PROCESSING COSTS. OPTIMUM PLANT SIZES AND SITES	L. THIRIET C. OGER P. de VAUMAS	Août 1964
Rapport CEA-R-2646 Genève 64 Conf. 28/P/91	ETUDE SUR LA PRODUCTION D'EAU LOURDE EN FRANCE	STUDY OF THE PRODUCTION OF HEAVY WATER IN FRANCE	B. LEFRANCOIS J.M. LERAT E. ROTH	Août 1964
Rapport CEA-R-2648 Genève 64 Conf. 28/P/89	ENSEIGNEMENTS TIRES DES ETUDES ET REALISATIONS FRANCAISES RELATIVES A LA SEPARATION DES ISOTOPES DE L'URANIUM	DEDUCTIONS BASED ON STUDIES OF URANIUM ISOTOPE SEPARATION AND FRENCH ACHIEVEMENTS IN THIS FIELD	C. FREJACQUES R. GALLEY	Août 1964
Rapport CEA-R-2669 Genève 64 Conf. 28/P/64	COUT DE TRANSPORT DES COMBUSTIBLES IRRADIES ET COUT D'ENTRETIEN D'UNE USINE DE TRAITEMENT CHIMIQUE DES COMBUSTIBLES IRRADIES	COST OF TRANSPORTING IRRADIATED FUELS AND MAINTENANCE COSTS OF A CHEMICAL TREATMENT	Y. SOUSSELIER	Août 1964
Rapport CEA-R-2685 Genève 64 Conf. 28/P/46	ASPECT ECONOMIQUE DES REACTEURS PRODUISANT DE L'ELECTRICITE ET DE LA CHALEUR INDUSTRIELLE	ECONOMIC ASPECTS OF ELECTRICITY AND INDUSTRIAL HEAT GENERATING REACTORS	J. GAUSSENS N. MOULLE F. DUTHELL J. ALDEBERT	Août 1964
Rapport CEA-R-2689 Genève 64 Conf. 28/P/41	LA FILIERE DES REACTEURS A NEUTRONS RAPIDES EN FRANCE	THE FAST NEUTRON REACTOR SERIES IN FRANCE	J. VENDRYES J. GAUSSENS R. PASQUER	Août 1964
Rapport CEA-R-2692 Genève 64 Conf. 28/P/37	QUELQUES ASPECTS ECONOMIQUES DE LA FILIERE URANIUM NATUREL - GRAPHITE-GAZ	SOME ECONOMIC ASPECTS OF NATURAL URANIUM GRAPHITE GAS REACTOR TYPES	J. GAUSSENS P. TANGUY B. LEO	Août 1964
Rapport CEA-R-2795	ETUDE DES VALEURS ET DES PRIX DU PLUTONIUM A LONG TERME - UN MODELE DE PARAMETRE SIMPLIFIE	STUDY OF THE LONG TERM VALUES AND PRICES OF PLUTONIUM - A SIMPLIFIED PARAMETRISED MODEL	J. GAUSSENS H. FAILLOT	Mai 1965
Rapport CEA-R-2866	OPTIMISATION DES CYCLES DE COMBUSTIBLES : VALEUR MARGINALE DES PERTES	FUEL CYCLE OPTIMISATION : MARGINAL VALUES OF LOSSES	J. GAUSSENS B. de LASTEYRIE J. DOUMERC	Août 1965
Rapport CEA-R-2937	COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES USINES DE RETRAITEMENT DE L'URANIUM	CAPITAL AND RUNNING COSTS OF PLANTS FOR REPROCESSING OF IRRADIATED NATURAL URANIUM	L. THIRIET C. JOUANNAUD J. COUTURE J. DUBOZ D. OGER	Janvier 1966
Rapport CEA-R-3022	MODELE MATHEMATIQUE DU COUT DE TRANSPORT MARITIME - APPLICATION A LA COMPETITIVITE DU NAVIRE NUCLEAIRE	A MATHEMATICAL MODEL FOR COST OF CARRIAGE BY SEA - APPLICATION TO COMPETITIVENESS OF NUCLEAR VESSELS	C. DORVAL	Mai 1966
Rapport CEA-R-3072	LE DIMENSIONNEMENT OPTIMUM DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION MIXTE D'EAU DESSALEE ET D'ELECTRICITE FAISANT INTERVENIR L'ENERGIE NUCLEAIRE	CHOICE OF OPTIMUM SIZE OF INSTALLATIONS FOR DUAL PURPOSE PRODUCTION OF DESALTED WATER AND ELECTRICITY USING NUCLEAR POWER	J. GAUSSENS	Septembre 1966
Rapport CEA-R-3355	PROBLEMES DE TARIFICATION DE L'EAU DOUCE OBTENUE A PARTIR D'UNE INSTALLATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER	PROBLEMS OF PRICING FRESH WATER OBTAINED FROM A SEA WATER DESALINATION PLANT	J. GAUSSENS	Juillet 1967
Rapport CEA-R-3364	TAILLES ET LOCALISATIONS OPTIMALES DES USINES DE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES NUCLEAIRES	OPTIMAL SIZES AND SITING OF NUCLEAR FUEL REPROCESSING PLANTS	L. THIRIET	Août 1967
Rapport CEA-R-3449	PROBLEMES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES LIES AU DEVELOPPEMENT DES METHODES DE TRAITEMENT ET D'UTILISATION DES DECHETS RADIOACTIFS	TECHNICAL AND ECONOMIC PROBLEMS RELATED TO THE DEVELOPMENT OF RADIOACTIVE WASTE PROCESSING AND UTILISATION TECHNIQUES	L. THIRIET J. SAUTERON C. OGER	Février 1968
Rapport CEA-R-3818	APERCU SUR LE MARCHÉ DE L'EAU DESSALEE EN FRANCE POUR DE PETITES UNITES	REVIEW OF THE DESALINATED WATER MARKET IN FRANCE FOR SMALL UNITS	F. DUTHAIL M. MALISSEN	Mai 1969
Rapport CEA-R-3836	LES CONDITIONS DE CONCURRENCE ENTRE LA PRODUCTION D'EAU PAR DESSALEMENT ET LES RESSOURCES NATURELLES	CONDITIONS OF COMPETITION BETWEEN THE PRODUCTION OF WATER BY DESALINATION AND NATURAL RESOURCES	J. GAUSSENS	Juin 1969
Rapport CEA-R-3837	FACTEURS ET INCERTITUDES DE LA RENTABILITE DU RECOURS A L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS LE DESSALEMENT DES EAUX	FACTORS AND UNCERTAINTIES IN THE PROFITABILITY OF USING NUCLEAR ENERGY IN DESALINATION OF WATER	L. THIRIET P. LIEVRE	Juin 1969
Rapport CEA-R-4019	INFLUENCE SUR LA STRUCTURE DES PROGRAMMES NUCLEAIRES ET LES USINES DE CYCLES DE COMBUSTIBLE DE LA CADENCE D'INSTALLATION DES REACTEURS A NEUTRONS THERMIQUES	EFFECTS OF THE RATE OF THERMAL REACTORS CONSTRUCTION ON THE NUCLEAR PROGRAM STRUCTURE	J. GAUSSENS H. FAILLOT	Juillet 1970
Rapport CEA-R-4075	ECONOMIE COMPAREE DU RETRAITEMENT PAR VOIES SECHE ET HUMIDE DANS LE CADRE DU CYCLE DE COMBUSTIBLE DES REACTEURS SURREGENERATEURS	METHOD FOR A LONG TERM ECONOMIC COMPARISON OF NON AQUEOUS AND AQUEOUS REPROCESSING AS A PART OF THE FUEL CYCLE OF BREEDER REACTORS	L. THIRIET	Septembre 1970
Rapport CEA-R-4191	ESSAI D'ANALYSE THEORIQUE ET PRATIQUE DE LA SECURITE DANS LE DOMAINE DE L'ENERGIE	A THEORETICAL AND PRACTICAL ANALYSIS OF SAFETY CONSIDERATIONS IN POWER INDUSTRIES	M. POTIER M. COSTANTINI R. BONNET	Août 1971
Rapport CEA-R-4247	UN EXEMPLE D'UTILISATION DE LA METHODE DELPHI PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE COEURS ARTIFICIELS	A DELPHI TECHNIQUE APPLICATION MODEL - THE DEVELOPMENT POSSIBILITIES OR ARTIFICIAL HEARTHS	J.C. DERIAN F. MORIZE R. de VERNEJOL R. VIAL	Novembre 1971
Rapport CEA-R-4438	UNE NOUVELLE METHODE DE QUANTIFICATION DE LA VALEUR DES INNOVATIONS ESSAI DE PROSPECTIVE DU SYSTEME DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS SON CONTEXTE SOCIETAL	A NEW METHOD FOR QUANTIFYING THE VALUE OF INNOVATIONS AN ATTEMPT AT FORECASTING NUCLEAR ENERGY SYSTEMS WITH THEIR SOCIETAL CONTEXT	L. THIRIET J.C. DUPERRIN M. GODET	Février 1973 Juillet 1973

LISTE DES RAPPORTS ECONOMIQUES A PARAITRE :

ETUDE ECONOMETRIQUE DU RECYCLAGE DU PLUTONIUM DANS LES REACTEURS A EAU ORDINAIRE	ECONOMETRICAL STUDY OF PU RECYCLING IN WATER REACTORS	J.C. CHARPENTIER A. DELEDDIQ L. THIRIET
EXTENSION DE LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE A DES PROCESSUS NON SEQUENTIELS : APPLICATION AU DIMENSIONNEMENT OPTIMAL DES INVESTISSEMENTS	EXTENSION OF DYNAMIC PROGRAMMING TO NON SEQUENTIAL PROCESSES : AN APPLICATION TO PLANT OPTIMAL SIZING	
ANALYSE METHODOLOGIQUE DES PRIX ET DES COUTS DE L'ENERGIE	METHODOLOGICAL ANALYSIS OF ENERGY PRICES AND COSTS	R. BOURGEOIS R. BONNET

S O M M A I R E

AVANT-PROPOS

INTRODUCTION p. I

I - METHODOLOGIE p. 2

A) Hypothèses de travail: vision globale,
liaisons évolutives, variables d'opinions p. 3

B) Méthode adoptée : prise en compte de
l'ensemble des boucles et des chaînes
d'influence d'un système complexe. p. 5

II - MISE EN PRATIQUE p. 13

A) Appréhension du problème : "photographie"
du système énergétique français

B) Compréhension p. 18

I. Détermination des facteurs suscep-
tibles d'infléchir l'évolution
du système p. 18

2. Prise en compte des liaisons
directes et indirectes entre
ces facteurs. p. 32

C) Explication : quelques éléments de la grille
des futurs possibles p. 44

C.₁ scénario du prévisionniste p. 45

C.₂ scénario du planificateur p. 50

C O N C L U S I O N p. 59

B I B L I O G R A P H I E p. 60

ANNEXE M I C - M A C

A V A N T - P R O P O S

La recherche de tendances lourdes et l'extrapolation dans l'avenir des situations actuelles, par corrélations avec certains indicateurs économiques est la méthode qui vient naturellement à l'esprit quand il s'agit d'effectuer des prévisions. Son efficacité est cependant limitée à un horizon relativement proche, car elle suppose l'invariance des structures actuelles et ne tient que peu ou pas compte des facteurs porteurs d'avenir, des mutations de tous ordres, susceptibles d'infléchir ces tendances dans un sens ou dans un autre.

S'agissant donc de prospective, l'identification de tous les facteurs impliqués et de leur degré d'implication compte tenu de leurs mutuelles interdépendances, en d'autres termes la recherche d'une vision globale, est indispensable. Il est nécessaire pour cela d'élaborer une méthode permettant de rassembler ces facteurs dans une même structure, de considérer les liaisons entre ces facteurs comme explicatives de transformations envisageables de cette structure afin de pouvoir construire des scénarii d'évolution possible.

C'est une telle méthode que J.C. DUPERRIN et M. GODET se sont attachés à étudier. Elle s'inspire de la démarche générale de l'analyse de système. Un système est, rappelons-le, un ensemble complexe en interaction avec son environnement, dont les différents éléments sont reliés entre eux par une logique interne. L'étude de l'évolution de ce système dans le temps doit permettre d'identifier les ensembles possibles d'objectifs cohérents, de rechercher les moyens alternatifs pour parvenir à ces objectifs, c'est-à-dire les politiques envisageables, compte tenu de l'évolution possible ou souhaitable du système.

Elle s'efforce de combiner les prévisions et prospectives verticales, de nature technologique et intrasectorielle et les prévisions et prospectives horizontales, sociologiques et intersectorielles. La prospective est nécessairement sociale ou plutôt "sociétale" pour reprendre une expression que l'on utilise de plus en plus fréquemment pour parler de la société dans son ensemble, et cette prospective sociétale est caractérisée par l'étude des relations et interactions dynamiques entre technologies et société, que celles soient quantitatives ou demeurant qualitatives.

La prospective sociétale cherche encore sa voie et progresse avec toute la prudence d'une démarche scientifique. La procédure d'intégration retenue est celle des matrices d'analyse structurelle qui peuvent sans trop de difficultés être soumises à un traitement informatique.

Le présent rapport économique est consacré à l'exposé de la méthode retenue et à son illustration par l'exemple de l'énergie nucléaire. Nous nous proposons maintenant de poursuivre un effort de simplification et de rationalisation de la méthode proposée pour la rendre plus aisément applicable.

L. THIRIET

Chargé des Etudes Economiques Générales

METHODE DE HIERARCHISATION DES ELEMENTS D'UN SYSTEME

ESSAI DE PROSPECTIVE DU SYSTEME DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS SON CONTEXTE SOCIETAL

INTRODUCTION :

La prévision économique résulte habituellement de simples extrapolations de tendances ou de modèles plus élaborés, la plupart des variables prises en compte sont le plus souvent des variables quantitatives et peu nombreuses, alors qu'en pratique, les processus réels à étudier font appel à des variables qualitatives nombreuses et sont de plus en plus complexes et diversifiés ; les résultats obtenus à partir de tels modèles ou d'extrapolations de tendances sont insuffisants. Le problème général que nous nous proposons d'aborder est de déterminer dans quelle mesure certains facteurs pourraient infléchir dans un sens ou dans l'autre les courbes de développements prévus pour la fin du siècle et concernant certains phénomènes sociaux, économiques et écologiques.

S'agissant donc de prospective, une réflexion méthodologique préalable s'impose, c'est l'objet d'une première partie de ce rapport, consacrée à l'exposé de la méthode prospective adoptée, c'est-à-dire à l'explication des principes de base et des choix qui doivent guider la démarche.

Une deuxième partie se propose d'illustrer la méthodologie par un cas concret : le système de l'énergie nucléaire.

I - METHODOLOGIE

Pour situer notre approche, précisons qu'elle s'insère dans le cadre méthodologique général de l'analyse de système, c'est-à-dire qu'elle est capable de rendre compte de ce qu'il y a de non systématique dans les systèmes. Plus précisément, notre démarche peut s'intituler "prospective sociale", autrement dit, elle représente la forme la plus englobante d'interrogation sur le futur. Cette prospective sociale englobe la prévision et la planification à long terme ainsi que la prévision technologique * qui constituent autant de formes particulières donc restreintes de prospective.

La prévision se présente la plupart du temps sous forme de modèles qui ne prennent en compte que le quantifiable ; les résultats s'énoncent simplement : par exemple, l'an 2000 verra en France une consommation d'électricité par habitant trois fois supérieure à celle de 1970. Cette démarche exploratoire s'appuie essentiellement sur des corrélations simples entre indicateurs économiques du type "Energie - P.N.B.", complétées par des extrapolations de tendances qui permettent de déduire, à partir du P.N.B. prévu pour l'an 2000, le niveau de consommation d'énergie par habitant en cette même année. La magie du chiffre donne à ces résultats une allure de certitude, la démarche normative vient compléter le raisonnement : on part du résultat et on dessine le futur qui permettra de l'atteindre.

En même temps qu'ils donnent une prévision du développement d'un secteur, les responsables de la planification à long terme définissent un programme d'installations permettant de suivre la courbe de développement prévu.

L'objet de notre étude consiste à reconsidérer ce type de prévision à partir de l'idée simple selon laquelle les éléments non mesurables risquent d'être déterminants ; l'essentiel est peut-être ce que l'on ne connaît pas. Notre propos est donc de prendre en compte, dans la mesure du possible, le qualitatif, en plus du quantitatif, ce que l'on perd en formules, on le gagne en serrant de plus près la réalité.

* La science est un produit de la société et ne peut donc suffire à l'expliquer.

A/ HYPOTHESES DE TRAVAIL

1) Vision globale

On ne peut faire de prospective sans replacer le sujet étudié dans le système économique et social auquel il appartient ; ce système économique et social est appréhendé sous forme d'une structure complexe, composée de plusieurs sous-structures liées et l'explication du devenir de chaque sous-structure englobée passe par la compréhension de la structure englobante (I).

2) Liaisons évolutives

Les éléments de cette structure globale forment un tout, mais la structure ne se réduit pas à une simple juxtaposition d'éléments, elle est un édifice dont chaque partie conditionne l'équilibre.

Aussi dans l'étude du devenir d'une structure composée de plusieurs blocs en relation, ce qui importe, ce n'est pas de projeter chacun des blocs à l'horizon considéré et d'opérer par simple homothétie puis de rassembler les morceaux, mais de déterminer les facteurs susceptibles d'avoir un impact sur les liaisons ; les facteurs significatifs, étant entendu que l'on retient l'évolution de ces liaisons comme explicative d'une transformation possible de la structure en cause (la société) et par là même de ses éléments constitutifs.

3) Variables d'opinions

En face du futur, le jugement personnel est le seul élément d'information accessible pour la détermination des facteurs susceptibles d'agir sur le cours des événements.

Les variables que nous retenons ne sont pas objectives : ce sont des jugements sur l'apparition ou non d'événements et sur leurs influences réciproques. En effet, dans une certaine mesure, toutes les variables sont subjectives puisque le chercheur fait lui-même partie de la Société qu'il se propose d'étudier.

Pour effectuer cette prospective envisagée sous ces trois composantes (vision globale, liaisons évolutives, variables d'opinions), il faut donc :

- 1/ déterminer les facteurs porteurs d'avenir, les facteurs significatifs qui agissent sur les liaisons de ces sous-structures
- 2/ prendre en compte la dynamique des liaisons entre ces facteurs
- 3/ construire des scénarii et une grille des futurs possibles.

Une dernière étape resterait à franchir : le dessin d'une prospective de l'élément étudié.

Notre démarche s'inspire du principe du rejet de l'explication causale, selon laquelle l'explication d'un état présent ne saurait se trouver que dans le passé alors qu'il s'agit plutôt d'explorer le passé et de l'expliquer à partir du présent ; il faut donc envisager ce présent comme un état dynamique et concret de tension entre les forces orientées vers l'avenir et leur blocage par des forces agissant en sens contraire qui tendent à empêcher son développement (3).

Il est donc inutile de rattacher d'une façon déterministe le présent à l'avenir, mais il faut plutôt envisager l'avenir relié au présent, de la même manière que le présent explique le passé. Comme le note le Professeur GOUX : "L'avenir est la clef d'explication du présent".

Nous connaissons assez bien les forces du passé, mais pour expliquer le présent, il faut en plus connaître l'avenir, on comprend mieux en 1972 ce qui s'est passé en 1960 ; pour comprendre ce qui se passe en 1972, il faut donc se placer en 1985 ou au-delà.

Inversement, pour éliminer dans la grille des possibles ce que C. GOUX appelle "les logiquement possibles mais historiquement impossibles", il faut prendre comme critère de choix le présent. Nous dessinerons une prospective de l'élément étudié en repérant dans la grille des possibles le ou les futuribles qui sont le plus cohérent avec le présent tel qu'on le voit ; bien entendu, cette démarche passe par une lecture du présent qui dépend du système de valeurs adopté.

B/ METHODE ADOPTEE

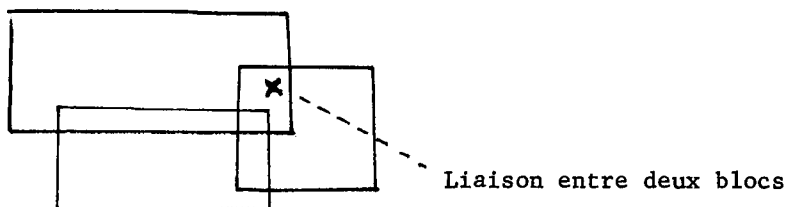
La méthode retenue pour déterminer un futur possible passe donc par la construction d'une structure qui rende compte de l'évolution d'un domaine, à un moment donné, dans un contexte dynamique plus général. A cet effet, il est possible d'emprunter un chemin en plusieurs étapes : appréhension, compréhension, explication.

- L'appréhension consiste à situer le secteur étudié par rapport à tous les autres, à "photographier" l'état du système dans sa totalité. Cette description de la structure globale ayant d'ailleurs une fonction explicative pour l'étude du devenir et des transformations des structures particulières qui en font partie (I).
- La deuxième étape vise à spécifier les liaisons entre les sous-structures et donc à déterminer les facteurs les plus importants qui agissent sur les liaisons.
- La dernière étape intitulée explication se caractérise tout d'abord par la construction de la grille des possibles, illustrée par des scénarii ; il convient ensuite de déterminer dans cette grille les futurs les plus probables.

I/ APPREHENSION

L'étude de l'appréhension passe par une phase préliminaire qui permet de définir les éléments moteurs de la sous-structure ou bloc, sur lequel doit s'effectuer l'étude prospective. L'inventaire des connaissances acquises sur le sujet permet de dégager ce que l'on peut appeler le "noyau de l'étude".

La phase suivante consiste à relever les liens qui existent entre ce noyau et les autres blocs composant la structure globale :



Représentation de la structure globale

II/ C O M P R E H E N S I O N

L'éclatement du noyau central permet de dégager plusieurs blocs en relation. Ces blocs s'imbriquent dans une structure qui n'est pas réduite à une simple juxtaposition des éléments qui la constituent, mais qui se définit aussi par les relations que ces éléments entretiennent entre eux. La phase de compréhension implique donc la recherche d'information sur la nature évolutive des facteurs, puisque conformément à ce que nous avons exposé en détail précédemment, l'évolution des liaisons est explicative de la transformation de cette structure et, par conséquent, de ses éléments constitutifs. Il s'agit donc de mettre en relation certains éléments considérés comme significatifs et de présenter sous une forme compréhensible les liaisons entre ces éléments.

A/ DETERMINATION DES FACTEURS

L'étude des systèmes complexes fait intervenir des variables purement qualitatives et d'autres qui sont quantifiables. De plus certaines variables sont composites et ne peuvent être appréhendées que par de multiples explicitations. Par conséquent nous appellerons facteurs significatifs aussi bien les objectifs principaux et secondaires du système que les événements qui, s'ils de produisent ont une influence sur un élément de la structure ou sur plusieurs à la fois.

La notion d'évènement retenue pour définir les facteurs doit être comprise au sens large. Elle recouvre :

- d'une part, des événements au sens strict qui ont lieu ou qui n'ont pas lieu.

ex. Catastrophe mondiale : guerre nucléaire ou cataclysme naturel

- d'autre part, des variables résultant de phénomènes politiques et économiques connus, comme par exemple celui de la dépendance énergétique croissante des pays européens vis-à-vis des pays détenteurs de source d'énergie. L'évènement considéré est la décision politique retenant la variable "objectif d'indépendance énergétique" comme une des composantes essentielles de politique économique intérieure et extérieure du pays considéré.

Trois conditions se rattachent à ces facteurs ; ils doivent :

- caractériser au mieux l'information disponible sur la structure
- être pertinents, c'est-à-dire propres à rendre compte de l'évolution de la structure par leur impact.
- enfin être susceptibles d'un traitement mathématique.

Afin d'identifier de façon aussi exhaustive que possible les facteurs agissant sur les liaisons, c'est-à-dire de déterminer les développements explicatifs de l'évolution de la structure étudiée, on peut adopter une grille de lecture systématique ; chaque élément de la structure globale est examiné sous les angles politique, économique, technologique, psychologique, sociologique, et sous celui de l'environnement. Nous obtenons ainsi une liste de N facteurs appartenant à M blocs différents.

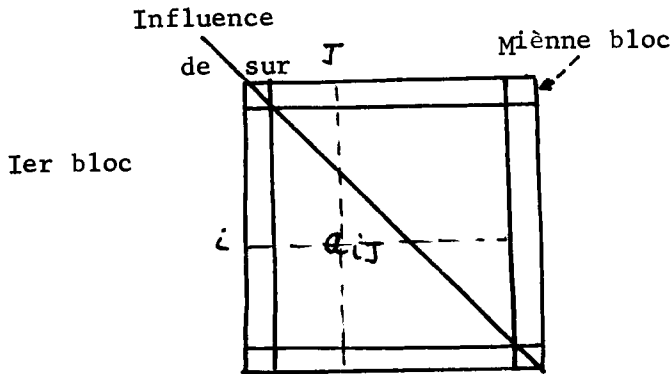
En outre, précisons que les facteurs sont écrits "pêle-mêle" aucune hiérarchie n'est imposée, aucun pré-ordre n'est recherché, même si certains d'entre eux peuvent être considérés comme plus importants que d'autres. Par la suite, nous particulariserons certains dont on cherche à déterminer les influences qui s'exercent sur eux ainsi que leurs impacts : les variables - cibles.

B/ Prise en compte des liaisons entre facteurs.

=====

I/ Matrice d'incidence générale

Les N facteurs sont mis en lignes et en colonnes formant ainsi une matrice d'incidence qui résume l'ensemble des liens positifs et négatifs que ces N facteurs tissent entre eux.



A : Matrice d'incidence générale

$$a_{ij} = \begin{cases} + I & \text{lorsque l'influence est positive} \\ - I & \text{lorsque l'influence est négative} \\ 0 & \text{lorsqu'il n'y a pas d'influence.} \end{cases}$$

Il convient de noter que l'intitulé de chaque facteur n'est pas un parti pris dans un sens ou dans l'autre; modifier l'intitulé revient à changer éventuellement le signe de la liaison.

L'intérêt d'une telle matrice est d'intégrer dans un tout l'ensemble des liens que ces facteurs tissent entre eux, afin d'étudier de façon systématique les chaînes et les boucles d'interactions, étude que notre esprit ne pourrait aborder que de façon parcellaire, sans le support de cette matrice d'incidence.

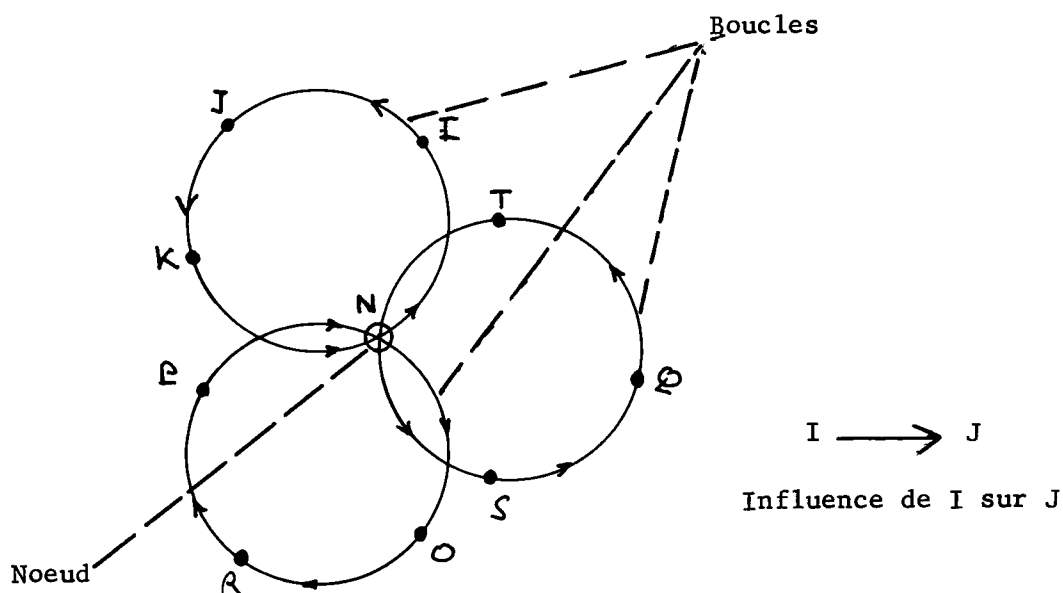
2) Matrice réduite.

Le nombre vraisemblablement élevé de facteurs retenus ne se prêtant guère à une exploitation directe, il nous paraît judicieux de sélectionner parmi eux les plus importants.

A cette fin, une première idée s'impose : classer les facteurs en fonction du nombre de liaisons qui arrivent sur eux ou qui partent d'eux; on obtient un premier classement suivant les liaisons, mais il s'avère insuffisant pour deux raisons :

1. Ce classement reste subjectif, il découle directement de l'interprétation personnelle donnée aux interactions entre facteurs.
2. Seules, les interactions directes sont prises en compte; il faut considérer les chaînes d'influences, ce que nous proposons de faire.

Notre système de facteurs étant inter-dépendant, il paraît logique de considérer les boucles d'influences et de classer chaque facteur en fonction du nombre de boucles dans lesquelles il est impliqué.



Pour obtenir ce résultat, nous avons fait appel au programme MIC-MAC (Matrice d'Impacts Croisés, Multiplication Appliquée à un Classement) (cf Annexe technique). Ce traitement informatique aboutit à un classement ordinal des facteurs considérés comme des noeuds entre boucles.

Nous retenons tous les facteurs qui sont mieux classés que ceux définis comme cibles de l'étude. L'examen des facteurs finalement sélectionnés est l'occasion de commentaires, En particulier, certains facteurs qui, au niveau des impacts directs pouvaient sembler assez peu importants, se révèlent très importants lorsque toutes les chaînes d'influences sont prises en compte.

III/ E X P L I C A T I O N D E L A S T R U C T U R E

L'étude prospective s'attache maintenant à tirer parti de la matrice d'incidence réduite aux facteurs les plus importants. L'interaction entre l'évènement "développement d'un facteur" et le développement des autres facteurs se trouve repéré dans cette matrice réduite d'une manière purement qualitative : un évènement, s'il se produit, favorise ou retarde l'apparition d'un autre facteur avec lequel il est en relation. Devant la densité des liaisons de cette matrice réduite, il est impossible d'imaginer un évènement sur lequel aucun autre évènement n'aurait d'influence et/ou qui serait sans conséquence sur le développement des autres facteurs. On peut alors dans un premier temps considérer le graphe représenté par les variables cibles ainsi que les boucles passant par ces variables. Bien que partiel, ce graphe se prête peu à une exploitation directe, aussi nous sélectionnons les boucles comprenant un nombre restreint de facteurs grâce à un programme appelé MICROBE (Matrice d'Impacts Croisés, Recherche Opérationnelle de Boucles Enchevêtrées).

Nous ne retenons que les boucles de faible longueur car dans le cas contraire le temps de latence entre les différents facteurs deviendrait trop important et la boucle perdrait de sa signification, en ce qui concerne la possibilité d'influence sur la variable-cible. Il est alors possible dans ce graphe partiel de repérer les variables de commandes, c'est-à-dire celles sur lesquelles nous pouvons agir.

Cette description d'un phénomène sous forme de graphe reste cependant purement qualitative et une amélioration possible consisterait à évaluer l'intensité des liaisons du graphe, c'est-à-dire à les quantifier. La méthode des Impacts Croisés semblerait bien adaptée pour traiter ce type de données quantitatives. Nos recherches actuelles s'orientent dans cette direction.

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'évènements à la suite de l'apparition de l'un d'eux. (7)

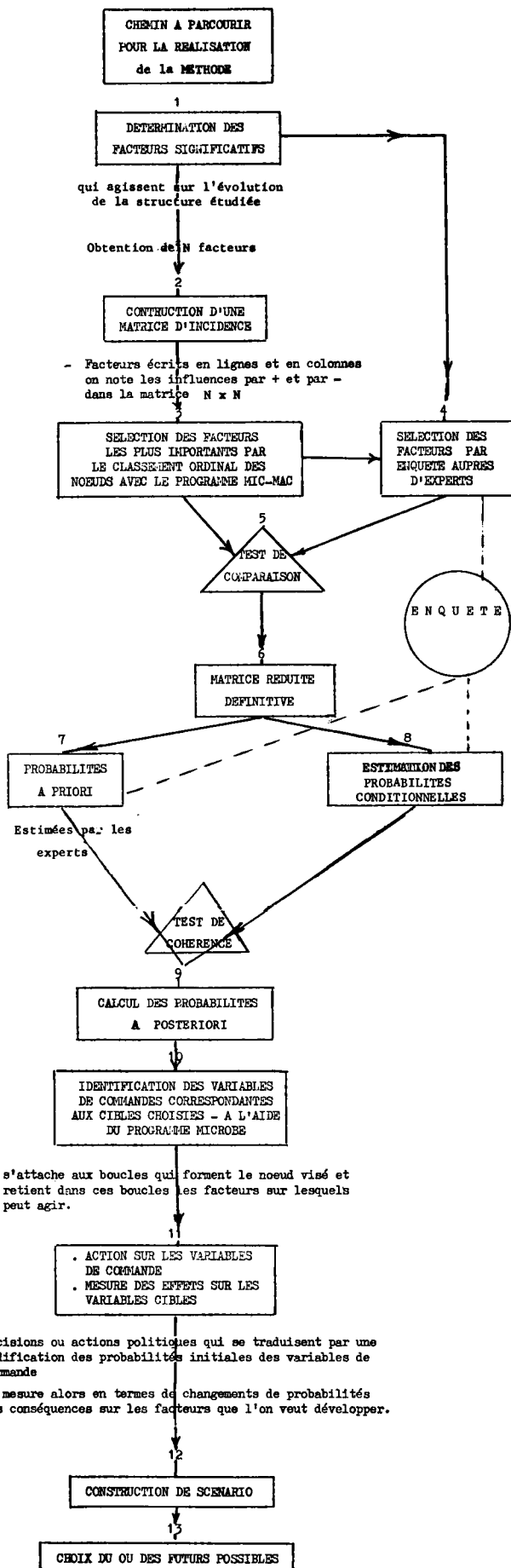
L'hypothèse de base de la méthode est que les probabilités a priori pour un horizon donné, tiennent compte des interactions mais incomplètement. C'est pourquoi, on construit une matrice des coefficients d'interactions ou une matrice des probabilités conditionnelles. Un test de la cohérence des informations ainsi recueillies permet de passer d'un système de probabilités a priori à un système de probabilités a posteriori.

Il est alors possible de tester l'influence d'une décision politique (actions sur les variables de commandes, probabilité de développement de ces facteurs = I) sur les probabilités de développement des autres facteurs, en particulier sur les variables-cibles.

L'exploitation de cette matrice d'impact croisé donnerait une "grille des possibles" permettant de construire des scénarii. Il resterait à repérer les futuribles les plus cohérents avec le présent tel qu'il serait vu, qui représenteraient autant de desseins prospectifs possibles.

En conclusion, la démarche proposée est représentée par le graphe suivant.

COMPREHENSION



EXPLICATION

II - M I S E E N P R A T I Q U E

Le système que constitue l'énergie nucléaire va nous permettre d'illustrer par l'exemple la méthode présentée dans la première partie. Lorsque cela sera nécessaire, nous rappellerons quelques indications méthodologiques, mais dans l'ensemble, la mise en oeuvre de cette partie pratique se réfère essentiellement au plan de recherche en trois étapes qui a été exposé précédemment.

A) APPREHENSION DU PROBLEME

L'appréhension du problème tourne autour de ce que nous avons appelé le noyau central, c'est-à-dire : "l'établissement industriel producteur d'énergie", avec en entrée les combustibles et en sortie les différentes formes d'énergie finale produite. Nous présentons un bilan énergétique de la France pour 1969 (baptisé "pieuvre énergétique" à cause de sa forme) ce qui nous permet de situer au préalable le noyau central dans un flux plus large qui va de l'ensemble des combustibles à leurs utilisations. Puis, nous faisons éclater le noyau vers les autres éléments de la structure dans laquelle il est impliqué. Nous dégageons finalement trois blocs en relations : le système social, le système écologique et le système productif dans son aspect énergétique.

I/ EXTRACTION DU NOYAU - BILAN ENERGETIQUE GLOBAL

Construire un bilan énergétique soulève quelques difficultés; pour rassembler les différentes formes d'énergie et leurs utilisations finales dans un même tableau, il faut adopter une unité de compte commune; historiquement, la T.E.C. (Tonne, Equivalent Charbon) joue ce rôle. Les documents de base qui ont servi à la construction de ce bilan concernent l'année 1969 (5) et (6), pour laquelle les données statistiques sont définitives.

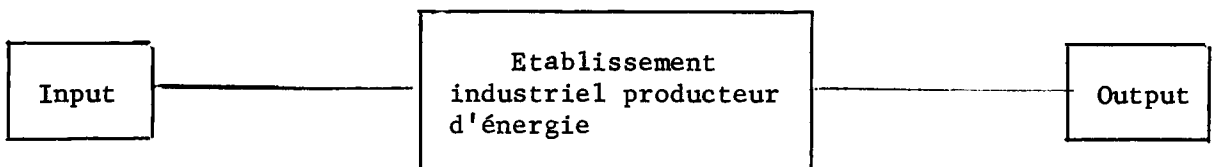
On dispose donc d'un système de coefficients d'équivalence pour passer d'une forme d'énergie à l'autre, par exemple $1\ 000\ \text{KWh} = 1/3\ \text{T E C}$; ceci signifie qu'il faut $1/3$ de T E C pour produire $1\ 000\ \text{Kwh}$; ces coefficients tiennent compte des pertes dues à la transformation dans les centrales (cycle de CARNOT). En fait, il faut considérer le pouvoir calorifique du charbon, soit $6\ 000\ \text{kcal/kg}$ et le comparer à l'équivalent thermique du Kwh ($1\ \text{Kwh} = 0,86\ 10^3\ \text{kcal}$).

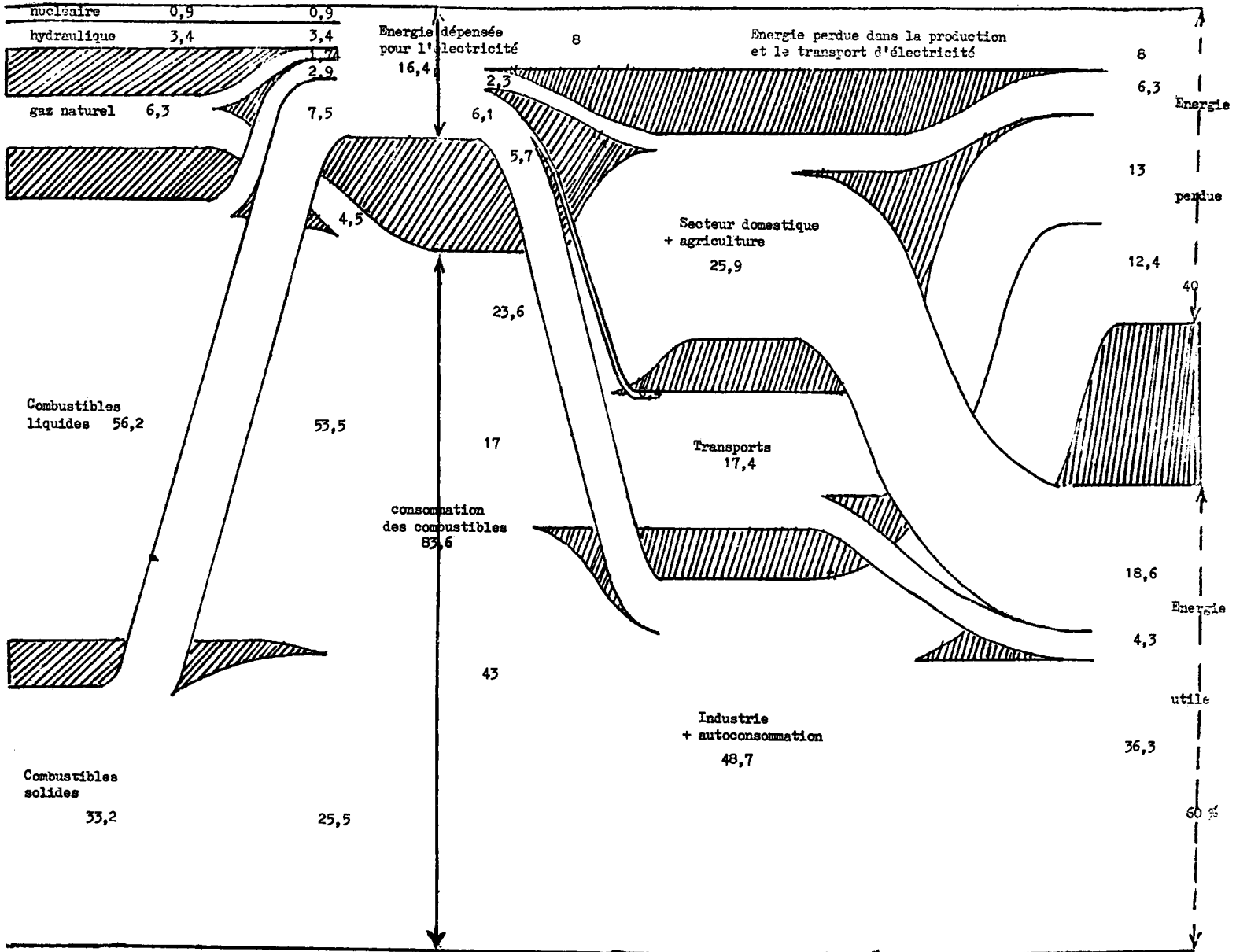
La différence représente les pertes d'énergie, soit environ $50\ %$ à $60\ %$ pour une centrale classique.

Le bilan traditionnel où les différents combustibles en entrée et leurs utilisations finales en sortie sont évalués dans l'unité de compte T E C, ne fait pas apparaître les pertes puisqu'elles sont comprises dans les coefficients d'équivalence entre pétrole, électricité et charbon. Pour construire le bilan énergétique, la "Pieuvre", il nous a donc fallu partir des combustibles solides, liquides et gazeux, et calculer leurs équivalences en thermies, en fonction de leur pouvoir calorifique respectif. Nous avons aussi évalué les pertes occasionnées par les différentes utilisations finales de ces combustibles pour la fabrication d'électricité, par exemple, les pertes ne sont pas les mêmes suivant que l'origine est hydraulique, nucléaire ou classique (charbon, fuel, gaz).

Ajoutons que le tableau suivant prétend seulement donner une image d'ensemble du système énergétique français. On constate finalement que seulement $60\ %$ de l'énergie consommée est effectivement utile et que $40\ %$ de cette énergie est dissipée dans le milieu, c'est-à-dire définitivement perdue.

A partir de ce bilan énergétique, nous pouvons dégager le noyau de l'étude représenté par trois sous-ensembles :





40%

but thermique

efficacite

100 (base 1341.10⁹ thermies)

PIEVRE ENERGETIQUE - ANNEE 1969

100

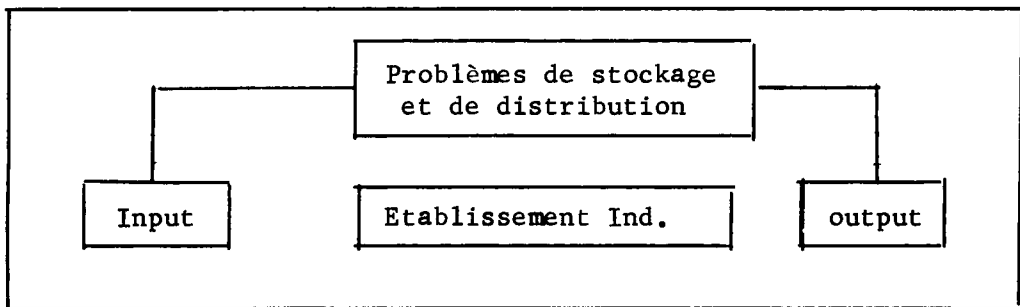
(Bilan en pourcentage)

France

2/ ECLATEMENT DU NOYAU

On ne peut étudier la prospective du développement de l'énergie nucléaire sans considérer cette énergie comme un output d'une certaine fonction de production, et sans replacer cette fonction dans le système économique et social auquel elle appartient.

1) Dans un bloc appelé "domaine productif", on peut discerner un sous-ensemble comprenant le type d'établissement industriel producteur d'énergie avec les input et les output puis un autre sous-ensemble regroupant les problèmes de stockage et de distribution

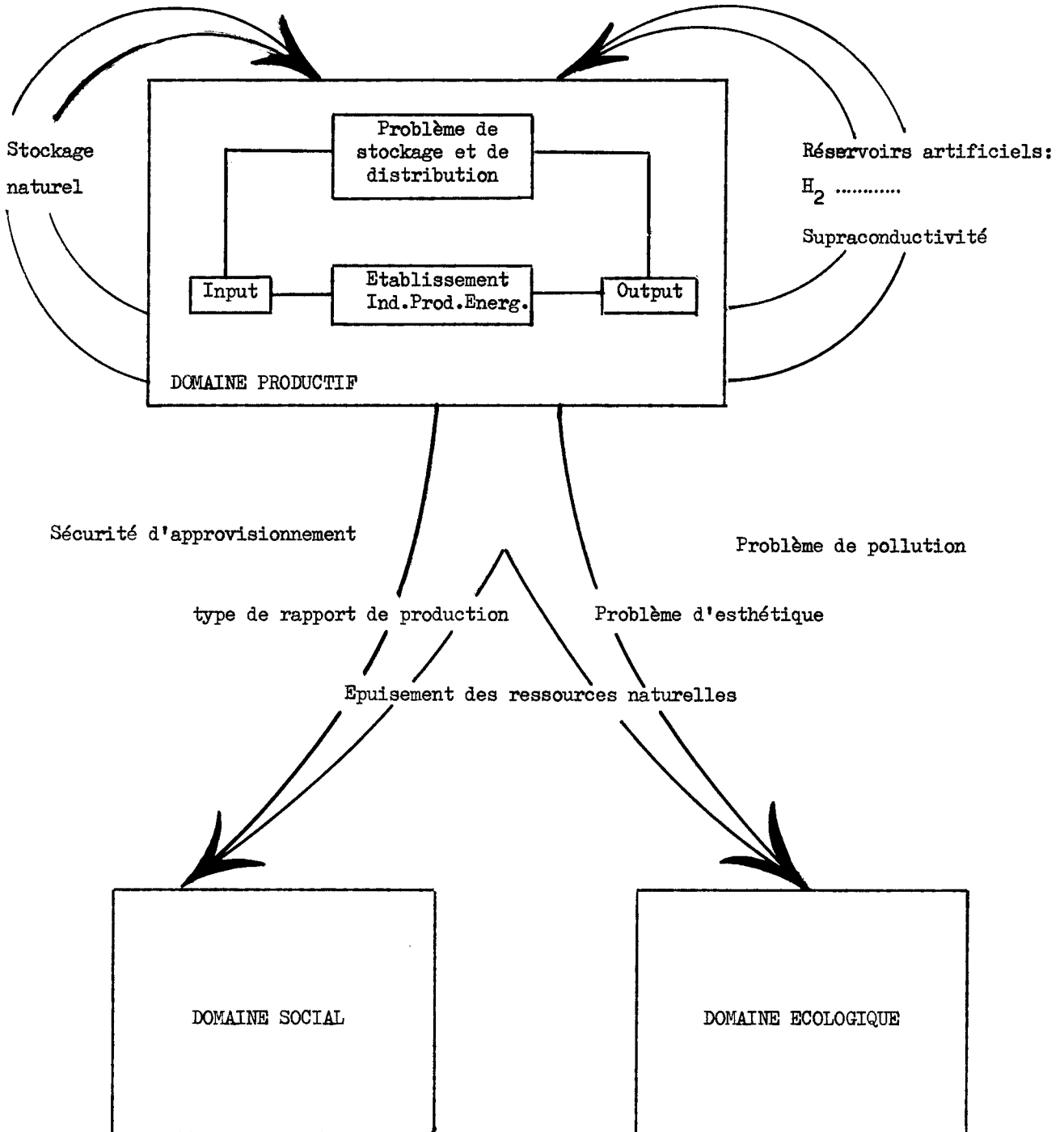


2) La fonction de cet établissement industriel est au service d'une certaine finalité implicite ou explicite de la société. En particulier, quels sacrifices et quels risques la Société est-elle prête à accepter pour satisfaire ses besoins en énergie ? L'objet de notre étude se rattache par conséquent à un deuxième bloc, le "domaine social", lui-même ouvert sur le monde extérieur puisqu'aucun pays ne peut organiser son développement sans tenir compte des autres pays.

3) L'introduction d'un tel établissement industriel producteur d'énergie n'est pas non plus sans interaction avec le milieu physique dans lequel il s'établit ; nous introduisons un troisième bloc que nous avons appelé "domaine écologique" (★)

(★) Ecologie : littéralement étude du milieu où vivent et se reproduisent les êtres vivants ainsi que des rapports de ces êtres avec ce milieu.

- ECLATEMENT DU NOYAU -



B) C O M P R E H E N S I O N

L'éclatement du noyau central permet de dégager trois blocs en relation : le système productif dans son aspect énergétique, le système social et le système écologique.

Ces blocs s'imbriquent dans une structure qui n'est pas réduite à une simple juxtaposition des éléments qui la constituent, mais qui se définit aussi par les relations que ces éléments entretiennent entre eux.

Après une attitude divergente (éclatement du noyau), nous allons adopter une démarche convergente (retour vers le noyau) pour mener à bien la recherche d'informations sur la nature des facteurs qui agissent sur les liaisons puisque, conformément à ce que nous avons exposé en détail dans la première partie méthodologique, l'évolution des liaisons est explicative d'une transformation de la structure étudiée.

I/ Détermination des facteurs

Rappelons que les facteurs significatifs sont les événements qui, s'ils se produisent, ont une influence sur un élément de la structure ou plusieurs à la fois.

La détermination et la spécification de ces facteurs s'est faite au sein d'une équipe pluridisciplinaire suivant une grille de lecture systématique : chaque élément de la structure a été examiné sous les angles politique, économique, technologique, psychologique, sociologique et sous celui de l'environnement.

Un consensus final a été obtenu sur une liste de 51 facteurs.

SYSTEME PRODUCTIF DANS SON ASPECT ENERGETIQUE

1) Objectif d'indépendance énergétique

Le souci de tout gouvernement est de dépendre le moins possible de l'extérieur pour son développement économique, celui-ci étant indissociable de la disponibilité à tout instant de l'énergie.

2) Décentralisation des industries de base vers les zones périphériques

L'Europe présente un "croissant" de développement qui part de Londres pour aboutir à la plaine du Pô. Certaines régions proches comme la Bretagne ou plus éloignées comme certains pays sous-développés, se trouvent exclues de ce pôle de développement. On peut se demander quel serait alors l'influence de l'installation des industries grosses consommatrices d'énergie dans ces régions.

3) Commerce mondial libre avec les pays du monde communiste

Le commerce mondial libre avec ces pays signifierait sous certaines conditions l'ouverture d'un immense marché pour l'écoulement de la production en provenance du bloc occidental ou pour son approvisionnement en ressources énergétiques.

4) Hypothèse de 900 TWh produits dans les centrales nucléaires en l'an 2000

Hypothèse retenue par le Plan français.

5) Implantation systématique de centrales nucléaires à partir de 1985

Quel que soit le niveau atteint par la production d'électricité, toutes les nouvelles centrales sont nucléaires à partir de 1985.

6) Ralentissement du taux de croissance économique

Depuis 10 ans, le taux de croissance du P.N.B. n'est pas inférieur à 4 %. D'aucuns pensent que ce taux va baisser. On pourrait retenir comme significatif d'un ralentissement un taux de 2 %.

7) Baisse significative du taux de croissance de la consommation d'électricité

Ce taux étant actuellement de 7 %, on peut retenir comme seuil significatif d'une baisse relative, un taux de 4 %.

- 8) Pas d'écart significatif entre le coût de l'énergie utile produite à partir des combustibles nucléaires et celui de l'énergie produite à partir d'autres combustibles.

Quel que soit le renchérissement qui pourrait arriver dans le cycle du combustible nucléaire, on peut prévoir qu'il n'y aura pas d'écart significatif entre le coût de l'énergie nucléaire ou "classique", compte tenu de l'évolution prévisible des coûts du pétrole.

- 9) Financement difficile des investissements nucléaires.

Les investissements nécessaires pour l'installation d'une centrale nucléaire sont plus importants que dans le cas d'une centrale classique. Certaines difficultés à financer les investissements nécessaires risquent alors de freiner le développement des centrales nucléaires.

- 10) Prix final de l'électricité bon marché sur le réseau E.D.F.

Ce facteur comporte un aspect psychologique : ressentir l'électricité comme bon marché, c'est favoriser la tendance à s'équiper tout électrique et par la même, favoriser le développement de la consommation d'électricité.

- 11) Développement de la production autonome d'énergie au niveau des installations finales.

D'avantage tributaire de l'énergie, l'utilisateur supportera de moins en moins les interruptions d'alimentation et dans un plus grand souci d'autonomie, le développement de l'énergie totale (le consommateur transformant lui-même le combustible suivant ses besoins) pourrait se développer.

- 12) Automatisation - Détours productifs de plus en plus longs

En même temps que les produits finals sont de plus en plus complexes et diversifiés, on a recours à des machines de plus en plus perfectionnées ayant besoin d'énergie électrique ou autre, en substitution de l'énergie humaine.

- 13) Parcs d'énergie concentration - moyens - lieux de production d'énergie

Il s'agit là d'une tendance qui touche à la fois les capitaux, les travailleurs, les outils de production. En plus des raisons de protection de l'environnement, des motifs économiques peuvent donc favoriser le développement de quelques grands complexes.

I4) Agriculture industrielle

Nous entendons par là une agriculture complètement intégrée au secteur industriel. Il peut s'agir d'une agriculture sous serre, sans terre ou industrielle tout court (les protéines indispensables à notre survie tirées du pétrole).

I5) Développement des réacteurs rapides et des convertisseurs

Les réacteurs à neutrons rapides ont la remarquable propriété de générer dans leur couverture plus de plutonium qu'ils ne consomment d'uranium dans leur coeur, ce qui permet d'économiser, entre autres avantages, le combustible.

I6) Développement des autres possibilités des réacteurs nucléaires

Certains produits secondaires - rayonnement chaleur, pourraient devenir principaux et faciliter l'apparition d'une nouvelle génération de réacteurs adaptés à ces finalités.

I7) Possibilité technique de stockage au niveau des matières premières et de l'énergie finale d'un an de consommation.

Il s'agit pour l'économie nationale de disposer aussi bien en énergie finale qu'en énergie potentielle d'un stock stratégique correspondant à un an de consommation

I8) Amélioration du rendement énergétique au niveau de la production, de la distribution, de l'utilisation.

Ces améliorations du rendement à tous les niveaux pourraient permettre une économie de combustible, grâce par exemple à la découverte de nouveaux alliages ou de progrès dans la supraconductivité.

I9) Invention ou développement technologique révolutionnaire

Il pourrait s'agir de développement spectaculaire au niveau de la production, par exemple : dans les domaines de la fusion ou de l'énergie solaire, énergie géothermique.

20) Développement de l'industrie électronucléaire

Devant l'ampleur des investissements et de la mise en oeuvre de techniques variées, seuls quelques grands groupes industriels peuvent se lancer dans la construction de centrales.

S Y S T E M E S O C I A L

21) Partage des responsabilités aux différents niveaux du corps social
(décentralisation)

L'information et la décision ne sont plus appropriées par quelques uns, mais se répartissent à des degrés divers entre les mains de tous ; l'information circule, les décisions se prennent à tous les niveaux.

22) Remise en question de la croissance en tant que mythe social justificateur

La notion de croissance économique est essentiellement matérielle : l'objectif officiel de tout gouvernement se limite seulement à tant de P N B/hab. Les aspirations ne sont **pourtant pas seulement matérielles** "on ne tombe pas amoureux d'un taux de croissance", mais portent aussi sur tout ce qui n'est pas comptabilisé : le droit au temps libre, au silence, à l'espace, à la nature.

Le jour où davantage de biens signifiera moins d'avantages, où l'homme se sentira enchaîné dans une production déchaînée et remettra en cause la croissance en tant que fin en soi, ce jour-là n'est pas impossible.

23) Instabilité politique des zones périphériques

Les pays producteurs de pétrole ou de gaz naturel font l'objet d'une grande incertitude politique qui tient à la différence de régime et/ou de développement, entre eux et les pays consommateurs.

24) Grippage des rouages institutionnels et sociopolitiques débouchant ou non sur un changement de système socio-économique.

Il s'agit de savoir si le régime de démocratie parlementaire pourra canaliser les revendications et les prendre en compte afin de satisfaire les aspirations correspondantes. Face à une "société bloquée", le système en place présentera-t-il assez de souplesse pour s'adapter et de résistance pour ne pas changer fondamentalement.

25) Catastrophe mondiale

Guerre nucléaire ou cataclysme naturel.

26) Société plus planifiée plus organisée

Il est vraisemblable que les prises de conscience et les décisions devront (elles le sont déjà en partie) être coordonnées et organisées au niveau national et international, au fur et à mesure que les problèmes de pollution, par exemple, deviendront planétaires.

27) Peur de l'atome

L'atome fait peur parce qu'il est inconnu, ou mal connu, c'est ce que nous avons appelé la "hantise d'Hiroshima" qui conduit à assimiler à tort une centrale nucléaire à une bombe.

28) Croissance du nombre d'inadaptés sociaux, physiques et mentaux.

Par inadaptés sociaux et mentaux, nous entendons tous ceux qui ne sont pas insérés dans la société telle qu'elle est. Il peut s'agir d'une inadaptation congénitale (les "fous") ou accidentelle. Un certain nombre de gens ne résistent pas au changement accéléré du milieu ambiant (cf. "le choc du futur").

Il peut s'agir encore de gens qui non seulement vivent en marge de la société, mais aussi contestent la norme sociale en vigueur et veulent la changer. Ce sont les minorités agissantes.

29) Sensibilité croissante aux effets externes

Au fur et à mesure que les biens dits libres deviennent rares : l'air, le soleil, l'espace, le silence, ils sont davantage convoités. Les effets externes sont d'autant mieux ressentis qu'ils sont négatifs, la lutte pour l'environnement devient primordiale.

30) Conditionnement des individus et des masses.

C'est la neutralisation de tout esprit critique par l'intermédiaire des mass-média.

31) Urbanisation croissante

La population urbaine doublera presque entre 1962 et 2 000 passant de 29 à 54 millions tandis que la population rurale tombera de 17 à 12 millions (20 % de la population). Ce facteur est important dans la mesure où l'urbanisation ne va pas sans révolution.

32) 20 millions d'étrangers établis en France en l'an 2000

Ces 20 millions d'étrangers ajoutés à la population française prévue pour l'an 2000 (les géniteurs sont en place) permettraient d'atteindre 90 millions d'habitants, dans le cadre d'une société plus large et plus intégrée, par exemple, la France dans l'Europe ferait figure de désert démographique du moins vis-à-vis de certains pays comme la Hollande (France 90 hab/km² - Hollande 300 hab/Km²).

33) Division croissante des tâches

La division des tâches s'est instaurée surtout avec le taylorisme pour augmenter la productivité. Si au niveau national, il n'est pas exclu que cette tendance disparaisse, en revanche au niveau international, il semble que la division des tâches doive se développer au même rythme que les firmes multinationales.

Cette division est aussi une spécification des activités et il n'est pas déraisonnable de penser que les industries de base, grosses consommatrices d'électricité, s'expatrieront dans les zones périphériques (Algérie avec le complexe industriel d'Annaba).

34) Diminution du temps obligé

Nous entendons par là essentiellement le temps de travail plus le temps de transport : il s'agit des heures que l'homme passe obligatoirement hors de chez lui. Une diminution du temps obligé la semaine de 4 jours par exemple, pourrait provoquer une rupture importante du mode de vie actuel ; c'est peut-être le point à partir duquel les hommes n'auront plus seulement l'impression de vivre pour travailler mais aussi de travailler pour vivre.

35) Disparition des valeurs traditionnelles

Le désir porte toujours sur les biens rares, même si les biens libres sont parfois vitaux (air). Or, actuellement, ce qui est en passe de devenir "libre" pour un nombre de plus en plus élevé de gens, c'est l'argent et les objets de consommation ; ce qui devient rare, c'est le temps de dépenser son argent et l'espace pour ranger ces objets et pour vivre. De même l'information pourrait bien s'imposer à côté de l'argent, comme arme du pouvoir ; le développement de l'informatique et du traitement des données est significatif à cet égard. L'argent n'est plus le seul nerf de la guerre, le puissant est celui qui sait.

36) Socialisation de la connaissance

On peut définir l'éducation comme un système qui consiste à accumuler sous forme de diplômes des actions qui correspondent à autant de parts du capital des connaissances. Le phénomène de socialisation de la connaissance va se développer au fur et à mesure que le nombre de diplômes va se multiplier, les diplômes vont se désacraliser (d'aucuns diront dévaluer) mais ceci accélère encore cette multiplication ; il est d'autant plus nécessaire de posséder un diplôme qu'il ne vaut rien ; l'avoir ne signifie pas grand chose, mais ne pas l'avoir est un obstacle presque infranchissable (BAC).

37) Elévation du niveau culturel

Cette élévation passe certainement par un allongement de la durée de vie scolaire obligatoire et une croissance du nombre de diplômés de l'enseignement supérieur. Mais, elle passe aussi par un développement des activités intellectuelles (animation de quartiers) et artistiques.

38) Profusion et diffusion rapide des informations

La diffusion de l'information est plus rapide que jamais, mais dans 10 ans, la moitié de nos connaissances actuelles seront dépassées. A peine acquises, nos connaissances sont déjà obsolètes.

39) Groupes de pressions - Actions directes - Comités de défense.

Lorsque les rouages institutionnels sont grippés, les revendications ne s'expriment plus au Parlement mais dans la rue, barrages routiers (paysans, chauffeurs de poids lourds, plasticiens commerçants). Au XX^e siècle, l'action directe est souvent le seul moyen d'action qu'ont les marginaux pour se faire entendre du pouvoir et des silencieux. Notons que nous sommes tous des marginaux et appartenons tous à une quelconque majorité silencieuse.

40) Société plus large et plus intégrée

Le marché commun a vu le jour à Rome en 1957. Entre 1960 et 1970, une succession d'accords politiques l'ont doté de rouages économiques et financiers qui ont progressivement transformé le marché en communauté.

41) Augmentation du bien-être matériel

En France, en 1960 et 1969, le P.N.B. en valeur a augmenté en moyenne de 4,8 % par an ; actuellement, il croît de 4 % par an en volume. La consommation suit le même rythme de doublement tous les 15 ans.

42) Aménité de la vie.

C'est l'agrément de la vie, et le confort matériel y contribue de façon importante tout en n'étant qu'un moyen au service d'une fin qui reste à préciser ; mais c'est aussi tout autre chose, l'aménité de la vie joue le même rôle vis-à-vis du qualitatif que le confort matériel vis-à-vis du quantitatif.

S Y S T E M E E C O L O G I Q U E

43) Législation draconienne sur l'environnement

Sous l'influence des populations ou des contraintes des pays frontaliers les gouvernements pourraient être amenés à prendre des mesures extrêmes qui auraient pour conséquence de frapper certains secteurs économiques en particulier celui de l'énergie.

44) Catastrophe nucléaire accidentelle

Toutes les précautions sont prises pour qu'un accident soit impossible dans les réacteurs industriels en régime normal de fonctionnement. Cependant, un autre type de risque doit être envisagé, qui est celui de l'attentat criminel dont les conséquences sont difficiles à évaluer.

45) Gaspillage - Epuisement des ressources naturelles

Au centre des débats sur la remise en cause de la croissance, ce facteur vise à prendre en compte le souci exprimé par certains gouvernements de pouvoir disposer de ressources naturelles à bon compte pour les décennies futures.

46) Changement intolérable du milieu existant en 1972 d'ici l'an 2000.

L'altération du milieu peut entraîner des traumatismes irréparables si les normes de référence familiales, éducatives, citadines disparaissent trop brusquement.

47) Croissance de la pollution thermique

La pollution thermique est un problème commun à toutes les centrales avec cependant la nécessité de dissiper un plus grand nombre de thermies par KWh dans les centrales nucléaires. Cet échauffement ne présente d'ailleurs pas obligatoirement des aspects négatifs et un grand nombre de suggestions ont d'ailleurs été faites pour valoriser la chaleur résiduelle des centrales.

48) Croissance de la pollution chimique.

La pollution chimique est un résidu de l'activité de production et a tendance à augmenter dans les sociétés industrielles. Ce facteur sous entend donc aussi bien les résidus de consommation courante que les effluents gazeux émanant des centrales classiques ou nucléaires.

49) Croissance de la pollution par les déchets.

Les résidus du cycle production - consommation, déchets industriels, y compris radioactifs, sont encombrants et peu de sites peuvent les recevoir. On pense naturellement à la mer qui deviendra bientôt "la poubelle universelle".

50) Difficultés à trouver des sites.

La localisation des parcs d'énergie doit faire l'objet de recherches approfondies dans le domaine des vents dominants, des densités de population, de l'approvisionnement en eau, en matière première ... Sachant qu'il faudra installer d'ici 1985, 15 à 20 sites, la localisation de ceux-ci risquent de provoquer quelques difficultés.

51) Changements climatiques

L'altération du milieu où nous vivons, à la suite des modifications dues à l'activité de l'homme, intervient dans le niveau de rayonnement. Les effets de l'anhydride carbonique sur le climat font l'objet de controverse entre spécialistes. D'autre part, un excès de vapeur d'eau dans l'atmosphère pourrait faire apparaître des micro-climats au-dessus des "parcs d'énergie".

RECAPITULATION

SYSTEME PRODUCTIF DANS SON ASPECT ENERGETIQUE

- ANGLE POLITIQUE

- I) P I) Objectif d'indépendance énergétique
- 2) P 2) Décentralisation des industries de base vers les zones périphériques
- 3) P 3) Commerce mondial libre avec les pays du monde communiste.

- ANGLE ECONOMIQUE

- 4) P 4) Hypothèse de 900 Twh produits dans les centrales nucléaires en l'an 2000.
- 5) P 5) Implantation systématique de centrales nucléaires à partir de 1985.
- 6) P 6) Ralentissement du taux de croissance économique (< 2 %)
- 7) P 7) Baisse significative du taux de croissance de la consommation d'électricité (< 4 %)
- 8) P 8) Pas d'écart significatif entre le coût de l'énergie utile produite à partir des combustibles nucléaires et celui de l'énergie produite à partir d'autres combustibles.
- 9) P 9) Financement difficile des investissements nucléaires.
- I0) P I0) Prix final de l'électricité bon marché en France (réseau E.D.F.)
- II) P II) Développement de la production autonome d'énergie au niveau des utilisations finales.
- I2) P I2) Automatisation - détours productifs de plus en plus longs.
- I3) P I3) Parcs d'énergie, concentration - moyen - lieux - de production d'énergie.
- I4) P I4) Agriculture industrielle.

- ANGLE TECHNOLOGIQUE

- I5) P I5) Développement des réacteurs rapides et des convertisseurs.
- I6) P I6) Développement des autres possibilités des réacteurs nucléaires (rayonnement - chaleur)
- I7) P I7) Possibilité technique de stockage au niveau des matières premières et de l'énergie finale (un an de consommation d'avance).
- I8) P I8) Amélioration du rendement énergétique au niveau de la production, de la distribution, de l'utilisation.
- I9) P I9) Invention ou développement technologique révolutionnaire.
- 20) P 20) Développement de l'industrie électronucléaire

SYSTEME SOCIAL

- ANGLE POLITIQUE

- 21) S I) Partage des responsabilités aux différents niveaux du corps social (décentralisation)
- 22) S 2) Remise en question de la croissance en tant que mythe social justificateur
- 23) S 3) Instabilité politique des zones périphériques
- 24) S 4) Grippage des rouages institutionnels sociopolitiques débouchant ou non sur un changement de système socio-économique.
- 25) S 5) Catastrophe mondiale.
- 26) S 6) Société plus planifiée, plus organisée.

- ANGLE PSYCHOLOGIQUE

- 27) S 7) Peur de l'atome
- 28) S 8) Croissance du nombre d'inadaptés sociaux, physiques et mentaux
- 29) S 9) Sensibilité croissante aux effets externes
- 30) S 10) Conditionnement des individus et des masses.

- ANGLE SOCIOLOGIQUE

- 31) S II) Urbanisation croissante 90 % des gens dans les villes en l'an 2000.
- 32) S I2) 20 millions d'étrangers établis en France en l'an 2000.
- 33) S I3) Division croissante des tâches
- 34) S I4) Diminution du temps obligé (travail + transports)
- 35) S I5) Disparition des valeurs traditionnelles.
- 36) S I6) Socialisation de la connaissance.
- 37) S I7) Elévation du niveau culturel.
- 38) S I8) Profusion et diffusion rapide des informations
- 39) S I9) Groupes de pressions, actions directes (comités de défense)
- 40) S 20) Société plus large et plus intégrée (Europe politique)
- 41) S 21) Croissance du niveau de vie matériel
- 42) S 22) Aménité de la vie.

SYSTEME ECOLOGIQUE

- ANGLE POLITIQUE

43) E 1) Législation draconienne sur l'environnement

- ANGLE ECONOMIQUE

44) E 2) Catastrophe nucléaire accidentelle

45) E 3) Gaspillage, épuisement des ressources naturelles

- ANGLE PSYCHOLOGIQUE

46) E 4) Changement intolérable du cadre de vie existant en 1972 d'ici l'an 2000.

- ANGLE DE L'ENVIRONNEMENT

47) E 5) Croissance de la pollution thermique

48) E 6) Croissance de la pollution chimique

49) E 7) Croissance de la pollution par déchets

50) E 8) Problèmes de sites (esthétique)

51) E 9) Changements climatiques.

2/ Prise en compte des liaisons entre facteurs.

a) Matrice d'incidence générale

- - - - -
Les 5I facteurs sont mis, en lignes et en colonnes formant ainsi une matrice d'incidence qui résume l'ensemble des liens positifs et négatifs que ces 5I facteurs tissent entre eux.

Pour construire la matrice d'incidence générale, il nous a fallu considérer les 2 60I liaisons possibles.

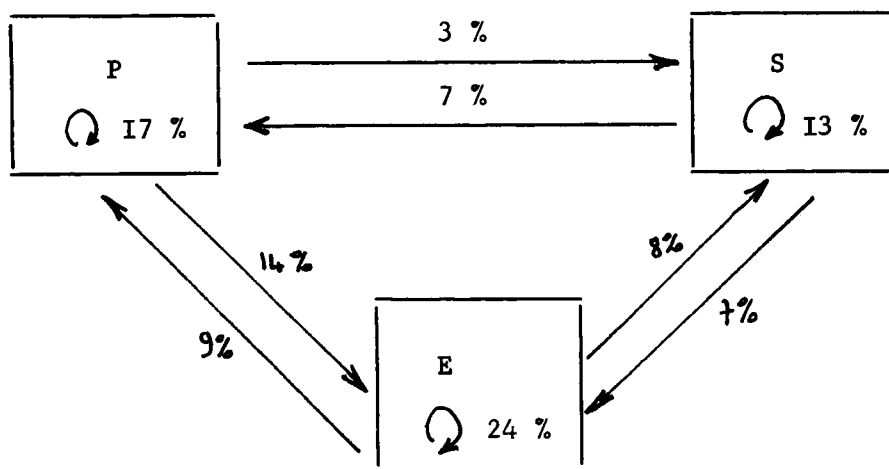
L'intérêt d'une telle matrice d'incidence est non seulement d'intégrer dans un tout un réseau complexe de relations, mais aussi de se prêter à l'étude systématique des chaînes et boucles d'interactions qui sont générées par ce tissu relationnel.

Nous avons calculé la densité interne des liaisons (nombre de cases remplies/nombre de cases disponibles) pour chacun des neuf domaines :

DENSITE INTERNE DES LIAISONS

sur influence de	P	S	E
P	17,2 %	2,9 %	14 %
S	6,8 %	13,6 %	7 %
E	9,3 %	8 %	24,6 %

Ce que l'on peut représenter schématiquement par la figure ci-dessous



On peut remarquer que le système productif a un impact plus important sur le système écologique (et que ce dernier influe moins fortement sur le système productif), puisque les variables de P exercent une influence de 14 % (mesurée par la densité interne) sur l'ensemble des variables de E et que l'influence du système écologique n'est que de 9 %.

La matrice d'incidence est donc relativement vide puisqu'il n'y a que 10 % de liaisons globalement, ce qui suffit cependant à générer un nombre impressionnant de boucles.

Il ne faut pas cependant donner trop d'importance à ces pourcentages qui ne représentent que la quantité des liaisons et non la valeur de celles-ci. En effet, l'influence du domaine productif sur le domaine social n'implique un taux d'occupation que de 2,9 % alors que certaines variables atteintes sont essentielles, par exemple, la croissance du niveau de vie matérielle.

Certains facteurs peuvent être considérés comme cibles :

- P_I - Objectif d'indépendance énergétique.
- P₄ - "Hypothèse de 900 Twh produits à partir du nucléaire en France en l'an 2000".
- P₅ - "Implantation systématique : toutes les nouvelles centrales productrices d'énergie sont nucléaires à partir de 1985".
- P_{I5} - "Développement des réacteurs rapides et des convertisseurs".
- P₂₀ - "Développement de l'industrie électronucléaire".

b) Matrice réduite
- - - - -

D'un point de vue fonctionnel, il convient de réduire la liste des 51 facteurs aux plus importants d'entre eux. Le critère de sélection retenu est celui du nombre de boucles passant par un facteur, ceci afin d'intégrer non seulement les liaisons directes mais aussi l'ensemble des chaînes d'influences engendrées par chaque variable.

Le programme MIC-MAC (cf. annexe technique) nous a permis d'appliquer ce critère; il aboutit à un classement ordinal des facteurs considérés comme des noeuds entre boucles. Il s'agit d'un simple programme de multiplication matricielle en algèbre ordinaire à partir de la matrice d'influence. A chaque puissance, le nombre sur la diagonale nous dit de combien de boucles le facteur correspondant est le noeud.

D'un classement à l'autre, on compare les résultats de MIC-MAC (cf. page suivante); on constate que ce classement évolue vers une certaine stabilité.

Si l'on examine le nombre de facteurs ayant changé de classement lors du passage d'une boucle de n éléments à une boucle de $n + p$ éléments, on trouve :

de $n = 6$	à	$n + 1 = 7$	19	facteurs	ont	changé	de	classement
" $n = 8$	à	$n + 1 = 9$	2	"	"	"	"	"
" $n = 9$	à	$n + 4 = 13$	0	"	"	"	"	"

l'ordre obtenu pour les boucles de longueur 13 éléments étant stables, nous le choisissons comme classement final.

R E M A R Q U E S

R. 1 - Nous ne sommes pas allés au-delà de I3 pour 2 raisons :

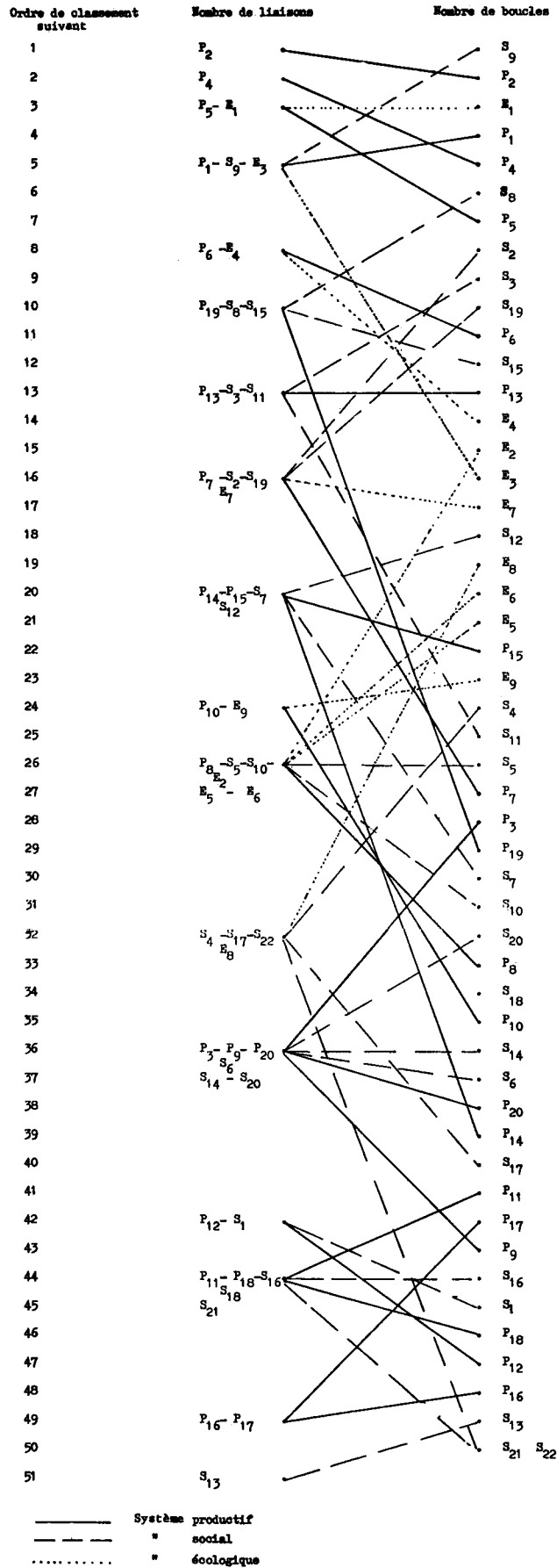
- a) le classement obtenu est stable
- b) plus une boucle est longue, moins elle est signifiante.

R. 2 - Le dernier point de la remarque précédente implique immédiatement la proposition inverse, à savoir que plus une boucle est courte, plus elle est importante.

N'a-t-on pas justement défavorisés les facteurs entrant dans les boucles les plus intéressantes en adoptant l'ordre correspondant aux boucles de longueur I3 ?

Bien au contraire, les boucles de longueur I3 comprennent toutes les combinaisons de boucles de longueur inférieure et les éléments répétés sont comptés plusieurs fois (cf. annexe)

On obtient donc un deuxième classement par MIC-MAC que l'on compare au premier classement en fonction du nombre de liaisons.



C L A S S E M E N T S

Le graphe représentant l'évolution des classements suscite plusieurs commentaires.

En ce qui concerne les 25 premiers facteurs, d'un classement à l'autre on remarque que les facteurs du système productif perdent des places et qu'en sens contraire les facteurs du domaine social (exceptés S_{11} et S_{15}) remontent. P_2 et P_4 sont en tête de liste dans le classement 1 et ils sont respectivement 2ème et 5ème dans le classement MIC-MAC. Inversement, S_9 et S_8 passent respectivement des rangs 5 et 10 aux rangs 1 et 6.

Remarquons aussi que pour les 25 derniers facteurs, la tendance serait presque inversée.

Tous les facteurs du système écologique figuraient dans les 32 premiers du classement 1; ils appartiennent aux 23 premiers du classement 2.

Dans les 25 premiers facteurs, on trouve lors du :

1er classement	2ème classement
11	7 facteurs du système productif
9	9 " du domaine social
5	9 " du système écologique.

Dans le classement MIC-MAC, nous retenons tous les facteurs qui sont mieux classés que les variables cibles de notre étude, P_1 , P_4 , P_5 , P_{15} soient 22 facteurs.

L'examen des facteurs finalement sélectionnés est l'occasion de commentaires, en particulier certains facteurs qui, au niveau des impacts directs pouvaient sembler assez peu importants, se révèlent très importants lorsque toutes les chaînes d'influences sont prises en compte.

Par exemple, si tous les facteurs du système écologique sont retenus, certains tels que E_8 "problèmes de sites" remontent très fortement du 32ème rang au 19ème rang.

Inversement, E_3 : problème de gaspillage et de l'épuisement des ressources naturelles passe du 5ème rang au 16ème, cela signifie que ce facteur est sans doute moins important qu'on ne le pense généralement, en terme d'interactions, il agit moins sur l'évolution du système socio-productif étudié qu'un facteur tel que E_2 "catastrophe nucléaire accidentelle" qui passe du 26ème rang au 15ème rang.

Par ailleurs, on peut noter que les facteurs :

- P₁₉ : "Invention ou développement technologique révolutionnaire" passe du 10ème rang au 29ème rang. Cela vient sans doute du fait que ce facteur n'a pu être mieux spécifié. Si ce que l'on ne connaît pas est essentiel, comment le savoir à l'avance ?
- P₁₀ : "Prix final de l'électricité bon marché en France" passe du 24ème au 35ème rang. Ce facteur, s'il se développe, est donc moins important que ce que l'on aurait pu penser à partir du classement initial.
- P₁₄ : Même remarque pour P₁₄ "agriculture industrielle" qui passe du 20ème au 39ème rang.

Enfin, en ce qui concerne les facteurs du domaine social, on remarque :

- un facteur S₄ "grippage des rouages institutionnels" rentre dans la liste des 25 premiers (il passe du 32ème rang au 24ème rang).

Deux facteurs ne sont pas retenus :

- S₁₁ : "Urbanisation croissante" passe du 13ème au 25ème rang.
- S₇ : "Peur de l'atome" passe du 20ème au 30ème rang.

Rappelons que le classement tel qu'il se présente ne signifie en rien que tel ou tel facteur ait plus de chances de se développer que tel autre, mais nous dit simplement que si tel développement se produit, il est plus important dans ses conséquences que tel autre.

CLASSEMENT DES FACTEURS SUIVANT MIC - MAC

Ordre décroissant

1	S ₉	Sensibilité croissante aux effets externes
2	P ₂	Décentralisation des industries de base vers les zones périphériques
3	E ₁	Législation draconienne sur l'environnement
4	P ₁	Objectif d'indépendance énergétique
5	P ₄	Hypothèse de 900 T W H produit avec le nucléaire en l'an 2000
6	S ₈	Croissance du nombre d'inadaptés sociaux, physiques et mentaux
7	P ₅	Implantation systématique de centrales nucléaires
8	S ₂	Remise en question de la croissance en tant que mythe social justificateur
9	S ₃	Instabilité politique des zones périphériques
10	S ₁₉	Groupes de pressions, actions directes (Comité de défense)
11	P ₆	Ralentissement du taux de croissance économique
12	S ₁₅	Disparition des valeurs traditionnelles
13	P ₁₃	Parcs d'énergie, concentrations - moyens - lieux - de production d'énergie
14	E ₄	Changement intolérable du milieu existant en 1972 d'ici l'an 2000
15	E ₂	Catastrophe nucléaire accidentelle
16	E ₃	Gaspillage, épuisement des ressources naturelles
17	E ₇	Croissance de la pollution par déchets
18	S ₁₂	20 millions d'étrangers établis en France en 2000
19	E ₈	Problèmes de sites (esthétique)
20	E ₆	Croissance de la pollution chimique
21	E ₅	Croissance de la pollution thermique
22	P ₁₅	Développement des réacteurs rapides et des convertisseurs

C/ E X P L I C A T I O N D E L A S T R U C T U R E

Afin de tirer parti de la matrice d'incidence réduite aux facteurs les plus importants, on s'intéresse au graphe partiel constitué par les variables cibles. Le programme MICROBE (matrice d'impacts croisés recherche opérationnelle de boucles enchevêtrées) permet de sélectionner les boucles comprenant un nombre restreint de facteurs. Ce programme permet donc d'exploiter les feedbacks les plus intéressants. Nous voulons seulement montrer sur deux exemples le type de résultat et d'interprétation qui peut être obtenu.

BOUCLES, GRAPHS ET ELEMENTS DE SCENARII

- C_1 - Dans un premier temps, nous partirons de l'hypothèse du plan supposée réalisé afin de mesurer les effets économiques, politiques et écologiques entraînés le cas échéant par ce résultat ; c'est le "scénario du prévisionniste".
- C_2 - Dans un deuxième temps, nous envisagerons cette hypothèse comme une cible à atteindre, la question à résoudre étant de savoir sur quelle variable de commande agir pour réaliser l'objectif du plan, c'est le "scénario du planificateur".

Mais auparavant, quelques précisions s'imposent.

P R E L I M I N A I R E S

- P_I - Rappelons que la liaison i sur j doit s'interpréter en termes d'élasticités, le développement d'un facteur propage une onde d'influence qui se répercute sur les autres facteurs suivant une intensité variable et une rapidité qui dépend du temps de latence entre facteurs (nombre de liaisons intermédiaires). En conséquence, les boucles les plus courtes sont les plus significatives, c'est pourquoi nous n'allons pas plus loin que les boucles de longueur 4 et 5, qui sont fournies par le programme MICROBE (Matrice d'Impacts Croisés Recherche Opérationnelle de Boucles Enchevêtrées) qui édite aussi les boucles de longueur 2 et 3.

P₂ Rappelons que la liaison positive d'un facteur i sur un facteur j peut s'interpréter de la manière suivante : si le facteur i apparaît, alors le facteur développement du facteur j s'en trouve favorisé. Une boucle positive comprend zéro ou un nombre pair de signes négatifs.

Considérons par exemple la boucle de 4 éléments

$$P_4 + P_5 + P_1 + P_{15} + P_4$$

Pour faciliter l'interprétation, raisonnons en termes de probabilité; soient k_4, k_5, k_1, k_{15} les probabilités initiales de développement de chaque facteur à une date horizon. Si avant cette date, une impulsion positive est donnée sur P_4 , elle se traduit par une augmentation de la probabilité de développement qui devient $k_4 + \Delta k_4$. La réaction en chaîne se présente comme suit :

$$(k_4 + \Delta k_4) \xrightarrow{+} (k_5 + \Delta k_5) \xrightarrow{+} (k_1 + \Delta k_1) \xrightarrow{+} (k_{15} + \Delta k_{15}) \xrightarrow{+} (k_4 + \Delta k_4 + \Delta' k_4)$$

$\Delta' k_4$ étant la nouvelle impulsion résultant de l'influence de la boucle positive. On parlera alors "d'effet multiplicateur de développement".

Inversement une boucle négative comprenant un nombre impair de signes négatifs telle que $P_4 + E_2 + S_8 + S_{19} - P_4$

peut s'interpréter comme un effet réducteur de développement. Le raisonnement probabiliste va nous permettre à nouveau d'explicitier ce processus ; soient k_4, k_2, k_8, k_{19} les probabilités initiales de développement de chaque facteur à une date horizon, si avant cette date, une impulsion est donnée à P_4 , la réaction en chaîne s'écrit :

$$(k_4 + \Delta k_4) \xrightarrow{+} (k_2 + \Delta k_2) \xrightarrow{-} (k_8 + \Delta k_8) \xrightarrow{-} (k_{19} + \Delta k_{19}) \xrightarrow{-} (k_4 + \Delta k_4 - \Delta' k_4)$$

Le signe moins de la boucle négative se traduit donc par une diminution de la probabilité de développement du facteur P_4 qui est maintenant inférieur à ce qu'elle était compte tenu de l'impulsion initiale. On parlera alors "d'effet réducteur de développement."

C₁) SCENARIO DU PREVISIONNISTE

A partir des résultats de MICROBE, nous obtenons le graphe partiel des boucles de longueur 4 passant par P_4 "hypothèse de 900 Twh en l'an 2000". La "lecture" de ce graphe permet de construire le scénario du prévisionniste : l'un des objectifs envisagés par le plan est que le taux de couverture de production d'électricité à partir du nucléaire passe de 3,2 % en 1970 à 90 % en l'an 2000 (900 Twh sur 1 000 Twh produits à cette date).

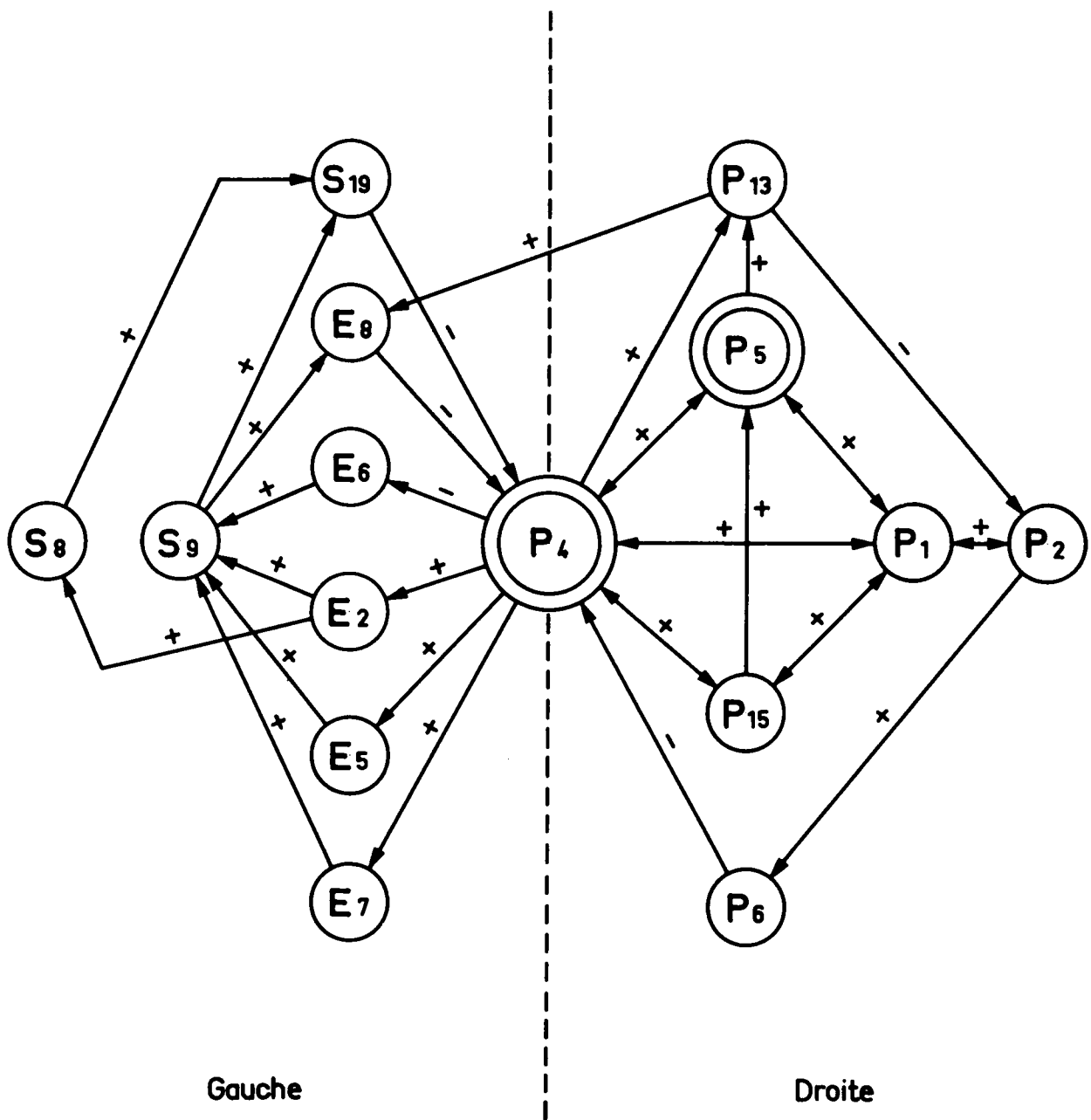
- Boucles d'ordre 4 passant par P₄ (Mat. réduite)

P ₄ + P _I + P ₂ + P _I + P ₄	P ₄ + P _I + P _{I5} + P ₅ + P ₄
P ₄ + P _I + P _{I5} + P _I + P ₄	P ₄ + P ₅ + P _I + P _{I5} + P ₄
P ₄ + P _{I5} + P _I + P ₅ + P ₄	P ₄ - E ₆ + S ₉ + S _{I9} + P ₄
P ₄ + P _I + P ₂ + P ₆ - P ₄	P ₄ - E ₆ + S ₉ + E ₈ - P ₄
P ₄ + E ₂ + S ₉ + S _{I9} - P ₄	P ₄ + P _I + P ₅ + P _I + P ₄
P ₄ + E ₂ + S ₉ + E ₈ - P ₄	P ₄ + P _{I5} + P _I + P _{I5} + P ₄
P ₄ + P _{I3} + P ₂ + P _I + P ₄	P ₄ + E ₇ + S ₉ + S _{I9} - P ₄
P ₄ + P _{I3} + P ₂ + P ₆ - P ₄	P ₄ + E ₇ + S ₉ + E ₈ - P ₄
P ₄ + E ₅ + S ₉ + S _{I9} - P ₄	P ₄ + P _{I5} + P ₅ + P _I + P ₄
P ₄ + E ₅ + S ₉ + E ₈ - P ₄	P ₄ + P ₅ + P _I + P ₅ + P ₄
P ₄ + E ₂ + S ₈ + S _{I9} - P ₄	P ₄ + P ₅ + P _{I3} + E ₈ - P ₄

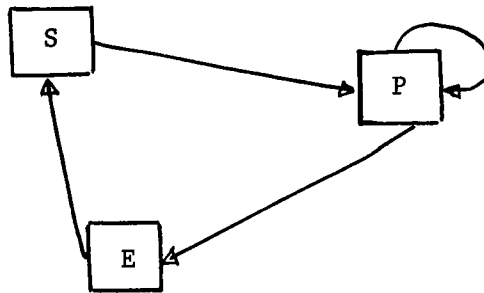
- P_I "Objectif d'indépendance énergétique"
- P₂ "Décentralisation des industries de base vers les zones périphériques"
- P₄ "Hypothèse de 900 TWh produit avec le nucléaire en l'an 2000"
- P₅ "Implantation systématique de centrales nucléaires"
- P₆ "Ralentissement du taux de croissance économique"
- P_{I3} "Parcs d'énergie, concentrations - moyens - lieux de production d'énergie"
- P_{I5} "Développement des réacteurs rapides et convertisseurs"
- S₈ "Croissance du nombre d'inadaptés sociaux, physiques et mentaux"
- S₉ "Sensibilité croissante aux effets externes"
- S_{I9} "Groupes de pressions, actions directes (comité de défense)"
- E₂ "Catastrophe nucléaire accidentelle"
- E₅ "Croissance de la pollution thermique"
- E₆ "Croissance de la pollution chimique"
- E₇ "Croissance de la pollution par déchets"
- E₈ "Problèmes de sites (esthétique) "

CONSTRUCTION D'UN SCENARIO

"autour de P₄" Hypothèse de 900 TWh an 2000



Schématiquement entre blocs, ce graphe se présente comme suit :



P domaine productif
S domaine social
E domaine écologique

La démarche consiste à cheminer dans le graphe afin d'estimer les conséquences de la réalisation de cet objectif.

L'attitude la plus répandue jusqu'ici chez les prévisionnistes consistait à explorer essentiellement la partie droite du graphe, c'est-à-dire à se pencher sur le bouclage du domaine productif sur lui-même P sur P d'ailleurs incomplètement représenté ici.

Les études entreprises jusqu'ici portent sur trois points ; elles consistent :

1- A montrer comment les impératifs de la croissance économique rendent indispensables la réalisation de l'objectif de 900 Twh produit à partir du nucléaire en l'an 2000, par exemple le souci de répondre aux besoins énergétiques croissants tout en ne dépassant pas un certain seuil de dépendance énergétique (relation $P_4 + P_I$)
 P_4 : hypothèse de 900 Twh produit avec le nucléaire en l'an 2000,
 P_I : objectif d'indépendance énergétique.

2- A évaluer les possibilités techniques (technologie, capacité de production) - ex. : la réalisation de l'objectif P_4 nécessite non seulement une amélioration des productions unitaires des centrales mais aussi une concentration en parcs d'énergie qui pourraient atteindre une puissance de 10 000 MWe ($P_4 + P_{I3}$). (P_{I3} parcs d'énergie, concentrations, moyens-lieux de production d'énergie).

3- A inventorier les sites disponibles pour l'installation de tels parcs d'énergie, de manière à en réserver un certain nombre.

En limitant les travaux à ces trois points, on omet toute la partie gauche du graphe (p.47) et on néglige ainsi les effets externes négatifs qui pourraient venir s'opposer à la réalisation de l'objectif du plan.

Dans l'ensemble, ces feedbacks négatifs sont véhiculés par des facteurs écologiques et sociaux. Il en est ainsi, par exemple, du facteur S_{I9} "groupes de pressions et actions directes" qui influence négativement le facteur P_4 . Des actions directes sont organisées contre les centrales nucléaires à la suite, par exemple, d'une catastrophe nucléaire accidentelle (E_2).

Au total, on remarque que s'il y a II boucles positives qui viennent renforcer le développement de P_4 , il y a aussi II boucles négatives qui viennent freiner ce développement.

La description ci-dessus reste essentiellement qualitative, elle vise seulement à rappeler que toute décision engageant l'avenir doit se prendre en intégrant l'ensemble des interdépendances sociétales. Il ne suffit pas que l'objectif de 900 Twh soit techniquement possible et économiquement nécessaire pour qu'il soit réalisable ; des contraintes écologiques, politiques pourraient limiter, voire empêcher le développement prévu du nucléaire.

Dans une deuxième partie, en tenant compte de ces interdépendances, nous allons voir dans quelle mesure il est possible d'agir sur certaines variables de commandes pour favoriser le développement du nucléaire et réaliser ainsi l'objectif de 900 Twh. Nous prendrons l'exemple de E_I "législation draconienne sur l'environnement".

C₂) SCENARIO DU PLANIFICATEUR

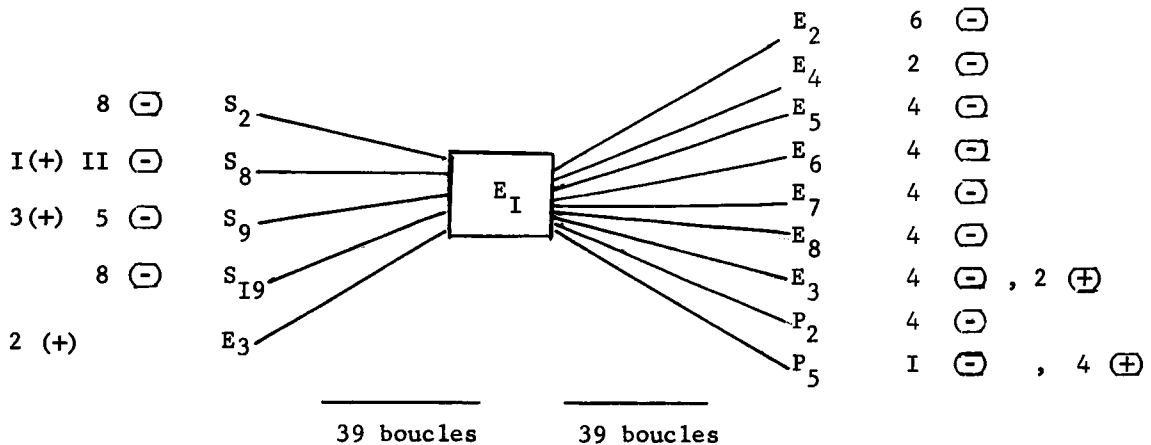
Il convient de préciser ce que nous entendons par E_I "Législation draconienne sur l'environnement". La caractéristique principale de E_I est d'être sans spécification propre et donc possède une portée générale "tous azimut". Par exemple, l'arête E_I + P₅ veut dire que l'on envisage une législation favorable à l'implantation systématique de centrales nucléaires. Autre exemple, pour l'arête E_I - E₃ la législation est envisagée comme s'opposant au gaspillage et à l'épuisement des ressources naturelles. Ces deux éventualités ne sont pas contradictoires mais elles peuvent l'être avec d'autres, par conséquent, au cours de l'exploration et de l'interprétation des boucles, il faudra choisir et donner un sens à E_I.

L'analyse qui suit concerne la variable de commande E_I et les variables cibles P₅ et P₄ respectivement "implantation systématique de centrales nucléaires" et "hypothèse de 900 Twh produits avec le nucléaire en l'an 2000". Nous nous intéressons aux boucles de longueur 4 et 5 passant par E_I. Elles nous sont données par MICROBE.

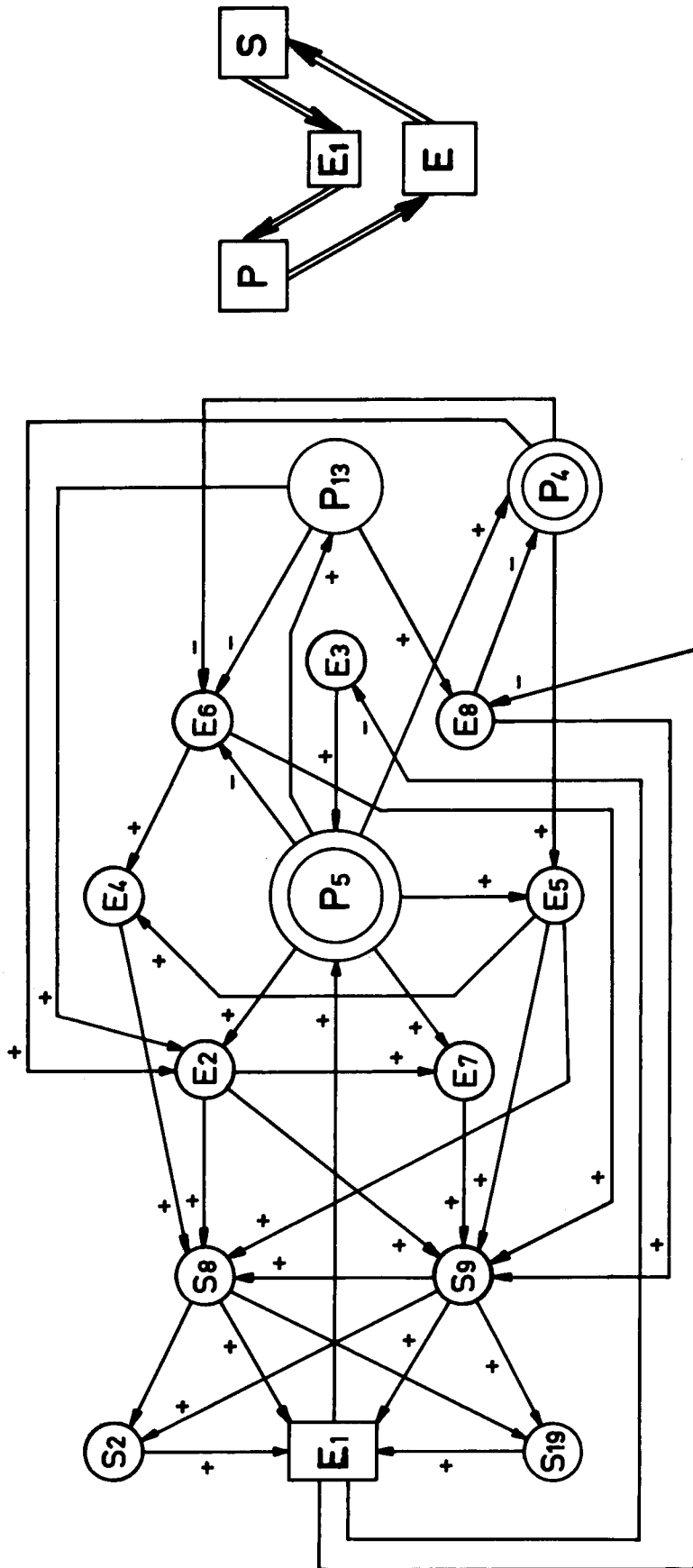
C_{2-I}) ANALYSE DES BOUCLES DE LONGUEUR 4 PASSANT PAR E_I

Par MIC-MAC, nous savons qu'il y a 52 boucles de longueur 4 passant par E_I, nous nous intéressons aux seuls facteurs de la matrice réduite, 13 boucles sont exclues, il reste 39 boucles à étudier.

Représentons E_I par une boîte ainsi que les arêtes entrantes et sortantes, on mesure l'importance de ces arêtes en termes du nombre de boucles positives et négatives qui y passent :



dont 6 positives (6 (+))
 et 33 négatives (33 (-))



Scénario du planificateur

- S₂ "Remise en question de la croissance en tant que mythe social justificateur"
- S₈ "Croissance du nombre d'inadaptés sociaux, physiques et mentaux"
- S₉ "Sensibilité croissante aux effets externes"
- S_{I9} "Groupes de pressions, actions directes (comités de défense)"
- E₃ "Gaspiillage, épuisement des ressources naturelles"
- E₂ "Catastrophe nucléaire accidentelle"
- E₄ "Changement intolérable du milieu existant en 1972 d'ici l'an 2000"
- E₅ "Croissance de la pollution thermique"
- E₆ "Croissance de la pollution chimique"
- E₇ "Croissance de la pollution par déchets"
- E₈ "Problèmes de sites / aspect esthétique"
- E₃ "Gaspiillage, épuisement des ressources naturelles"
- P₂ "Décentralisation des industries de base vers les zones périphériques"
- P₅ "Implantation systématique de centrales nucléaires à partir de 1985"

Les 6 boucles positives semblent jouer un rôle particulier. MICROBE nous donne :

$$\left(E_I - E_3 + E_I - E_3 + E_I \right)$$

$$\left(E_I - E_3 + P_5 - E_3 + E_I \right)$$

$$\left(E_I + P_5 + E_2 + S_9 + E_I \right)$$

$$\left(E_I + P_5 + E_2 + S_8 + E_I \right)$$

$$\left(E_7 + P_5 + E_7 + S_9 + E_I \right)$$

$$\left(E_7 + P_5 + E_5 + S_9 + E_I \right)$$

Sur 5 boucles passant par P₅, 4 sont positives et 1 négative

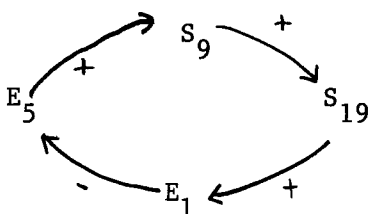
$$E_7 + P_5 - E_6 + S_9 + E_I$$

De ces résultats, nous allons tirer certaines remarques et les interpréter.

REMARQUES ET INTERPRÉTATIONS

R1) En premier lieu, on constate que sur 39 boucles, 6 sont positives et 33 négatives. Il apparaît immédiatement que toutes les boucles négatives, exceptées une passant par P_2 et une autre par P_5 sont celles qui mettent en relation les facteurs du domaine social avec le domaine écologique, à l'exclusion de tout facteur du domaine productif.

I-1) Examinons une boucle négative par exemple



La pollution thermique (E_5) est de plus en plus ressentie par le public (S_9) qui manifeste (S_{19}) et réclame une législation plus contraignante vis-à-vis de la pollution thermique.

Les pressions politiques ayant abouties, la pollution diminuant de façon notable ou non ($E_1 - E_5$), à la limite, le résultat est secondaire ; ce qui importe, c'est que quelque chose a été fait. Seul compte d'abord l'effet psychologique des mesures prises, pour un temps la sensibilité à tel ou tel effet externe diminue (S_9), le public se démobilise (S_{19}), par suite les pressions politiques pour l'obtention de nouvelles lois retombent. Finalement, la législation sur l'environnement favorise la démobilisation du public, elle a donc un effet réducteur de développement sur elle-même.

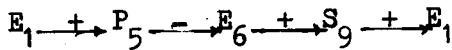
L'actualité récente fournit un exemple vivant de ce type de bouclage : A la suite d'une certaine mobilisation du public contre la pollution par le bruit Monsieur Silence est entré en fonction. Quelques mesures ont été prises ; de fait, la plupart sont restées inappliquées ; momentanément, la pression du public a diminué et Monsieur Silence vient de "partir sans bruit".

R 2) Inversement, sur les 6 boucles positives, 4 comprennent l'arête d'influence $(E_1 + P_5)$, les deux autres comprennent l'arête $(E_1 - E_3)$

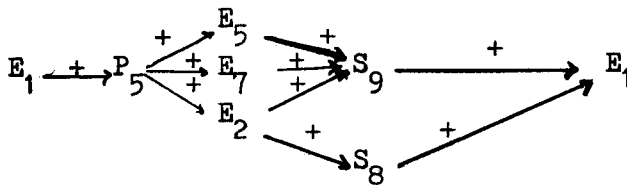
I-2) On peut donc dire qu'une boucle positive de longueur 4 sur E_1 semble se caractériser par le passage en arête sortante par un facteur du domaine productif. Par analogie on pourrait dire E_3 "gaspillage et épuisement des ressources naturelles" devrait non seulement appartenir au domaine écologique mais aussi au domaine productif puisqu'il est impliqué dans deux boucles positives passant par l'arête $(E_1 - E_3)$.

R 3) L'arête $(E_1 + P_5)$ peut signifier que la législation favorise directement l'implantation systématique de centrales nucléaires.

E-3) A partir des 4 boucles positives et de la boucle négative générées par l'arête $(E_1 + P_5)$, nous allons examiner les conséquences d'une législation ouvertement favorable au nucléaire :



1 boucle négative



4 boucles positives

A la "lecture" de la boucle négative, il apparaît que, si on sensibilise l'opinion sur la pollution chimique, le public finira par réclamer une législation contraignante pour ce type de pollution. Il sera alors plus facile aux pouvoirs publics de faire passer une série de mesures favorisant le nucléaire ($E_1 + P_5$) puisque justement les centrales nucléaires polluent moins chimiquement que les centrales classiques au fuel (anhydride sulfureux) ($P_5 - E_6$)

Le signe négatif de la boucle sur E_1 signifie que normalement le public ne réclamera pas une législation plus contraignante. Le scénario précédent serait parfait si le développement des centrales nucléaires était sans conséquence sur l'environnement; les 4 boucles positives sont là pour nous rappeler le contraire :

L'augmentation du nombre de centrales nucléaires multiplie d'autant le risque d'une catastrophe nucléaire accidentelle si minime soit-il au départ ($P_5 + E_2$). De plus, les centrales nucléaires ont un rendement thermique inférieur à celui des centrales classiques, la pollution thermique augmente d'autant ($P_5 + E_5$). Enfin, que faire des déchets radioactifs dont certains ont une période de plusieurs millions d'années ($P_5 + E_7$).

Nous avons vu que la boucle négative traduisait une certaine démobilisation du public vis-à-vis de la pollution chimique, celui-ci ne réclamera pas un renforcement de la législation et par suite, les pouvoirs publics pourront moins aisément orienter celle-ci dans un sens favorable au nucléaire.

En sens opposé, les quatre boucles positives traduisent un effet multiplicateur de développement de la législation sur l'environnement, ce que nous appellerons en l'occurrence un "effet boomerang" ;

Qu'une catastrophe nucléaire accidentelle se produise * (E_2) ou qu'un été particulièrement caniculaire sensibilise de façon considérable l'opinion à la pollution thermique, cela pourrait suffire pour déclencher une campagne de grande envergure contre le nucléaire, et à terme, renforcer la législation sur l'environnement, mais cette fois, dans un sens défavorable au nucléaire.

Finalement, si les pouvoirs publics veulent implanter de façon systématique des centrales nucléaires, et pour ce faire, sensibilisent l'opinion aux inconvénients des centrales classiques, il apparaît qu'à terme, l'effet obtenu risque d'être opposé à l'effet souhaité. Si l'on veut réaliser l'objectif de 900 TWh en l'an 2000, il faut donc trouver une autre solution, peut-être par exemple adopter l'attitude duale de la précédente, soit : d'abord laisser les centrales classiques polluer chimiquement sans entraves et adopter des mesures très contraignantes pour le nucléaire, écartant tout risque d'accident et toute pollution thermique notable, ensuite laisser l'opinion réagir ...

En conclusion, on peut dire que la variable de commande législation sur l'environnement est délicate à manier ; comme toute variable politique, elle génère des effets boomerangs qui risquent de se retourner contre ceux qui s'en servent.

* On peut penser à un attentat - cf. le chantage des pirates de l'air aux U.S.A. fin 1972.

C₂₋₂) ANALYSE DES BOUCLES DE LONGUEUR 5 PASSANT PAR E₂.

L'examen des boucles de longueur 5 sur la variable de commande E₁ et passant par les variables cibles P₅ et P₄ (cf. graphe p. 51) confirme l'analyse précédente. Sur 32 boucles retenues, 22 sont positives, signe qui s'explique par la présence d'un facteur du domaine productif : P₅ ou P₄ et qui s'interprète comme précédemment en effet boomerang, à cette nuance près que le temps de latence, c'est-à-dire le temps de réaction du public est plus long

exemple : E₁ + P₅ + E₇ + S₉ + S₁₉ + E₁

La prise de conscience de l'opinion (S₉) ne suffit pas à faire réagir les pouvoirs publics, seules des pressions directes et des manifestations (S₁₉) déclenchent cette réaction. Ces effets boomerangs néfastes pour le nucléaire ne sont pas compensés par les 10 boucles négatives qui comprennent toujours un facteur du domaine productif P₅, P₄ ou P₁₃ associé à E₃ ou E₆.

- 22 boucles positives de longueur 5 sur E_1 passant par P_5 ou P_4 :

$$\begin{array}{l}
 E_1 + P_5 + E_2 + S_9 + S_2 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_2 + S_9 + S_8 + E_7 \\
 E_1 - E_8 - P_4 + E_2 + S_8 + E_1 \\
 E_1 - E_8 - P_4 + E_5 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_2 + E_7 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_2 + S_8 + S_2 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_4 + E_2 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_7 + S_9 + S_2 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_7 + S_9 + S_8 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_4 + E_2 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_{13} + E_2 + S_8 + E_1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 E_1 + P_5 + E_5 + S_9 + S_2 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_5 + S_9 + S_8 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_5 + E_4 + S_8 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_{13} + E_2 + S_9 + E_1 \\
 E_1 - E_3 + P_5 - E_6 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_2 + S_9 + S_{19} + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_4 + E_2 + S_8 + E_1 \\
 E_1 - E_8 - P_4 + E_5 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_4 + E_5 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_2 + S_8 + S_{19} + E_1 \\
 E_1 + P_5 + E_5 + S_9 + S_{19} + E_1
 \end{array}$$

- 10 boucles négatives de longueur 5 sur E_1 passant par P_5 ou P_4 :

$$\begin{array}{l}
 E_1 - E_3 + P_5 + E_2 + S_9 + E_1 \\
 E_1 - E_8 - P_4 - E_6 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 - E_6 + S_9 + S_{19} + E_1 \\
 E_1 - E_3 + P_5 + E_5 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_{13} - E_6 + S_9 + E_1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 E_1 + P_5 + P_4 - E_6 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 - E_6 + S_9 + S_{18} + E_1 \\
 E_1 + P_5 - E_6 + E_4 + S_8 + E_1 \\
 E_1 + P_5 + P_{13} - E_6 + S_9 + E_1 \\
 E_1 + P_5 - E_6 + S_9 + S_2 + E_9
 \end{array}$$

C O N C L U S I O N

La prise en compte d'évènements susceptibles d'agir sur l'évolution d'un système est complexe car les interactions entre les évènements sont nombreuses et l'esprit humain est incapable d'appréhender et de se représenter en même temps la totalité du réseau infiniment diversifié des relations à étudier. Or, il importe de connaître les effets directs ou indirects qu'une action sur l'une quelconque des variables peut avoir sur d'autres variables ou sur elle-même par l'intermédiaire de boucles de réactions. La détermination d'un critère de choix pour sélectionner les facteurs, c'est-à-dire dégager ce qui est essentiel de ce qui ne l'est pas, est délicate. Notre programme MIC-MAC permet de hiérarchiser les éléments d'un système complexe à partir d'un critère simple : celui du nombre de boucles passant par chaque variable. Il est alors possible à partir d'une liste réduite aux facteurs les plus importants d'explorer tous les graphes partiels représentant le système, pour construire la grille des futurs possibles. Les résultats obtenus dans la deuxième partie ne visent qu'à illustrer la méthode précédente. Il conviendrait de dépasser l'approche purement qualitative en quantifiant les liaisons. Nos travaux s'orientent actuellement dans cette direction.

B I B L I O G R A P H I E

- | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1 | Logique et connaissance scientifique | | L. GOLDMAN |
| 2 | Psychologie de l'intelligence | | L. PIAGET |
| 3 | Marxisme et sciences humaines | | L. GOLDMAN |
| 4 | Prospective des transports | D.G.R.S.T. | GOUX-MOREL |
| 5 | Statistiques de l'énergie | 1955 - 1969 | O.C.D.E. |
| 6 | Energie dans le VI ^e plan | | M. DESTIVAL |
| 7 | Cross Impact Matrix | FUTURES Déc. 1968 | GORDON |

Manuscrit reçu le 15 novembre 1973

ANNEXE TECHNIQUE

PROGRAMME MIC - MAC

Il s'agit d'un programme de multiplication matricielle appliqué à un classement.

On part d'une matrice Booléenne avec zéros et des 1. On multiplie cette matrice par elle-même, les calculs sont faits en algèbre ordinaire. A chaque élévation de puissance, le nombre sur les diagonales principales indique de combien de boucles le facteur correspondant est le noeud.

Soit A (n, n) cette matrice d'incidence qui n'est que la matrice des influences entre facteurs significatifs.

Ordre 1

$$A = \left(\begin{array}{c} a^1 \\ i j \end{array} \right)$$

avec $a^1_{i j} = 1$, s'il y a une influence positive ou négative du facteur i sur le facteur j, on dira alors qu'il existe un chemin d'influence de longueur 1 allant de i à j.

$a^1_{i j} = 0$ lorsque le facteur i est sans influence sur le facteur j, il n'existe pas de chemin d'influence de longueur 1 allant de i à j.

Ordre 2

$$A^2 = A \times A = \left(\begin{array}{c} a^2 \\ i j \\ k = n \end{array} \right)$$

$$\text{avec } a^2_{i j} = \sum_{k=1}^n a^1_{i k} \cdot a^1_{k j}$$

en particulier

$$a^2_{i j} = 1 \quad k \text{ tq } a^2_{i j} = a^1_{i k} \cdot a^1_{k j}$$

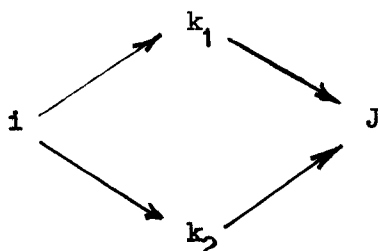
c'est-à-dire qu'il existe un facteur intermédiaire k . tel qu'il y ait une influence du facteur i sur le facteur k et du facteur k sur le facteur j
 $i \rightarrow k \rightarrow j$

on dira qu'il y a un chemin de longueur 2 allant de i vers j

$$a^2_{i j} = 2 \quad k_1, k_2 \text{ tq.}$$

$$a^2_{i j} = a^1_{i k_1} \cdot a^1_{k_1 j} + a^1_{i k_2} \cdot a^1_{k_2 j}$$

c'est-à-dire qu'il existe deux facteurs intermédiaires - On dira qu'il y a deux chemins d'influence de longueur 2 qui vont de i à j.



$$a^2_{ij} = L \quad k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_L$$

Il y a L chemins d'influence de longueur 2 qui vont de i à j.

Ordre n

$A^n_{ij} = L$ il existe L chemins d'influence de longueur n qui vont de i à j.

Cas particuliers : $i = j$

$a^1_{ii} = 0$ par hypothèse un facteur n'agit pas sur lui-même, en conséquence la première diagonale est nulle

$a^2_{ii} = L$ Il existe L chemins de longueur 2 allant de i à i; un tel chemin s'appelle un circuit - nous parlerons de L boucles d'influences passant par i

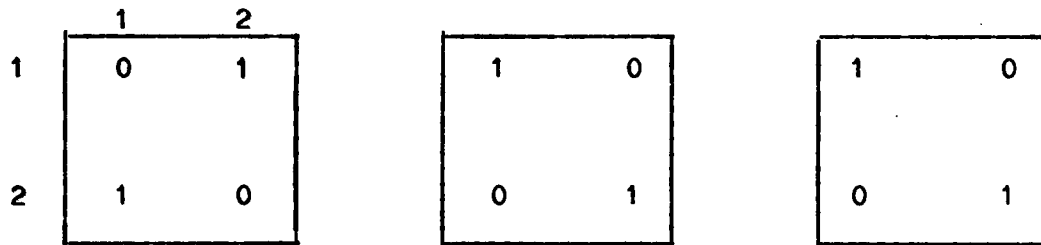
$a^n_{ii} = L$ L boucles d'influence passent par le facteur i - le facteur i est considéré comme un noeud entre L boucles de longueur n

A chaque élévation de puissance le nombre sur la diagonale principale nous dit de combien de boucles le facteur correspondant est le noeud.

En pratique, les résultats précédents ne sont pas tout-à-fait exacts.

En effet, au cours des élévations de puissances successives, des boucles plus petites se joignent pour en former de plus longues; certains éléments sont donc comptés plusieurs fois dans la même boucle. En faisant ainsi, on privilégie les facteurs entrant dans les boucles d'influences courtes, ce qui n'est pas choquant puisque les boucles longues sont moins significatives.

Un problème se pose pour les boucles qui se répètent elles-mêmes pour en former une autre, par exemple, partons d'une matrice 2 x 2



puissances	1		2		4	
boucle	1	2	1			1 et 2 sont comptés 1 fois
boucle	1	2	1	2	1	1 et 2 devraient être comptés

deux fois mais sur la diagonale ne figurent que des 1 puisqu'on a élevé une matrice-unité au carré : ils ne sont donc comptés qu'une fois.

On peut résumer ces remarques par deux propositions :

- 1/ un facteur apparaissant plusieurs fois dans une même boucle n'est compté qu'une fois s'il appartient à deux sous-boucles identiques.
- 2/ un facteur, s'il appartient à plusieurs sous-boucles différentes, est compté une fois à chaque occurrence même s'il procède du même antécédent.

Nous avons vérifié ces propositions sur une matrice 8 x 8 élevée à la puissance 1, 2, 4, 5, 7, 8.

Mis à part cette restriction, le nombre sur la diagonale nous dit bien d'au moins combien de boucles le facteur correspondant est le noeud.

La diffusion, à titre d'échange, des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Ces rapports et bibliographies sont également en vente à l'unité auprès de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available, on an exchange basis, from the Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Individual reports and bibliographies are sold by the Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Edité par

le Service de Documentation

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Boîte Postale n° 2

91 190 - Gif-sur-YVETTE (France)