

CAHIER DU LAMSADE

**Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision
(Université de Paris-Dauphine)
Unité Associée au CNRS n° 825**

**UNE APPLICATION DE L'ANALYSE MULTICRITERE
POUR L'EVALUATION D'ALTERNATIVES :
TECHNOLOGIES PREVENTIVES OU CURATIVES
DE LA POLLUTION INDUSTRIELLE**

CAHIER N° 85

février 1988

V. RABEHARISOA

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
ABSTRACT	I
RESUME	II
1. <u>INTRODUCTION</u>	1
1.1 Les alternatives face à la pollution industrielle : Technologies propres/Technologies curatives	1
1.2 Technologies propres : freins et enjeux	2
1.3 Objectifs de l'étude	4
1.4 Plan du cahier	5
2. <u>LES DIFFERENTES ETAPES DE LA METHODOLOGIE : LES ACTEURS, LES ACTIONS, LES DIMENSIONS, LES CRITERES</u>	7
2.1 Le problème industriel chez LEGRAND	7
2.2 Le réseau d'acteurs	8
2.3 Les actions	9
2.4 Elaboration des critères	10
2.4.1 Liste des dimensions	11
2.4.2 Liste des critères	12
2.4.3 Construction du critère g_6 : "Pollution engendrée par la technique"	13
2.4.4 Construction du critère g_8 : "Poids des relations entre les acteurs"	15
3. <u>MISE EN OEUVRE D'ELECTRE IS : DONNEES ET RESULTATS</u>	19
3.1 Elaboration des données	19
3.1.1 Construction des tableaux des performances	19
3.1.2 Affectation des poids aux critères	22
3.2 Les résultats obtenus	23
3.2.1 Aucun point de vue particulier n'est privilégié	23
3.2.2 Point de vue de l'Administration	25
3.2.3 Point de vue de l'industriel	27
4. <u>VERS L'ETABLISSEMENT D'UN PROCESSUS ENTRE LES ACTEURS : ESQUISSE D'UN PROTOCOLE D'INTERACTION</u>	31
5. <u>CONCLUSION</u>	34
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	35

AN APPLICATION OF MULTICRITERIA ANALYSIS TO THE EVALUATION OF ALTERNATIVES : CLEAN OR CURATIVE TECHNOLOGIES TO LIMIT THE DAMAGE OF INDUSTRIAL POLLUTION

ABSTRACT

The goal of "Mission Clean Technology", set up by the Ministry for the Environment, is to encourage firms to make use of technologies that prevent pollution rather than technologies that only seek to limit the damage.

There are many brakes on the development of clean technologies in the world of industry : old routines and ways of doing things, avoidance of the risks involves with a modification of manufacturing methods, a market that is a priori risky, an absence of public pressure linked to lack of public understanding of the issues.

If one wants to encourage a united strategy for the spread of clean technologies, one must have credible and convincing scenarios. Thus one cannot content oneself simply with economic evaluations of the different (clean and curative) technologies. A new consideration of the decision-making methods so as to bring about a multi-dimensional evolution of the policies of environmental protection is necessary.

This document presents an application of multicriteria analysis to the case of the evaluation of alternative clean/curative technologies within a company for metal finishing. The analysis is carried out according to a precise methodology which takes into account not only economic aspects but also socio-psychological ones (fear of innovation and so on).

At the conclusion of the analysis, the ELECTRE IS method is used : the goal of this method is to help decision-makers to choose the solution best adapted to their problem.

This study brings to light the advantages of a multicriteria analysis in this case-study of the impact of industrial pollution. Further, this study should help government bodies define the action they need to take in order to encourage industrialists to adopt techniques for the prevention of pollution.

UNE APPLICATION DE L'ANALYSE MULTICRITERE POUR L'EVALUATION D'ALTERNATIVES : TECHNOLOGIES PROPRES OU CURATIVES DE LA POLLUTION INDUSTRIELLE

RESUME

Amener les industriels à substituer aux techniques curatives de la pollution des techniques préventives compétitives, tel est le but de la "Mission Technologies Propres" mise sur pied par le Ministère de l'Environnement.

Dans le milieu industriel, les freins au développement des technologies propres sont multiples : habitudes ou routines industrielles, aversion au risque lié à une modification des procédés de fabrication, marché aléatoire a priori, absence de pression du public liée à son manque d'information.

Pour créer une stratégie de diffusion des technologies propres qui fasse l'unanimité, il faut donc disposer de scénarii crédibles et convaincants. Dès lors, on ne peut se contenter de simples évaluations économiques des différentes technologies (propres et curatives). Une réflexion renouvelée sur les méthodes décisionnelles aptes à répondre à une évolution pluridimensionnelle des politiques de protection de l'environnement s'impose.

Ce cahier présente une application de l'analyse multicritère au cas de l'évaluation d'alternatives technologies propres/ technologies curatives au sein d'un atelier de traitement de surfaces. L'analyse est conduite selon une méthodologie précise qui tient compte non seulement des aspects économiques mais également des considérations psychosociologiques (réticence face à l'innovation, ...).

Au terme de l'analyse, la méthode ELECTRE IS est utilisée : cette méthode a pour but d'aider les décideurs à choisir la solution la mieux adaptée à leur problème.

Cette étude permet de mettre à jour les apports d'une démarche multicritère dans ce cas d'analyse des impacts de la pollution industrielle.

Par ailleurs, cette étude devrait aider les pouvoirs publics à définir les actions à entreprendre pour inciter les industriels à adopter des techniques de prévention de la pollution.

1. INTRODUCTION

1.1 Les alternatives face à la pollution industrielle : Technologies propres/Technologies curatives

Depuis une dizaine d'années environ, les questions relatives à la protection de l'environnement dans les pays industrialisés ont pris une dimension économique et sociale qui apparaît de plus en plus fondamentale.

Ceci provient d'abord d'une certaine mutation des mentalités : on constate, du côté du public, une "demande de protection de l'environnement" croissante. Mais cela résulte également des progrès des connaissances en matière d'effets sanitaires et écologiques des produits dangereux rejetés dans l'environnement.

Ceux qui sont à l'origine de la pollution font remarquer que l'incidence économique de la protection de l'environnement constitue une contrainte pour de nombreux secteurs industriels.

Cependant, compte-tenu des attentes du public et des "souhaits" de l'administration, il s'avère de plus en plus difficile pour les industriels de négliger la dimension "lutte contre la pollution" de leur activité.

Face à cette exigence de lutte contre la pollution, l'industriel a le choix entre deux attitudes :

a) La dépollution

Cette première attitude consiste à admettre que la création de matières polluantes est une conséquence fatale de l'activité industrielle. Cette attitude conduit à ajouter aux installations de production des équipements permettant de détruire les matières polluantes (stations d'épuration des eaux usées par exemple). Ces techniques de traitement externe de la pollution sont appelées technologies curatives dans la mesure où elles traitent la pollution telle qu'elle sort de l'usine sans tenter, au préalable, d'en modifier la composition ou d'en réduire le volume au niveau des unités de production.

b) L'anti-pollution

Cette seconde attitude consiste à ne pas créer de pollution dans la mesure où cela est possible. C'est donc une attitude de prévention contre la pollution. C'est la voie des technologies propres. Les technologies propres recouvrent l'ensemble des mesures internes de lutte contre la pollution : procédés de fabrication innovante, modifications des filières existantes, recyclages, valorisation des résidus.

Des exemples de technologies propres et curatives figurent dans le catalogue "Les techniques propres dans l'industrie française" édité par la Direction de la Prévention des Pollutions du Ministère de l'Environnement.

Les technologies curatives sont, de loin, les plus utilisées. D'abord parce que, dans certains secteurs industriels, on ne connaît pas de technologies propres, ce qui rend les technologies curatives indispensables. Ensuite, parce qu'elles ont le mérite d'être immédiatement disponibles.

Par contre, les technologies propres, innovation des années 80, conduisent à repenser le problème de la gestion des risques environnementaux d'une façon globale et intégrée. Ceci suppose non seulement un investissement en recherche et développement mais, éventuellement, une restructuration de la chaîne de production et donc une modification des habitudes au sein de l'entreprise.

1.2 Technologies propres : freins et enjeux

Comment les industriels perçoivent-ils cette innovation que constituent les technologies propres ?

Pour répondre à cette question, l'étude, sous forme d'audits d'entreprises, menée par l'équipe du Professeur CASTEIGNAU (Université de Limoges, Laboratoire Traitement des Eaux, a été effectuée dans trois secteurs industriels pour lesquels on connaît des technologies propres :

- l'industrie de traitement de surfaces ;
- l'industrie agro-alimentaire ;
- l'industrie chimique.

Les principales conclusions du rapport (non publié) de cette étude clinique sont les suivantes.

La première remarque est que le terme "technologie propre" est assez peu répandu dans le milieu industriel. Le sens même du terme est d'ailleurs assez ambigu pour certains industriels, ce qui dénote un problème d'information.

La deuxième remarque importante est qu'il existe des industriels qui utilisent des technologies propres mais, souvent, sans le savoir. En général, c'est la perspective d'un surplus par valorisation de sous-produits, c'est l'impératif de réduction des amendes à payer aux Agences Financières de Bassins qui incitent les industriels à mettre en place des technologies propres. Si l'on s'en tient aux évaluations économiques, les études de faisabilité des technologies propres (valorisation de sous-produits et/ou bilans matières, ...) sont, le plus souvent, fortement positives.

Par ailleurs, l'administration se livre à une promotion des technologies propres : études coûts/bénéfices rassemblés en un catalogue régulièrement tenu à jour, remise d'un prix annuel, aides incitatives, efforts de formation et d'information.

Malgré cette situation favorable, le développement industriel des technologies propres est long à démarrer.

D'où vient cette inertie ?

Notons, en premier lieu, le caractère incertain de l'évaluation des coûts. En général, les bilans des opérations auxquels on procède ne fournissent que des ordres de grandeur. Bien que ces bilans fassent état, le plus souvent, de situations favorables, il importe néanmoins de procéder à des calculs plus précis. Or, une évaluation précise des coûts peut être, dans la pratique, très difficile à effectuer (multiplicité des paramètres, recueil et traitement coûteux des données fluctuations importantes et imprévisibles des cours des matières premières) et risque de revenir très cher.

Par ailleurs, les investissements en équipement qu'il faudrait réaliser pour mettre en place une technique nouvelle de production sont assez lourds. Se posent alors le problème du financement de ces investissements ainsi que celui de leur retour. Ces problèmes constituent un frein au développement industriel des technologies propres.

L'étude sur le terrain a révélé d'autres "blocages". L'introduction d'une technique nouvelle de production dans l'entreprise risque de rencontrer la réticence du personnel. En effet, cela conduirait à défaire une équipe de ses habitudes, à revoir la hiérarchisation des tâches. Même si une telle innovation s'accompagne, en général, d'une campagne d'information et de formation, il n'en reste pas moins que l'opération est délicate et risquée.

Notons enfin que le public, bien que de plus en plus sensible aux problèmes de protection de l'environnement, reste peu informé et n'exerce pratiquement aucune pression incitatrice sur les entreprises.

Mais si des freins, autres qu'économiques, existent, on peut aussi dégager des facteurs incitatifs autres que des considérations de coûts. Notons, à titre d'exemples :

- l'amélioration de l'image de marque de l'entreprise ;
- l'avantage de posséder une avance technologique ;
- l'abaissement éventuel des coûts de production, facteur de compétitivité ;
- une diversification, autant par les produits que par les marchés, perspective de nouveaux débouchés.

Cette liste est loin d'être exhaustive mais elle révèle un fait important : si de tels facteurs ont été occultés, c'est essentiellement à cause de leur caractère qualitatif.

Finalement, cette analyse met à jour une situation complexe. Cette complexité est due en premier lieu à la multiplicité des acteurs : industriels, administration, public, ... Elle tient, en second lieu, à la multidimensionnalité des systèmes et de leurs implications. Enfin, elle résulte de l'existence de facteurs qualitatifs difficilement appréciables et fortement imbriqués.

1.3 Objectifs de l'étude

Compte-tenu des résultats du diagnostic résumés ci-dessus, cette étude se fixe comme objectifs :

- De définir une méthodologie d'évaluation d'une alternative Technologie propre/ Technologie curative compatible avec la prise en compte de paramètres non quantifiables. Le modèle devra prendre en compte non seulement les aspects économiques mais aussi le poids relatif de tel ou tel frein socio-économique mis à jour lors de l'étude

clinique. Ce modèle devrait permettre à un industriel de choisir soit une technique curative, soit une technique préventive, le choix devant se faire tous critères confondus.

- De la généraliser.

Ce modèle devrait servir d'outil de base aux pouvoirs publics afin de leur permettre de dégager une stratégie incitative pour la diffusion et l'utilisation industrielles des technologies propres.

1.4 Plan du cahier

La multiplicité des critères d'évaluation d'une alternative Technologie propre/ Technologie curative d'une part, la multiplicité des acteurs impliqués dans le problème de la lutte contre la pollution industrielle d'autre part nous ont conduit à adopter une méthode multicritère.

Les concepts et étapes de cette méthodologie sont ceux développés dans ROY (1985).

L'analyse a été effectuée pour un atelier de traitement de surfaces. Des technologies propres sont déjà en place au sein de cet atelier. Aussi, cette étude de cas a surtout un intérêt pédagogique. Notons cependant que ce cas s'est révélé intéressant dans la mesure où les techniques préventives proposées ont été confrontées à des techniques curatives classiques.

La suite de ce cahier s'organise comme suit.

Dans la Section 2, après un bref aperçu sur le problème industriel, le réseau d'acteurs et les actions à évaluer, les dimensions et les critères seront exposés.

La Section 3 est consacrée à la mise en oeuvre (élaboration des tableaux des performances, affectation des poids aux critères) et aux résultats obtenus par la méthode ELECTRE IS sur ce cas particulier (cf. ROY, SKALKA (1984)).

La Section 4 propose une utilisation de la méthode ELECTRE IS qui permettrait de repérer les leviers sur lesquels on pourrait agir afin d'amener les industriels à adopter des techniques de prévention de la pollution.

Dans la conclusion, les apports de la démarche multicritère sur ce cas particulier et les limites de l'étude seront brièvement soulignés.

2. LES DIFFERENTES ETAPES DE LA METHODOLOGIE : LES ACTEURS, LES ACTIONS, LES DIMENSIONS, LES CRITERES

2.1 Le problème industriel : Etude d'un cas réel

A l'origine de la mise en place de technologies propres au sein d'un atelier de traitement de surfaces se trouvent deux préoccupations :

- un problème économique : en 1973, la hausse des prix des matières premières oblige l'atelier à revoir ses procédés de fabrication afin de réaliser des économies de matières ; de ce problème est née l'idée de récupération des métaux par électrolyse ;
- un problème de pollution : l'impératif de respect des normes de rejet imposées par l'administration pour ce type d'activité particulièrement polluante.

Ces deux problèmes sont intimement liés puisque l'économie des matières permet de réduire la pollution.

Organisation de l'atelier de traitement de surfaces

L'atelier est composé de deux chaînes qui comportent plusieurs modules :

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Cuivre, Nickel, Argent, Etain, Laiton.2. Acier, Laiton, Cuivre, Zamak (alliage de zinc). |
|--|

Les différentes surfaces ne subissent pas toutes les mêmes traitements. Ainsi, les techniques de récupération de matières qu'on peut mettre en place diffèrent d'une opération à l'autre (cuivrage, argenture, ...).

Dès 1969, une station classique d'épuration des eaux fonctionnait. Cette station était extrêmement consommatrice d'eau (environ 122 000 m³/an) et la perte de matières était importante (40 % en valeur). Afin de parer à ces défaillances, la station fut complétée, vers 1971-1972, par des résines qui servaient à filter les bains de rinçage. Si la consommation d'eau est tombée à 34 000 m³/an, la perte de matières est restée à peu près constante.

De ces constatations est née l'idée de mettre en place des technologies propres pour le traitement des bains de rinçage.

Les solutions propres

La station d'épuration avec résines a été complétée, vers 1974, par un module d'électrolyse de l'argent : la perte de matières est descendue à 20 % en valeur. Cette technique avait déjà été éprouvée dans l'industrie agro-alimentaire mais ce fut une première en France dans l'industrie de traitement de surfaces. En 1979 vient s'ajouter un module d'électrodialyse du cuivre : la perte de matières est tombée à 15 % en valeur.

Actuellement, on note en plus un modèle d'électrodialyse du nickel et un module d'évaporation sous vide des bains d'argent : la perte de matières n'est plus que de 5 % en valeur.

Les résultats

Les techniques mises en place chez l'industriel ont remporté un vif succès. Les taux de rejet sont en conformité avec les normes. Le retour des différents investissements a été assez bref (de 4 à 14 mois). Les bénéfices dégagés, grâce à la réduction des coûts de production due à la récupération de matières, sont appréciables.

Il faut signaler que le personnel a été très motivé et que sa participation à la mise en oeuvre de ces techniques a été importante.

2.2 Le réseau d'acteurs

On peut définir quatre grandes catégories d'acteurs :

a) L'acheteur

C'est l'industriel, "décideur final". Cette catégorie recouvre en fait l'entreprise concernée, donc non seulement le PDG et les ingénieurs mais également les employés.

b) Le vendeur

C'est le constructeur de la technique. Plus généralement, on trouve également, dans cette catégorie, les ensembliers chargés des études de faisabilité technique.

c) L'administration

Sous cette appellation, on trouve :

- le Ministère de l'Environnement ;
- les Agences Financières de Bassins (AFB) chargées de la gestion financière de la pollution créée par les établissements classés ; les établissements classés sont les entreprises qui se sont mises en conformité avec la loi : ils ont déclaré le caractère polluant de leur activité et confient la gestion des matières polluantes qu'ils produisent aux AFB moyennant une redevance annuelle (cf. Journal Officiel) ;
- les Directions Régionales de l'Industrie et de la Recherche (DRIR).

d) Le public

Le public est constitué des clients présents et futurs, des organismes de défense de l'environnement mais aussi des banquiers et autres créanciers. Le public recouvre donc toutes les catégories d'acteurs qui ne sont pas des intervenants directs dans le problème de la lutte contre la pollution. Cependant, l'industriel ne peut pas négliger les systèmes de préférences de ces acteurs puisque son image de marque en est tributaire.

2.3 Les actions

Nous avons retenu les techniques historiquement implantées au sein de l'atelier :

A1 : NE RIEN FAIRE.

A2 : STATION D'EPURATION CLASSIQUE.

A3 : STATION CLASSIQUE + RESINES.

A4 : STATION CLASSIQUE + RESINES + ELECTROLYSE A_g .

A5 : STATION CLASSIQUE + RESINES + ELECTROLYSE A_g + ELECTRODIALYSE C_u .

A6 : STATION CLASSIQUE + RESINES + ELECTROLYSE A_g + ELECTRODIALYSE C_u + ELECTRODIALYSE M_i + EVAPORATION A_g .

Les actions A2 et A3 sont des techniques curatives. Les actions A4, A5 et A6 sont des techniques propres.

2.4 Elaboration des critères

Dans un premier temps, nous avons dressé une liste, aussi exhaustive que possible, des conséquences élémentaires des différentes actions. Cette liste a été élaborée à partir des résultats de l'étude clinique (cf. paragraphe 1.2), de documents spécialisés édités par les AFB (1984) et d'un entretien avec le promoteur-réalisateur de la mise en place des techniques propres chez l'industriel.

Ces discussions ont été ensuite regroupées autour de quelques critères (les raisons du regroupement des dimensions en critères sont explicitées dans ROY (1985)). Ces critères ont été soumis à discussion au cours d'une séance de travail qui a réuni différents acteurs : ingénieur, constructeur, ingénieurs, représentant d'une AFB. La pertinence et l'exhaustivité de la famille de critères ont été examinées. Cette réunion a permis d'établir un consensus sur les axes de signification des critères.

Afin d'illustrer l'élaboration des critères à partir des dimensions, les techniques de construction des critères g_6 : "Pollution engendrée par la technique" et g_8 : "Poids des relations entre les acteurs" sont détaillées dans ce paragraphe (pour les autres critères, voir RABEHARISOA, 1987).

2.4.1 Liste des dimensions

N°	LISTE DES DIMENSIONS	A C H E T E U R	V E N D E U R	A D M I N I S T	P U B L I C
1	coût spécifique d'investissement en matériel	*		*	
2	coût d'information et formation du personnel	*		*	
3	coût de l'étude préalable	*		*	
4	coût énergétique spécifique	*		*	
5	coût en eau (par jour)	*		*	
6	coût en produits (par jour)	*		*	
7	coût annuel de la main-d'oeuvre	*		*	
8	redevances dues aux AFB au titre de la pollution et amendes en cas de dépassement des normes de rejet	*		*	
9	possibilité d'intégration de la technique dans la chaîne de production	*	*		*
10	risque technologique		*		*
11	risque opérationnel	*	*		*
12	impact de la technique sur les qualités du (des) produit(s) final(s)	*	*		*
13	apport de la technique en termes de débouchés	*	*		
14	apport de la technique en termes de valorisation de l'entreprise	*	*		
15	impact de la technique sur les conditions de travail	*	*		
16	impact de la technique sur les conditions d'hygiène et la santé des employés	*	*	*	
17	impact de la technique sur la sécurité du système	*	*	*	
18	importance de la pollution engendrée par la technique			*	*
19	évaluation des accidents pouvant provoquer de graves problèmes de pollution	*		*	*
20	action de l'Administration pour promouvoir la technique	*	*	*	
21	impact de la technique sur l'image de marque de l'entreprise	*			*
22	la technique au sein de la profession	*	*		

Un astérisque dans la colonne ACHETEUR signifie que la dimension considérée intéresse l'industriel.

2.4.2 Liste des critères

CODE	LIBELLE	q_j	p_j	v_j
g_1	COUT D'INVESTISSEMENT (EN KF) $R_+ \xrightarrow{0}$ sens décroissant des préférences	$0.1 \times g_1$	$0.25 \times g_1$	$1\ 000 \times g_1 + 2\ 100$
g_2	COUT DE FONCTIONNEMENT ANNUEL (EN KF) $R_+ \xrightarrow{0}$ sens décroissant des préférences	$0.1 \times g_2$	$0.25 \times g_2$	$1\ 000 \times g_2$
g_3	RISQUES TECHNOLOGIQUE ET OPERATIONNEL $\xrightarrow{0\ 1\ 2\ \dots\ 31}$ sens croissant des préférences	1	4	1 000
g_4	ENJEUX POUR L'ENTREPRISE $\xrightarrow{0\ 1\ 2\ \dots\ 17}$ sens croissant des préférences	0	1	1 000
g_5	IMPACT DE LA TECHNIQUE SUR LE CONFORT ET LA SECURITE DU TRAVAIL $\xrightarrow{0\ 1\ 2\ \dots\ 21}$ sens croissant des préférences	1	3	1 000
g_6	POLLUTION ENGENDREE PAR LA TECHNIQUE $\xrightarrow{0\ 1\ 2\ \dots\ 15}$ sens croissant des préférences	1	3	1 000
g_7	IMPACT DE LA TECHNIQUE SUR L'IMAGE DE MARQUE DE L'ENTREPRISE $\xrightarrow{0\ 1\ 2\ \dots\ 15}$ sens croissant des préférences	1	3	1 000
g_8	POIDS DES RELATIONS ENTRE LES ACTEURS $\xrightarrow{01231011121320\ \dots\ 33}$ sens croissant des préférences	0	5	1 000

2.4.3 Construction du critère g_6 : "Pollution engendrée par la technique"

Ce critère résulte de la sous-agrégation des dimensions :

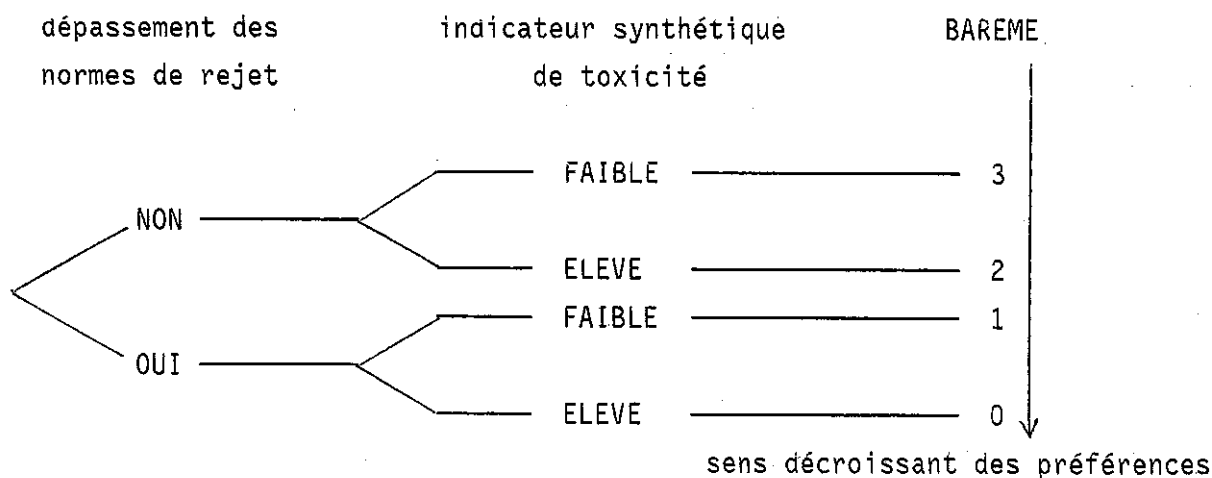
- 18 : importance de la pollution engendrée par la technique ;
- 19 : évaluation des accidents pouvant provoquer de graves problèmes de pollution.

a) Dimension n° 18 : importance de la pollution engendrée par la technique

La pollution engendrée par la technique se mesure en termes de :

- taux de rejet : ces taux ne doivent pas dépasser les normes de rejet fixées par l'Administration ;
- indicateur synthétique de toxicité : un test biologique permet de déterminer la mortalité de daphnies (petits crustacés d'eau douce) en présence de l'élément toxique : l'unité de mesure est l'équivalent toxique par jour (équiton/j).

La combinaison de ces deux facteurs donne une échelle qualitative sur laquelle on note l'importance de la pollution engendrée par la technique.

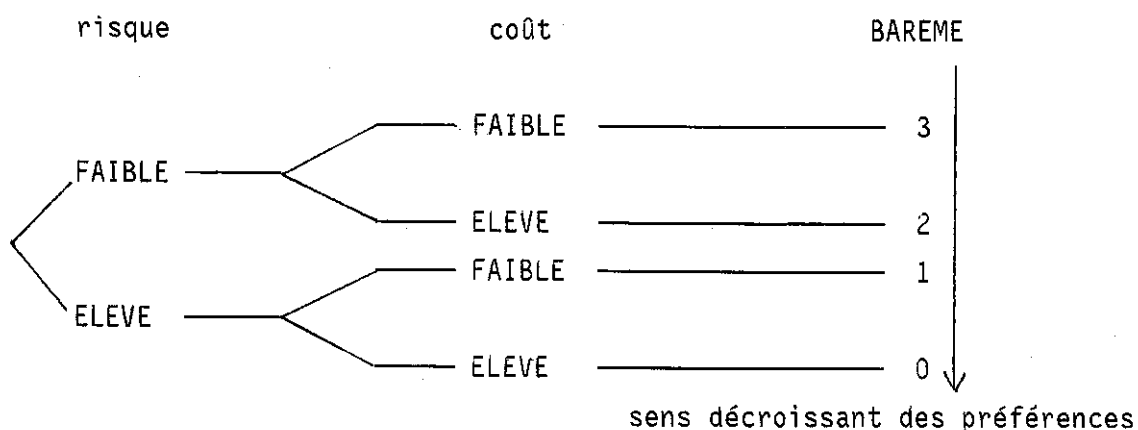


b) Dimension n° 19 : évaluation des accidents pouvant provoquer de graves problèmes de pollution

Cette dimension rend compte du risque réel d'accidents graves de pollution et le coût que cela engendrerait pour l'entreprise (révision du système et du procédé, indemnisation des collectivités concernées, ...). Cette évaluation se fait lors de l'analyse de la sé-

curité du système.

Echelle E19



c) Construction du critère g_6

L'échelle Eg_6 sera obtenue en faisant le produit cartésien des deux échelles E18 et E19. Les couples obtenus seront ordonnés sur l'axe de signification de g_6 comme suit :

dimension n° 18	dimension n° 19	Eg_6
3	3	15
3	2	14
2	3	13
2	2	12
3	1	11
2	1	10
3	0	9
2	0	8
1	3	7
1	2	6
1	1	5
1	0	4
0	3	3
0	2	2
0	1	1
0	0	0

sens décroissant des préférences

On fixera des seuils q_6 et p_6 constants :

$$q_6 = 1 ; p_6 = 3.$$

Considérons par exemple les échelons 14 et 13 de Eg_6 . Ces deux échelons renvoient à des situations pour lesquelles :

- il n'y a pas de dépassement des normes de rejet ;
- le risque d'accidents graves est faible.

Comme ces deux facteurs sont les plus déterminants pour définir respectivement la dimension n° 18 et la dimension n° 19, les deux actions évaluées, l'une à 14 et l'autre à 13 sur Eg_6 , ne sont pas vraiment différenciables.

Pour le seuil p_6 , considérons les deux échelons 9 et 5. Une action évaluée à 9 sur Eg_6 ne provoque pas de dépassement des normes de rejet, contrairement à une action évaluée à 5. Or, le dépassement des normes de rejet est sanctionné par l'Administration. Aussi, il semble légitime de préférer strictement l'action évaluée à 9 à celle évaluée à 5.

2.4.4 Construction du critère g_8 : "Poids des relations entre les acteurs"

Ce critère résulte de la sous-agrégation des dimensions :

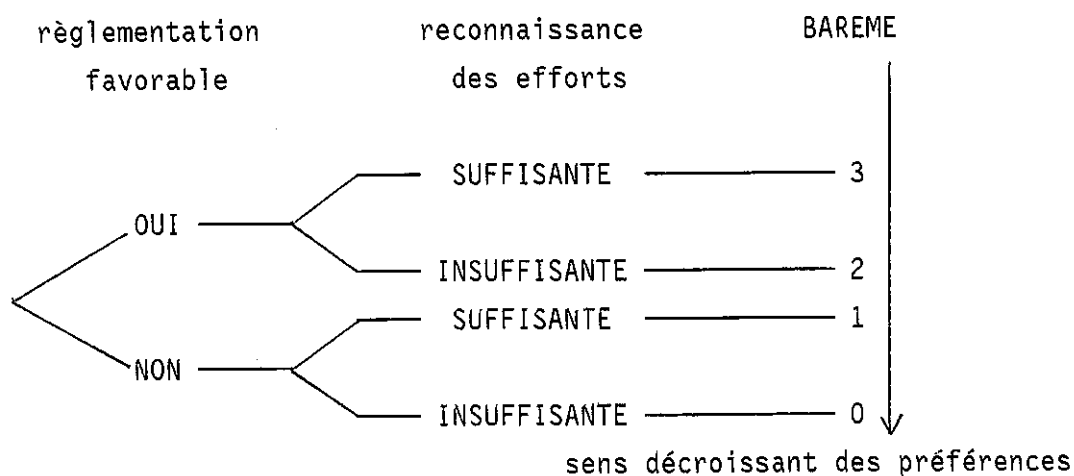
- 20 : action de l'Administration pour promouvoir la technique ;
- 22 : la technique au sein de la profession.

a) Dimension n° 20 : action de l'Administration pour promouvoir la technique

Cette dimension rend compte de la pression exercée par l'Administration sur les industriels et les constructeurs pour promouvoir tel ou tel type de technique. On s'attachera donc à savoir si :

- la réglementation favorise, même implicitement, la promotion du type de technique proposée ;
- la reconnaissance de efforts consentis par les industriels et les constructeurs est suffisante ; exemple : aides financières, primes aux matières premières recyclées.

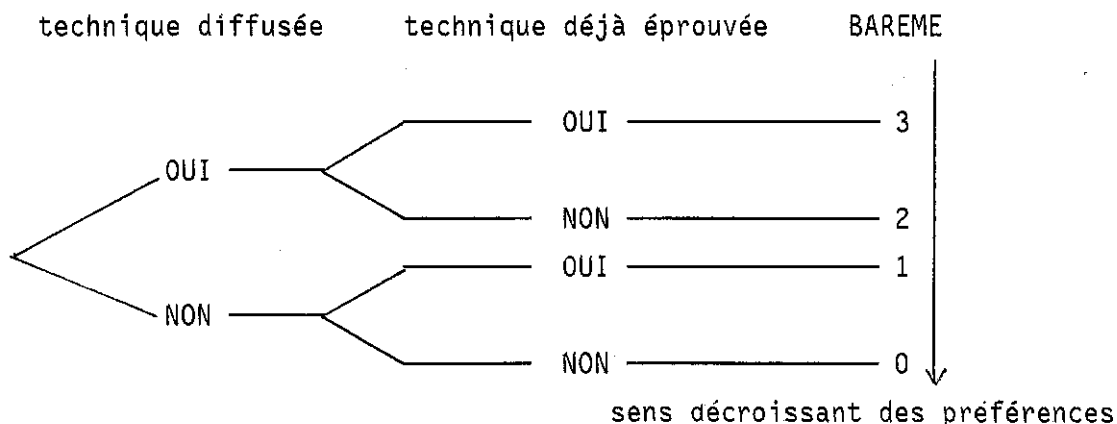
E20 sera une échelle qualitative à 4 échelons :



b) Dimension n° 22 : la technique au sein de la profession

On s'intéresse :

- à la diffusion de la technique au sein de la profession : rétention éventuelle d'informations au nom du secret de fabrication ;
 - aux succès (ou aux échecs) remportés par la technique au sein du secteur considéré.
- E22 sera une échelle qualitative à 4 échelons :**



c) Construction du critère g8

On sous-agrège les dimensions n° 20 et n° 22 selon une technique lexicographique. La dimension dominante sera la n° 22 : "La technique au sein de la profession".

La technique lexicographique

Soit deux actions a et a' :

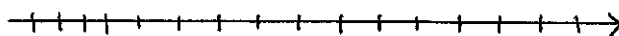
- si l'évaluation de a sur la dimension n° 22 est meilleure que celle de a' , alors on peut conclure que a est strictement préférée à a' ;
- si les deux actions ont la même évaluation sur la dimension n° 22, alors on tient compte de leurs évaluations sur la dimension n° 20 pour donner un jugement de préférence.

En fait, la dimension n° 20 ne sert qu'à départager deux actions ex-aequo sur la dimension n° 22.

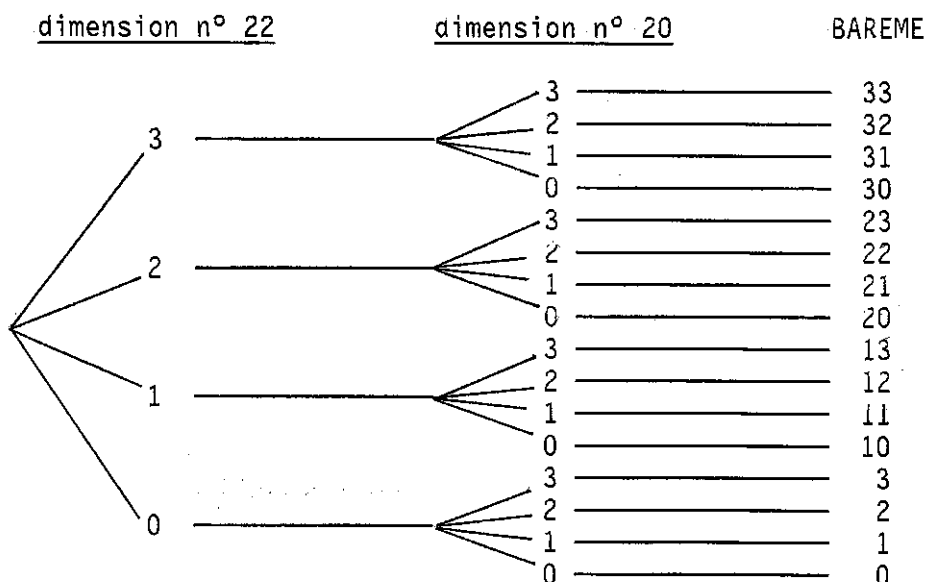
Pourquoi cette technique

Lorsqu'un industriel décide de mettre en place une nouvelle technique de production, il est, certes, sensible aux incitations de l'Administration mais il s'intéresse avant tout à l'attitude de l'ensemble de la profession face à cette technique.

On peut représenter Eg_8 par un arbre à 16 sommets extrémaux dans l'ordre suivant :



0 1 2 3 10 11 12 13 20 21 22 23 30 31 32 33 sens croissant des préférences



Les seuils p_8 et q_8 sont fixés selon le principe suivant :

- il y a indifférence entre deux actions lorsque ni la dimension n° 22 ni la dimension n° 20 n'arrivent à les départager ;
- lorsque deux actions ont la même évaluation sur la dimension n° 22, il y a préférence large en faveur de celle qui a la meilleure évaluation sur la dimension n° 20 ;
- lorsque la dimension n° 22 suffit à départager deux actions, il y a préférence stricte en faveur de celle qui a la meilleure évaluation (sur la dimension n° 22).

Ceci conduit à adopter des seuils constants :

$$q_8 = 0 ; p_8 = 5.$$

Remarque sur les seuils de veto

Les seuils de veto sont fixés, dans un premier temps, à des valeurs très élevées. Au cours de la simulation, on aura la latitude de les faire varier critère par critère et de pouvoir ainsi mieux analyser leurs effets.

3. MISE EN OEUVRE D'ELECTRE IS : DONNEES ET RESULTATS

3.1 Elaboration des données

ELECTRE IS est une méthode d'agrégation de critères qui répond à la problématique du choix de la "meilleure" solution. Elle permet aux décideurs de choisir la solution la mieux adaptée à leur problème, tous critères confondus (pour plus de précisions, voir ROY, SKALKA (1984)).

La mise en oeuvre de cette méthode nécessite le recueil des données suivantes :

- seuils de discrimination (cf. paragraphe 2.4) ;
- performances de chaque action sur les critères ;
- poids des critères qui reflètent l'importance relative accordée à chaque critère par les acteurs.

3.1.1 Construction des tableaux des performances

Les coûts d'investissement et de fonctionnement annuel nous ont été fournis par l'ingénieur de LEGRAND qui a été le promoteur et le réalisateur de la mise en place des différentes techniques. La récupération de matières a été prise en compte dans le coût de fonctionnement annuel : celui-ci diminue en part relative de A1 à A6.

La réunion évoquée au début du paragraphe 2.4 nous a permis de prendre conscience de la divergence des systèmes de valeurs des différents acteurs. A titre d'illustration de ce fait, notons que :

- L'industriel attribut de faibles performances aux solutions propres sur le critère g_3 (risques technologique et opérationnel) par rapport à celles que leur accorde l'Administration :

Industriel : $g_3(A4) = 9$; $g_3(A5) = 5$; $g_3(A6) = 5$

Administration : $g_3(A4) = 15$; $g_3(A5) = 10$; $g_3(A6) = 10$.

Ceci rend compte d'une certaine aversion envers le risque de l'industriel.

- L'Administration attribue de meilleures performances aux solutions propres sur le critère g_6 (pollution engendrée par la technique) par rapport à celles attribuées par l'industriel :

Administration : $g_6(A4) = 14$; $g_6(A5) = 14$; $g_6(A6) = 15$

Industriel : $g_6(A4) = 13$; $g_6(A5) = 14$; $g_6(A6) = 14$.

En somme, s'il y a consensus sur les arcs de signification des critères, les acteurs n'accordent pas pour autant les mêmes performances aux actions sur ces critères.

Ceci nous a conduits à élaborer trois tableaux de performances reflétant chacun un point de vue particulier :

Tableau 1 : Aucun point de vue particulier n'est privilégié

Les performances des actions résultent d'un arbitrage entre les valeurs proposées par les différents acteurs.

Tableau 2 : Point de vue de l'Administration

Pour promouvoir la diffusion des technologies propres, nous avons fait l'hypothèse que l'Administration finance 80 % de l'investissement que nécessite la solution A6 : ainsi, sur les 2 100 KF (coût d'investissement de A6), 1 680 KF sont supportés par l'Administration, les 420 KF restants sont à la charge de l'industriel.

Tableau 3 : Point de vue de l'industriel

LES TABLEAUX DES PERFORMANCES

Tableau 1 : Aucun point de vue particulier n'est privilégié

CRITERES ACTIONS	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
A1	0	1 500	31	0	5	0	0	0
A2	150	850	23	5	12	7	6	32
A3	450	1 050	23	5	12	7	6	22
A4	1 400	600	15	12	20	13	10	11
A5	1 750	750	10	13	20	14	11	11
A6	2 100	900	10	14	20	14	11	11

Tableau 2 : Point de vue de l'Administration

CRITERES ACTIONS	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
A1	0	1 500	31	0	5	0	0	0
A2	150	850	23	5	12	6	6	32
A3	450	1 050	23	5	12	6	6	22
A4	1 400	600	15	12	20	14	10	11
A5	1 750	750	10	13	20	14	11	11
A6	420	900	10	14	20	15	11	11

Tableau 3 : Point de vue de l'industriel

CRITERES ACTIONS	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
A1	0	1 500	31	10	5	0	0	10
A2	150	850	23	10	12	7	6	32
A3	450	1 050	23	10	12	7	6	22
A4	1 400	600	9	14	16	13	10	11
A5	1 750	750	5	14	16	14	11	11
A6	2 100	900	5	14	16	14	11	11

3.1.2 Affectation des poids aux critères

Ici encore, nous nous appuyons sur les remarques formulées au cours de la réunion de travail évoquée au paragraphe 2.4.

Les acteurs donnent une importance plus ou moins marquée à tel ou tel critère. Ainsi, si d'aucun ne conteste le caractère bénéfique de l'économie de matières obtenue grâce aux technologies propres, les ingénieurs y sont attachés par souci de réduction des coût de production alors que les AFB sont surtout sensibles à la réduction de la pollution que permet de réaliser l'économie de matières.

L'industriel privilégie les critères se rapportant aux risques et enjeux économiques (g_1 , g_2 , g_3 et g_4). L'Administration, quant à elle, est très attachés au critère "pollution" g_6 ; ainsi, pour favoriser l'utilisation des techniques préventives de la pollution, elle exerce des pressions incitatives sous forme d'aide financière, de prix, ... ; en somme, elle tente d'établir des relations favorables avec le milieu industriel (critère g_8).

Ces remarques nous conduisent à spécifier trois systèmes de poids.

Système 1 : Aucun point de vue particulier n'est privilégié

Les critères sont équipondérés : $k_1 = k_2 = \dots = k_8 = 1$.

Système 2 : Point de vue de l'Administration

<u>Critères</u>	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
<u>Poids</u>	1	1	1	1	1	4	2	1

Système 3 : Point de vue de l'industriel

<u>Critères</u>	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8
<u>Poids</u>	2	2	2	2	1	1	1	1

Remarque : Dans un premier temps, le seuil de concordance 1 sera fixé à 0.66, ce qui correspond à une majorité aux 2/3.

3.2 Les résultats obtenus

Compte-tenu des données recueillies, trois simulations sont menées :

- Aucun point de vue particulier n'est privilégié :

Tableau des performances n° 1.

Système de poids n° 1.

- Point de vue de l'Administration :

Tableau des performances n° 2.

Système de poids n° 2.

- Point de vue de l'industriel :

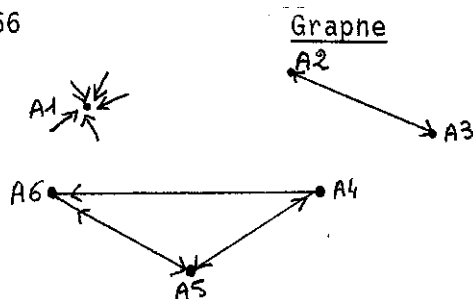
Tableau des performances n° 3.

Système de poids n° 3.

Une analyse de robustesse sera effectuée pour chaque simulation.

3.2.1 Aucun point de vue particulier n'est privilégié

$s = 0.66$

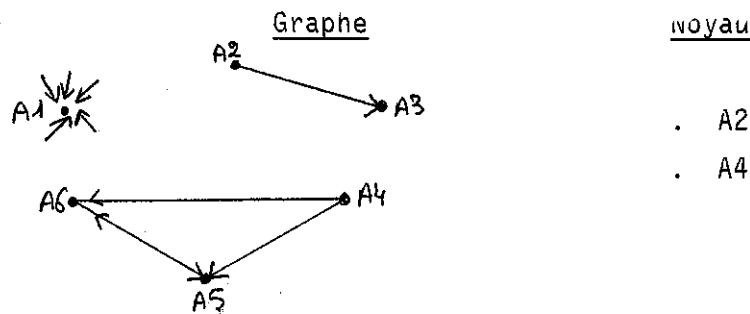


Noyau

- . un circuit (A2, A3)
- . un circuit (A4, A5, A6)

Dans un premier temps, le seuil de concordance s est fixé à 0.66, ce qui correspond à une majorité aux 2/3. Lorsqu'aucun point de vue particulier n'est privilégié, le noyau comporte deux circuits distincts et incomparables entre eux ; le circuit (A2, A3) regroupe les techniques curatives. Le circuit (A4, A5, A6) regroupe les techniques propres. Le contraste ainsi révélé entre ces deux types de techniques rend compte des considérations de coûts des uns et du souci de lutte contre la pollution des autres.

$$s = 0.75$$



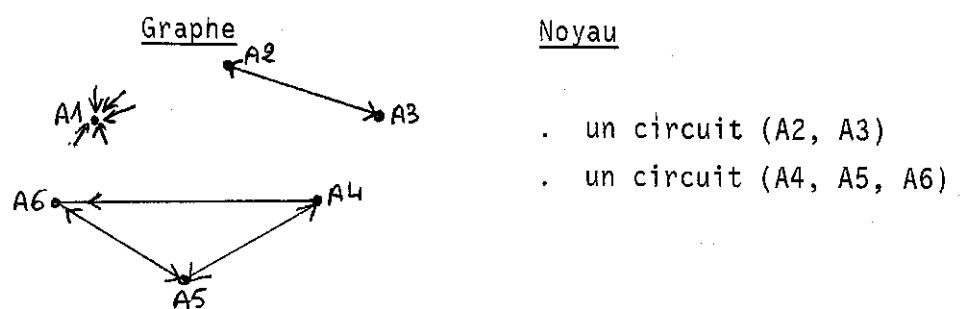
$\bar{s}$ est fixé à 0.75, ce qui signifie qu'on est plus exigeant sur la majorité (majorité aux 3/4).

On trouve dans le noyau deux techniques incomparables entre elles : une technique curative A2 et une technique propre A4. Il semblerait que les problèmes de coûts se soient révélés plus déterminants : en effet, A2 est la technique curative la moins chère et A4 est la technique propre la moins coûteuse.

$$s = 0.66$$

$$v_1 = 2 \times g_1 + 1$$

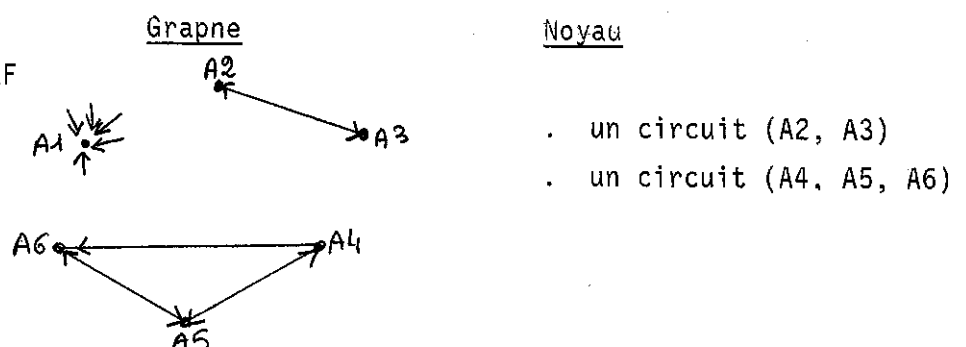
$$v_2 = 2 \times g_2$$



En munissant g_1 et g_2 de seuils de veto, on est plus exigeant sur la discordance vis-à-vis des coûts. Le noyau comporte deux circuits incomparables entre eux : un circuit regroupant les techniques curatives et un circuit regroupant les techniques propres ; ainsi, malgré une certaine forme d'exigence sur les coûts, la dichotomie entre techniques curatives et techniques propres se maintient ; ceci reflète la disparité des critères d'évaluation des différents acteurs lorsqu'aucun point de vue particulier n'est privilégié.

$$s = 0.66$$

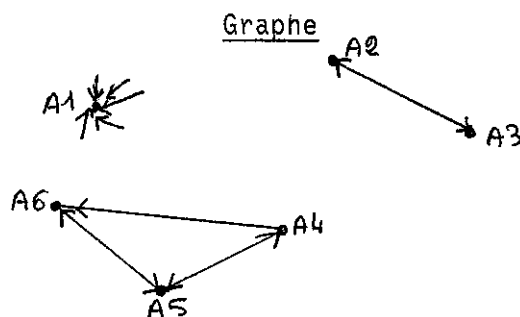
$$g_1(A6) = 1\ 680\ \text{KF}$$



On suppose que l'Administration accepte de financer 20 % de l'investissement imputable à la solution A6. Ainsi, l'industriel n'aura à supporter que 1 680 KF sur les 2 100 KF prévus. C'est une forme d'incitation de la part de l'Administration pour le développement des technologies propres. Malgré cette incitation financière, des techniques curatives (A2 et A3) apparaissent dans le noyau. Ceci semblerait supposer qu'une subvention qui n'est pas accompagnée d'une véritable politique incitatrice (soulignons que les critères sont, ici encore, équipondérés) serait insuffisante.

$$s = 0.66$$

$$v_6 = 5$$



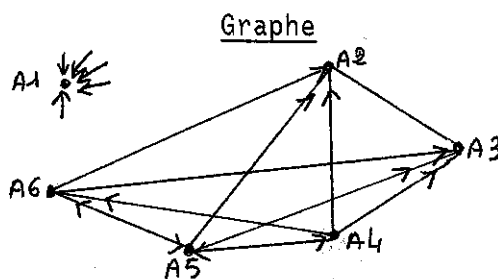
Noyau

- . un circuit (A2, A3)
- . un circuit (A4, A5, A6)

On est plus exigeant sur la discordance vis-à-vis de la pollution. Ici encore, les techniques curatives A2 et A3 apparaissent dans le noyau. Il semblerait donc que le veto sur le critère "Pollution engendrée par la technique" ne suffit pas, à lui seul, à rayer les techniques curatives de la liste des "meilleures" solutions.

3.2.2 Point de vue de l'Administration

$$s = 0.66$$



Noyau

- . un circuit (A4, A5, A6)

Le résultat reflète bien le point de vue de l'Administration puisque le noyau ne comporte que des techniques propres. Cependant, aucun critère ne permet de préférer une technique plutôt qu'une autre.

$$s = 0.75$$

$$k_6 = 8$$

Graphe

Noyau

On a le même graphe et le même noyau que précédemment.

Ce résultat semble supposer qu'une augmentation du poids du critère "Pollution engendrée par la technique" ne produit pas de modification du graphe. Pour parfaire cette proposition, il faudrait effectuer des simulations avec d'autres valeurs de k_6 . Cependant, on ne pourra pas augmenter indéfiniment la valeur de k_6 car on risquerait alors d'effectuer des simulations qui n'ont aucun sens dans la réalité.

$$s = 0.66$$

$$g_1(A6) = 1\ 680\ \text{KF}$$

Graphe

Noyau

On a le même graphe et le même noyau que précédemment.

Si les subventions aux investissements pour la mise en place des technologies propres devaient être une des politiques d'incitation de l'Administration, un financement à hauteur de 20 % semble plus réaliste que celui à 80 %. Ainsi, on fixe la valeur de $g_1(A6)$ à 1 680 KF. Cette diminution des subventions accordées par l'Administration n'affecte pas les résultats ; on ne peut donc affirmer pour autant qu'une subvention à hauteur de 80 % soit excessive car cette simulation ne rend pas compte du point de vue de l'industriel.

$$s = 0.66$$

$$v_6 = 5$$

Graphe

Noyau

On a le même graphe et le même noyau que précédemment.

Une manière pour l'Administration d'être plus exigeante quant à la réduction de la pollution est d'opposer son veto dès lors qu'une technique est trop polluante. Ainsi, on fixe v_6 à 5. Ici encore, les résultats sont inchangés.

Ces trois dernières simulations semblent supposer qu'une "bonne" politique incitatrice pour le développement des technologies propres devrait tenir compte de plusieurs aspects (financiers, juridiques, ...).

$$s = 0.66$$

Graphe

Noyau

$$k_6 = 8$$

$$v_6 = 5$$

$$g_1(A_6) = 1\,680 \text{ KF}$$

On a le même graphe et le même noyau qu'eprécédemment.

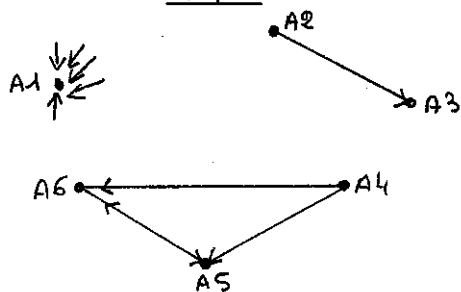
Ici, plusieurs aspects sont raduits par les données : une exigence quant à la réduction de la pollution ($v_6 = 5$; $k_6 = 8$) ; une incitation financière de la part de l'Administration pour le développement des technologies propres ($g_1(A_6) = 1\,680 \text{ KF}$).

3.2.3 Point de vue de l'industriel

$$s = 0.66$$

Graphe

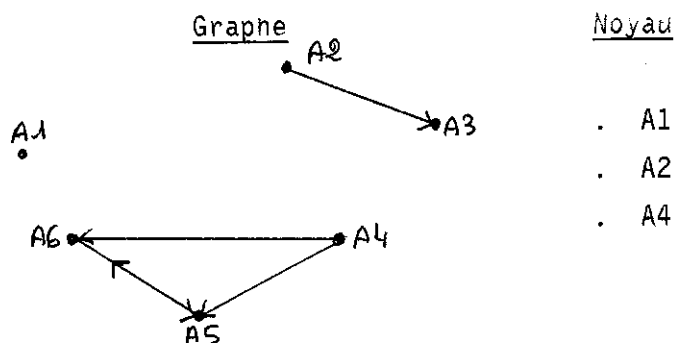
Noyau



. A2
. A4

A2 est la technique curative la moins chère et A4 est la technique propre la moins coûteuse. Les préoccupations de coûts de l'industriel se retrouvent dans ce résultat. Mais le fait le plus intéressant est qu'une technique propre fasse partie du noyau ; ceci s'expliquerait par le faible coût de fonctionnement engendré par la mise en place de A4. Ainsi, malgré l'aversion de l'industriel envers un investissement assez important et risqué, la prise en compte des autres critères lui suggère une solution qu'il aurait sans doute écartée d'emblée.

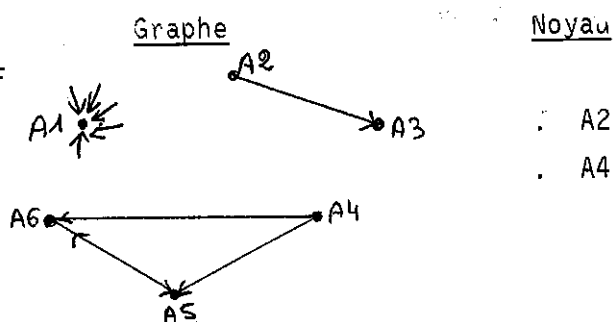
$$s = 0.75$$



A1 est une action isolée : elle n'est liée à aucune autre action. Les considérations de coûts ont largement joué en faveur de A1. A1 a donc une position assez particulière. Cependant, il faut être conscient du fait que certains industriels n'ont pas encore, à ce jour, de politique bien ferme de lutte contre la pollution ; que A1 fasse partie du noyau n'est donc pas totalement incompréhensible.

$$s = 0.66$$

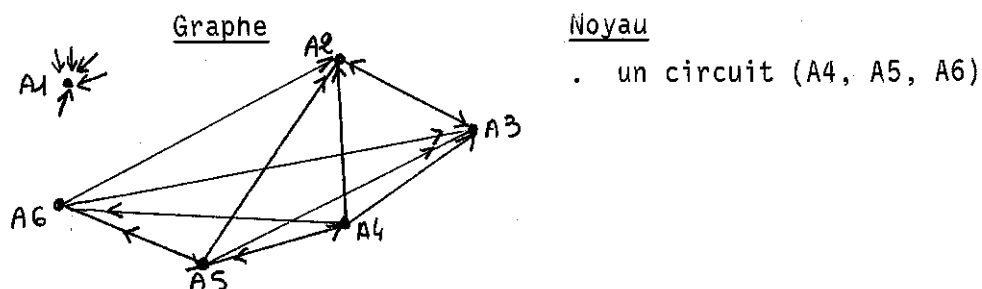
$$g_1(A6) = 1\ 680\ \text{KF}$$



L'Administration finance 20 % de l'investissement imputable à A6. A1 est à nouveau dominé par les cinq autres actions. Cependant, il semblerait que cette subvention ne soit pas suffisante pour inciter un industriel réticent à revoir sa politique de lutte contre la pollution puisque le noyau est le même que celui du premier cas ($s = 0.66$ et aucune incitation de la part de l'Administration).

$$s = 0.66$$

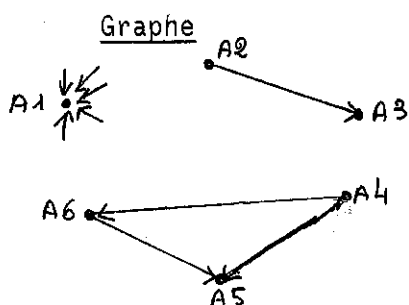
$$k_7 = 4$$



Bien que l'industriel raisonne essentiellement en termes de coûts, il ne peut pas négliger totalement son image de marque. Pour cette raison, on fixe le poids du critère n° 7 à 4. Le noyau nous montre que l'industriel est alors amené à opter pour des techniques propres. Il est intéressant de noter qu'une simple évaluation économique n'aurait pas pu rendre compte d'un tel résultat.

$$s = 0.66$$

$$v_8 = 7$$



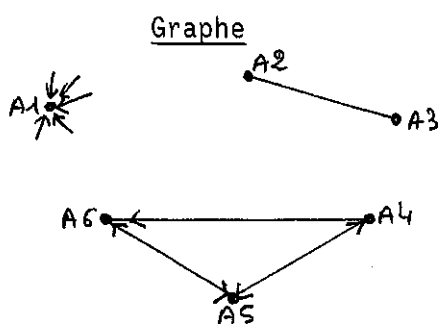
Noyau

- . A2
- . A4

Le critère n° 8 "Poids des relations entre les acteurs" reflète les attitudes des différents intervenants vis-à-vis de la technique proposée. Un industriel se renseigne toujours sur les résultats éventuels obtenus par la technique avant de la mettre en place. Ceci explique la valeur du seuil de veto $v_8 = 7$: si la technique n'a pas encore été expérimentée par ailleurs, l'industriel est réticent quant à son implantation dans son usine. Il est intéressant de noter que malgré la réticence de l'industriel à effectuer un investissement risqué, la solution propre A4 fait encore partie du noyau. On peut imputer ce résultat au bénéfice que l'industriel tire d'une bonne circulation de l'information.

$$s = 0.66$$

$$v_6 = 5$$



Noyau

- . A2
- . un circuit A4, A5, A6

Une manière pour l'administration d'amener l'industriel à adopter une technologie propre est de lui opposer son veto dès lors qu'une technique est trop polluante. Par rapport au premier cas ($s = 0.66$ et aucune incitation de la part de l'Administration), les résultats sont inchangés. Le partage entre les considérations de coûts (A2 et A4) sont, respectivement, la technique curative la moins chère et la technique propre la

moins coûteuse) et l'effet du veto sur le critère "Pollution engendrée par la technique" (la solution propre A4 fait encore partie du noyau) est difficilement décidable.

4. VERS L'ETABLISSEMENT D'UN PROCESSUS ENTRE LES ACTEURS : ESQUISSE D'UN PROTOCOLE D'INTERACTION

Dans la section 3, la méthode ELECTRE IS est utilisée dans une optique d'évaluation.

Le graphe obtenu à l'issue de chaque simulation traduit les choix du décideur (performances des actions sur les critères, poids des critères, seuils de préférence et de veto) en termes de préférence entre les actions. Ainsi, le noyau de chaque graphe est constitué des "meilleures" solutions au sens des actions les mieux adaptées au problème tel que se le pose le décideur.

Il est donc tout à fait important de souligner le caractère contingent des résultats obtenus par la méthode : ELECTRE IS évalue les actions et les place les unes par rapport aux autres (en termes de surclassement) en fonction des informations données par le décideur. Dans un sens, on peut dire que ELECTRE IS rend visible au décideur la formulation de ses préférences.

Rappelons ici que l'objectif final de l'étude est d'aider les pouvoirs publics à élaborer une stratégie convaincante afin d'amener les industriels à utiliser des technologies propres.

Les résultats détaillés dans la section 3 nous montrent qu'une subvention aux investissements de la part de l'Administration ne suffit pas toujours à amener un industriel réticent à adopter une technique de prévention de la pollution. Une sensibilisation de l'industriel à son image de marque peut, par exemple, être aussi décisive qu'une incitation financière.

Compte-tenu de ces remarques, le problème qui se pose est alors le suivant : sur quels leviers agir et de quelle(s) manière(s) afin que ce "graphe de l'industriel" soit favorable aux technologies propres ? En fait, sous-jacent à cette question, se trouve le problème de l'aide à la décision qui consiste à faire partager des convictions.

Avant d'esquisser les grandes lignes d'une des solutions possibles à ce problème, nous devons encore préciser quelques hypothèses :

(1) La solution que nous préconisons s'appuie sur l'utilisation de ELECTRE IS.

(2) La solution que nous proposons ne consiste pas à mettre en place des procédures automatiques qui, pour un graphe donné, en déduiraient le (les) jeu(x) de donnée(s) correspondant(s) ; en effet, les conséquences induites par la combinaison de plusieurs modifications de données sont difficiles à formaliser ; de plus, une configuration particulière du graphe peut être obtenue à partir de combinaisons diverses des données (sur les seuils, les poids, ...) et ces combinaisons ne sont pas toutes réalistes.

En fait, la solution que nous préconisons s'appuie sur l'interactivité de la méthode ELECTRE IS. Elle repose sur la mise en place d'un protocole d'interaction qui permettrait de gérer les tapes du dialogue avec l'industriel et de stabiliser, moyennant essais et erreurs, le graphe souhaité.

Les différentes étapes de cette solution sont les suivantes :

(1) Définir, pour chaque donnée, un domaine de variation réaliste. A titre d'illustration, considérons le critère g_6 : "Pollution engendrée par la technique". L'Administration, pour qui ce critère est le plus important, ne peut pas pour autant lui accorder un poids trop élevé (exemple : $k_6 = 40$). En effet, cela provoquerait la désapprobation immédiate de l'industriel dans la mesure où ce serait nier le caractère multicritère du problème !

(2) Effectuer des simulations en repérant les données qui ont été modifiées et en confrontant l'industriel aux résultats obtenus à chaque étape et ce jusqu'à l'émergence du graphe souhaité.

(3) Traduire les données ainsi stabilisées en termes de modalités d'action pour l'Administration.

Exemple : Le graphe souhaité est apparu sans qu'un seuil de veto sur le critère g_6 (Pollution engendrée par la technique) ait été nécessaire mais avec un poids $k_7 = 5$ sur le critère "Impact de la technique sur l'image de marque de l'entreprise".

L'Administration saurait alors qu'une action de sensibilisation de l'industriel à son image de marque serait plus efficace qu'une modification des lois de protection de l'environnement.

En somme, nous cherchons par cette méthode à établir un consensus aussi stable qu'é possible entre les acteurs. Les possibilités d'interaction que nous offre ELECTRE IS sont exploitées systématiquement afin de rendre visibles aux différents intervenants les étapes successives du dialogue.

Cette méthode n'est, pour l'instant, qu'une proposition. Il faudra sans doute affiner le protocole d'interaction et le tester sur des cas pratiques afin d'en connaître les limites. Par ailleurs, on pourrait s'interroger sur les améliorations possibles du logiciel ELECTRE IS qui lui permettraient de traiter un très grand nombre de simulations et qui rendraient les résultats plus visibles à un utilisateur potentiel (exemple : possibilité d'affichage des graphes).

5. CONCLUSION

La méthodologie multicritère adoptée dans cette étude a permis de repenser et de reposer le problème de la lutte contre la pollution industrielle : prise en considération des points de vue des différents acteurs, intégration des facteurs sociaux. De fait, cette analyse a permis d'apprécier des aspects qualitatifs du problème jusque là occultés et de valoriser des solutions qu'une simple évaluation économique aurait écartées.

Cette étude concerne plus particulièrement le secteur de l'industrie de traitement de surfaces ; pour d'autres secteurs, il conviendrait sans doute de revoir la liste des critères et éventuellement de redéfinir leurs composantes et leurs modes de détermination. Ceci ne diminue en rien la portée de la méthodologie qui, de par son caractère interactif, permet de réviser les différentes options prises au niveau de la modélisation si certains intervenants en manifestent le désir.

Le plus gros investissement à faire se situe au niveau de la gestion des interactions avec les acteurs. L'homme d'étude se doit de faire comprendre les apports de la méthode et doit créer un climat favorable afin que l'interrogation des acteurs sur leurs choix en termes de poids des critères ou de seuils de préférence se déroule dans les meilleures conditions possibles. Il faut intéresser les acteurs aussi bien au problème (l'industriel ne dispose pas de beaucoup de temps à consacrer à la lutte contre la pollution ; ce problème n'est d'ailleurs qu'une de ses préoccupations) qu'à la méthode (si la méthode apparaît comme une "boîte noire" pour l'acteur et qu'il n'en perçoit pas les avantages, il se désinvestit assez rapidement).

Le succès de l'intervention de l'homme d'étude est donc largement tributaire des "stratégies d'intéressement" qu'il met en oeuvre pour mobiliser chaque acteur. Cette dimension du travail de l'homme d'étude est essentielle dans la mesure où elle soutient en permanence les actions qu'il doit entreprendre. L'approche proposée dans la section 4 est, justement, une des "stratégies d'intéressement" possibles que l'homme d'étude pourrait mettre en oeuvre pour gérer efficacement ses interactions avec les acteurs.

BIBLIOGRAPHIE

RABEHARISOA V. : "Approche multicritère pour l'évaluation d'alternatives technologies propres/technologies curatives dans le cadre de la lutte contre la pollution industrielle", Université de Paris-Dauphine, Mémoire de DEA, 1987.

RENARD F. : "Utilisation d'ELECTRE dans l'analyse des réponses à un appel d'offres : Le cas de la machine de tri paquets à la Direction Générale des Postes", Université de Paris-Dauphine, Cahier du LAMSADE n° 73, juin 1986.

ROY B. : Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica, 1985.

ROY B., SKALKA J.M. : "ELECTRE IS - Aspects méthodologiques et guide d'utilisation", Université de Paris-Dauphine, Document du LAMSADE n° 30, septembre 1984.

ROY B., VINCKE Ph. : "L'analyse multicritère", Université de Paris-Dauphine, Document du LAMSADE n° 6.

Etude de diagnostic des ateliers de traitement de surface du Bassin Loire-Bretagne, Cahier des clauses techniques, Agence de Bassin Loire-Bretagne.

Fiabilité et sécurité en épuration des eaux industrielles, 4 études expérimentales dans le Bassin Nord-Artois-Picardie, Cahiers techniques n° 5, novembre 1984, Agence de l'eau Nord-Artois-Picardie.

Solution de remplacement du fluoborate dans le placage étain-plomb, S. TREVISANI - LEA RONAL FRANCE.

Les techniques propres dans l'industrie française, Catalogue du Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions.

Installations classées pour la protection de l'environnement, Journal Officiel n° 1001-1, 1001-2, 1001-3.