

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

UTILISATION D'ELECTRE DANS L'ANALYSE DES REPONSES A UN APPEL D'OFFRES : LE CAS DE LA MACHINE DE TRI PAQUETS A LA DIRECTION GENERALE DES POSTES (*)

CAHIER N° 73

juin 1986

F. RENARD (**)

(*) Travail effectué en collaboration avec le LAMSADE et ayant fait l'objet d'une communication prononcée dans le cadre du séminaire du LAMSADE "Modélisation des Préférences et Méthodes Multicritères".

(**) Ingénieur Spécialiste à SEMA.METRA.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
ABSTRACT	I
RESUME	II
<u>PREAMBULE</u>	1
1 - <u>INTRODUCTION : L'AUTOMATISATION DU TRI DES PAQUETS</u>	2
1.1 - Le contexte du tri postal en France	2
1.1.1 - Caractéristiques d'exploitation des centres de tri des paquets	2
1.1.2 - Organisations envisagées par la Poste pour automatiser le tri des paquets	3
1.1.3 - Organisation avec tri manuel	3
1.1.4 - Cas des centres de tri de grande importance	4
1.2 - L'appel et la sélection des offres	4
1.3 - La nécessité d'une analyse multicritère	6
2 - <u>LA FAMILLE DE CRITERES DE SELECTION DES OFFRES</u>	7
2.1 - Caractéristiques d'une machine automatique à trier les paquets	7
2.2 - Echelle de notation associée à chaque dimension	10
2.3 - Sous-agrégation des dimensions et définition des critères	13
2.4 - Les douze critères retenus	16
3 - <u>ELABORATION DU TABLEAU DES PERFORMANCES</u>	17
3.1 - Notation des dimensions	17
3.2 - Calcul des performances selon les critères	18
3.3 - Seuil d'indifférence	19
4 - <u>MISE EN OEUVRE D'ELECTRE IS</u>	20
4.1 - Pourquoi avoir choisi cette méthode	20
4.2 - Dernières données nécessaires à l'utilisation d'ELECTRE IS	21
4.2.1 - Indices d'importance des critères	21
4.2.2 - Seuils de veto	22
4.3 - Utilisation de la méthode	22
4.3.1 - Généralités	22
4.3.2 - Analyse de robustesse et résultats	24
5 - <u>CONCLUSIONS</u>	27
<u>REFERENCES</u>	28

USING ELECTRE TO ANALYSE TENDERS :
THE OFFICE OF THE POSTMASTER GENERAL'S PACKAGE-SORTING MACHINE

oo00oo

ABSTRACT

The present paper offers an exemplary demonstration of how multicriteria analysis can be applied to an exhaustive study of tenders.

Analysis is performed within a precise methodological framework which governs both the collection and presentation of data. Once this analysis is completed, the ELECTRE IS method is used.

The aim of the study is to assist the Office of the Postmaster General in selecting a package-sorting machine.

In the first instance (Section 1) the context of the study and the problems involved in organising and presenting the data are discussed in relation to the methodological approach chosen.

Each tender (i.e. each proposed machine) is analysed according to 48 points of view which leads to 48 dimensions. Section 2 then explains how to "sub-aggregate" these "dimensions" so as to build 12 criteria allowing to compare the tenders.

Section 3 describes how tender evaluations based on the 48 points of view were used to construct an overall performance table based on the 12 criteria.

Following a brief explanation of the ELECTRE IS method, Section 4 presents some additional data (indices of importance, veto thresholds) needed to use the method, as well as a summary of the main results obtained.

Section 5 concludes with an assessment of the contribution and effects of the application of a multicriteria approach to this study.

UTILISATION D'ELECTRE DANS L'ANALYSE DES REPONSES
A UN APPEL D'OFFRES :

LE CAS DE LA MACHINE DE TRI PAQUETS
A LA DIRECTION GENERALE DES POSTES

oo00oo

R E S U M E

Ce document présente un cas exemplaire d'application de l'analyse multicritère au dépouillement d'un appel d'offres.

L'analyse est conduite suivant une méthodologie précise qui guide la collecte et la mise en forme des données. Au terme de cette analyse, la méthode ELECTRE IS est utilisée.

L'objectif de l'étude est d'aider la Direction Générale des Postes à choisir une machine à trier des paquets.

On présente tout d'abord (section 1) le contexte de l'étude et les problèmes que soulève la mise en forme des données en relation avec les grandes lignes de la méthodologie.

Chaque offre (machine proposée) est analysée selon 48 points de vue auxquels sont associés des "dimensions". La section 2 est ensuite consacrée à la manière de "sous-agréger" ces dimensions de façon à définir 12 critères permettant de comparer les offres.

La section 3 décrit la façon dont le tableau synthétique de performances sur les 12 critères a été construit à partir des évaluations des offres sur les 48 points de vue.

Après un bref exposé de la méthode ELECTRE IS, la section 4 présente les données supplémentaires (indices d'importance des critères, seuils de veto) nécessaires pour utiliser la méthode, puis résume l'analyse des principaux résultats obtenus.

La section 5 conclut en indiquant la contribution et les effets de l'utilisation d'une méthode multicritère dans le cadre de cette étude.

PREAMBULE

L'Administration des Postes a engagé, dans les années 70, un programme d'automatisation des Centres de tri composant le réseau de distribution des lettres et des paquets postaux.

En ce qui concerne le tri des paquets, la Poste est en concurrence avec d'autres transporteurs privés, ce qui entraîne des contraintes plus fortes au niveau des prix et de la qualité de service. Aussi l'Administration des Postes a-t-elle demandé à SEMA.METRA, en mai 1983, d'appliquer la méthode de Conception à Coût Objectif (CCO) (cf. PETITDEMANGE (1985), SEMA.METRA (1985), R. TASSINARI (1983)) pour l'aider à choisir un nouveau système de tri sur la base de réponses faites à un appel d'offres. La démarche CCO conduit à assigner un coût objectif à un système bien avant les études de conception, quitte à revenir par la suite, au cours du développement du projet, sur certaines performances définies au départ comme flexibles.

Quatre variantes de machine de tri correspondant à un nombre de directions de tri différent ont été demandées à chaque constructeur potentiel, lors de l'appel d'offres.

Dès l'établissement de son offre de développement du prototype, celui-ci devait demander sa propre évaluation pour la fourniture et l'installation des machines de série pour les quatre variantes 0, 1, 2 et 3.

De plus, dans le cadre de la procédure CCO, il convient de disposer de toutes les informations nécessaires concernant la machine à trier en vue de sélectionner la ou les offres des constructeurs dont la conception correspondait au mieux aux préférences des différents utilisateurs.

Les données ainsi recueillies ont fait apparaître le besoin de recourir à un logiciel d'aide à la décision pour les traiter et, corrélativement à une méthodologie, pour les mettre en forme. Une collaboration avec le LAMSADE de l'Université de Paris-Dauphine permit une analyse en profondeur des informations recueillies dans une perspective d'aide à la décision grâce à la méthode ELECTRE IS.

1 - INTRODUCTION : L'AUTOMATISATION DU TRI DES PAQUETS

1.1 - Le contexte du tri postal des paquets en France

L'Administration des Postes recherche un système de tri de paquets pour équiper les ateliers ou centres de tri des paquets de moyenne importance.

1.1.1 - Caractéristiques d'exploitation des centres de tri des paquets

Le créneau choisi fait apparaître un flux maximum de 20 000 paquets par jour à trier sur 10 heures d'exploitation. Ces paquets sont triés en deux temps :

- Tri départ (TG1) après collecte des paquets dans les bureaux de poste. Ce tri représente environ 30 % du trafic journalier et est effectué le matin.
- Tri arrivée (TG2) avant distribution. Ce tri représente environ 70 % du trafic journalier et est effectué l'après-midi.

Soixante directions de tri, appelées séparations d'exploitation, suffisent pour effectuer le tri départ (TG1)

Par contre, le nombre de séparations d'exploitation est fonction du nombre de bureaux distributeurs desservis pour le tri arrivée TG2.

Un échantillon de 18 centres de tri de paquets donne la répartition suivante :

Tableau 1

Nombre de séparations d'exploitation TG2	Nombre de centres
60 à 80	7
81 à 100	4
101 à 140	3
140 à 180	4

C'est donc le TG2 qui conditionne l'organisation du système de tri.

1.1.2 - Organisations envisagées par la Poste pour automatiser le tri des paquets

Pour satisfaire le besoin d'équipement des centres de moyenne importance, le choix d'une machine de tri disposant d'un nombre de sorties physiques égal au nombre de séparations d'exploitation demandées paraît plus simple.

En fait, deux constatations sont à faire :

- d'une part une telle machine serait mal utilisée (cf. tableau 1) car la répartition de flux par séparation de tri à effectuer n'est pas homogène (50 % des directions utiles représentent 80 % du trafic TG2). En effet, certaines villes ou départements ont un trafic beaucoup plus important que d'autres ;
- d'autre part le seuil de rentabilité de la machine, dans les limites de fournitures demandées par rapport au tri manuel, est bas (2 000 000 F TTC au 1.7.1983). Ce seuil de coût est validé par ailleurs par d'autres données internes et externes dont dispose l'Administration (enquête auprès d'autres utilisateurs de machine de tri, évaluation de machine de tri banalisée, etc.).

Le respect de ce seuil de coût est nécessaire et limite l'investissement pour la machine de tri.

1.1.3 - Organisation avec tri manuel

Ainsi, le respect de ce seuil et l'utilisation préférentielle de la machine pour les séparations les plus productives ont amené l'Administration à envisager de prime abord une organisation avec une configuration machine réduite complétée, si nécessaire, pour les séparations de faible trafic, par un tri manuel.

C'est dans ce cadre qu'il est demandé aux constructeurs de machines de répondre à la variante V.O. Cette variante correspond à une machine de tri avec 60 sorties minimum (limite inférieure d'acceptation). Une sortie correspond à une direction de tri.

1.1.4 - Cas des centres de tri de plus grande importance

La Poste souhaite que la machine de tri avec 60 sorties de tri puisse admettre des extensions de telle sorte qu'elle puisse trier sur 80, 100 ou 140 sorties de tri suivant le trafic à éclipser dans des centres de tri de plus grande importance. Aussi, il est demandé aux constructeurs de machines, lors de l'appel d'offres, d'établir des propositions techniques et économiques pour trois variantes de machines (V1, V2 et V3) correspondant à 80, 100 et 140 séparations d'exploitation.

1.2 - L'appel et la sélection des offres

Sur la base du cahier des charges établi par la Poste, un appel d'offres a été conçu et lancé auprès de constructeurs de machines de tri. Il est demandé aux constructeurs d'établir des propositions techniques très précises en vue de la sélection des offres. Il est en effet nécessaire, pour éclairer le choix, de disposer d'un volume important d'informations présentées de manière homogène concernant les 4 variantes de machines de tri proposées par les constructeurs en vue de choisir la conception correspondant au mieux aux préférences des différents services et utilisateurs (acheteurs, exploitants, personnels de maintenance, clients,...).

C'est pourquoi il est demandé aux constructeurs :

- d'indiquer, par des valeurs chiffrées, les performances des quatre variantes de la machine de tri proposée,
- de fournir des plans, schémas et descriptifs précis et cotés sur les sous-ensembles de la machine,
- de répondre avec rigueur à un questionnaire technique d'évaluation bâti par la Poste prenant en compte des points précis de leur conception.

Ces informations sont demandées afin de permettre la comparaison de l'ensemble des conceptions proposées, variante par variante, par référence à une cinquantaine de caractéristiques précises.

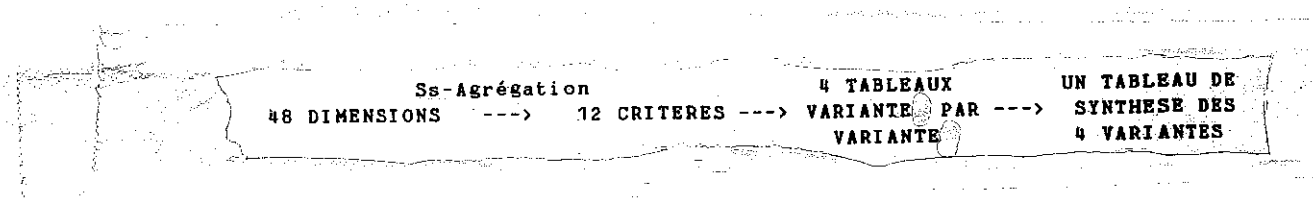
Ces dernières ont été définies de façon à prendre en compte la totalité des aspects de la machine automatique de tri qui semblent devoir influencer le choix aux yeux des divers responsables de la Poste. Une fois la décision prise d'équiper les centres postaux avec une telle machine, un certain nombre de conséquences vont en découler à différents niveaux : vie quotidienne dans les centres de tri, entretien du matériel, financement, services fournis à la clientèle,... Les caractéristiques qui viennent d'être évoquées visent précisément à appréhender l'ensemble des conséquences conformément à la méthodologie proposée par ROY (1985), ch. 8). Vis-à-vis de chacune des caractéristiques retenues, un service compétent de la Poste juge les différentes propositions des constructeurs. Ce jugement est porté par référence à une échelle de préférences plus ou moins quantitative associée à chaque caractéristique. Conformément à la terminologie de ROY, on a appelé dimension le couple formé par une caractéristique concrète et son échelle d'évaluation associée.

Les caractéristiques retenues ont été regroupées par thème en vue de définir une famille de critères telle que chacun d'entre eux se rapporte à un axe de signification clair aux yeux des différents responsables de la Poste, ces derniers étant d'accord pour analyser les offres et débattre de leur position respective sur la base de cette famille. Conformément à ce schéma (cf. ROY (1985), chap. 9), il est nécessaire de sous-agréger les évaluations selon les caractéristiques d'un même thème pour définir la performance de l'offre selon le critère correspondant.

L'évaluation des offres se fait variante par variante (quatre tableaux de résultats à élaborer). Ensuite, afin de comparer entre elles les offres de divers constructeurs, un cinquième tableau de synthèse est élaboré.

Enfin, il nous a paru nécessaire d'apprécier parallèlement l'ampleur de la marge d'imprécision, d'incertitude et d'indétermination qui entoure chacune de ces performances afin de ne pas considérer abusivement certains écarts de performances comme significatifs d'une préférence.

En résumé, l'évaluation se fait variante par variante :



L'objet de l'étude présentée dans ce document est donc d'aider au dépouillement de l'appel d'offres et, au choix, sur la base de ce dépouillement de la machine qui convient le mieux aux besoins de l'Administration Postale.

C'est conformément à ce schéma (repris et développé en sections 2 et 3 ci-après) qu'ont été dépouillées les réponses à l'appel d'offres. Ce sont ensuite les données ainsi élaborées qui ont été analysées en ayant recours à la méthode ELECTRE (cf. section 4). C'est enfin à l'issue de cette analyse (et d'analyses complémentaires) que la Direction Générale des Postes a pris sa décision. Nous avons le sentiment qu'à maints égards il s'agit là d'un cas exemplaire de l'utilisation d'une méthode multicritère d'aide à la décision en relation avec un appel d'offres.

Toutefois, le lecteur se demande peut-être s'il n'aurait pas été plus simple de chercher à attribuer directement une valeur unique à chaque offre de constructeurs de façon à sélectionner celle de valeur maximum. Répondons à cette question avant de poursuivre la présentation du travail effectué.

1.3 - La nécessité d'une analyse multicritère

Pour comparer les réponses à l'appel d'offres, la quantité d'informations fournies par chaque constructeur est très élevée. Aussi, ce serait au prix d'hypothèses assez arbitraires qu'il serait envisageable d'agréger, a priori, tous ces éléments d'information en une valeur unique qui mesurerait l'utilité, pour la Direction des Postes, de chacune des offres.

Une méthode d'analyse multicritère s'imposait pour faciliter le dépouillement des réponses des constructeurs et faire émerger, sur un nombre de critères pas trop élevé correspondant à des axes de signification clairs, des propositions intéressantes pour la Poste.

Faisons en effet observer qu'à chacune des étapes de cette démarche multicritère, l'équipe d'étude, avec les responsables de la Poste, ont soigneusement veillé à ce que :

- la part d'arbitraire qui affecte inévitablement chaque performance (d'une offre donnée selon un critère donné) ne soit pas imputable à un système de valeurs particulier propre à un acteur et non partagé par les autres ;
- chaque critère corresponde à un axe de signification que chaque acteur juge opportun de faire intervenir (sans doute selon des modalités qui varient d'un acteur à l'autre) pour raisonner le choix et parvenir, dans toute la mesure du possible, à un consensus.

2 - LA FAMILLE DES CRITERES DE SELECTION DES OFFRES

2.1 - Principales caractéristiques d'une machine automatique à trier les paquets

Une machine automatique à trier les paquets est un système complexe. Une certaine modélisation s'avère nécessaire en vue de pouvoir comparer les réponses des constructeurs entre elles. Elle est constituée principalement d'un système d'alimentation en paquets, de plusieurs postes de codage, d'un transporteur de paquets, de goulottes d'évacuation par direction et d'un ensemble de contrôle-commande (ordinateur, automate, etc.).

Comme on l'a vu, il est nécessaire que chaque constructeur de machine fournisse un certain nombre d'informations précises dans sa proposition dans le cadre de réponse défini par la Direction des Postes lors de l'appel d'offres. L'ensemble des services de la Poste impliqués par ce nouvel équipement reprendra ces informations pour les noter à partir d'échelles qualitatives ou quantitatives préalablement définies.

La Poste avait déjà commandé des systèmes automatiques de tri des paquets dans le passé : aussi, son expérience dans ce domaine, la participation du LAMSADE et de SEMA.METRA, ont permis d'élaborer une liste de 48 caractéristiques sur lesquelles il était souhaitable (on pourrait même dire obligatoire) d'évaluer chacune des variantes des offres proposées par chaque constructeur de façon à comparer ces offres en vue d'éclairer le choix.

Ces 48 dimensions (cf. tableau 2) ont été jugées nécessaires et suffisantes pour décrire l'ensemble des facteurs qu'il était possible de prendre en compte pour comparer les offres. Ces caractéristiques correspondent soit à des besoins précis de la Direction Générale de la Poste, soit à des souhaits exprimés par un ou plusieurs services concernés par la machine. Certaines des caractéristiques font intervenir plusieurs informations dans le but de définir des dimensions dont le contenu est clair.

Exemples de dimensions

a) Qualité des postes de codage (Dimension n° 1)

Cette dimension prend en compte la hauteur du plan de travail de l'opérateur codeur, l'existence d'un système d'égrenage des paquets et le nombre d'opérations à effectuer par l'opérateur chargé du codage.

b) Facilité de permutation des sacs (Dimension n° 3)

Cette dimension prend en compte l'existence d'un dispositif de permutation des sacs remplis de paquets et l'existence d'une aire de dégagement au pied de l'opérateur chargé de fermer le sac rempli.

c) Facilité de dialogue avec le calculateur gérant le système de tri (Dimension n° 13)

Cette dimension permet d'évaluer la forme et le langage des messages envoyés par le calculateur en cours d'utilisation de la machine.

Tableau 2

N°	Liste des dimensions
1	Qualité des postes de codage
2	Hauteur d'accrochage des sacs postaux
3	Facilité de permutation des sacs postaux
4	Facilité de permutation et prépositionnement des chariots porte-sacs et conteneurs de paquets
5	Qualité du dispositif de dépoussiérage
6	Facilité de circulation des personnes à proximité de la machine de tri
7	Hauteur des planchers des postes de travail
8	Niveau sonore de la machine au niveau des postes de travail
9	Niveau de vibration de la machine au niveau des postes de travail
10	Esthétique de l'ensemble de tri
11	Sécurité du personnel
12	Souplesse d'affectation des antennes de codage
13	Facilité de dialogue avec le calculateur
14	Surveillance du poste de Contrôle-Commande de la machine
15	Nature des informations statistiques d'exploitation fournies par le système
16	Facilité d'utilisation de la machine
17	Détection des directions physiques de tri saturées par les paquets
18	Présence de dispositifs évitant les incidents de tri
19	Vitesse de convoyage des paquets
20	Forme des paquets admis sur la machine de tri
21	Facilité d'évacuation des paquets inadmis par la machine au niveau postes de codage
22	Durée de changement de tâche
23	Facilité de circulation des chariots porte-sacs et conteneurs de paquets
24	Nombre d'opérateurs chargés de la fermeture des sacs postaux
25	Tri manuel entraîné par la présence de paquets refusés par la machine de tri
26	Débit de paquets triés
27	Maintenance préventive nécessaire
28	Maintenance curative effectuée par le personnel d'exploitation
29	Consommation courante de pièces
30	Nature des informations statistiques concernant la maintenance fournies par le système
31	Risque d'incident machine de tri
32	Superficie de la machine de tri
33	Forme générale de la machine de tri
34	Adaptabilité de la machine au point d'alimentation en paquets dans salle de tri
35	Adaptabilité de la machine au point d'évacuation des sacs postaux dans salle de tri
36	Nombre de séparations physiques de tri des paquets
37	Adaptabilité du logiciel de tri à la lecture du code-barre
38	Adaptabilité "physique" de la machine à l'implantation d'un système de lecture code-barre
39	Coût des études de la machine de tri
40	Coût du prototype de la machine de tri
41	Coût de la machine de série
42	Conséquences d'une coupure ou microcoupure de courant électrique
43	Risque de détérioration d'un paquet au cours de son convoyage sur la machine
44	Hauteur de chute d'un paquet en cours de son convoyage
45	Risque de fausse direction au moment de l'injection sur le transporteur de paquets
46	Risque de fausse direction au moment de l'expulsion du paquet dans la séparation de tri
47	Délai global de réalisation du prototype par le fournisseur
48	Expérience du constructeur dans les machines de tri des paquets

2.2 - Echelle de notation associée à chaque dimension

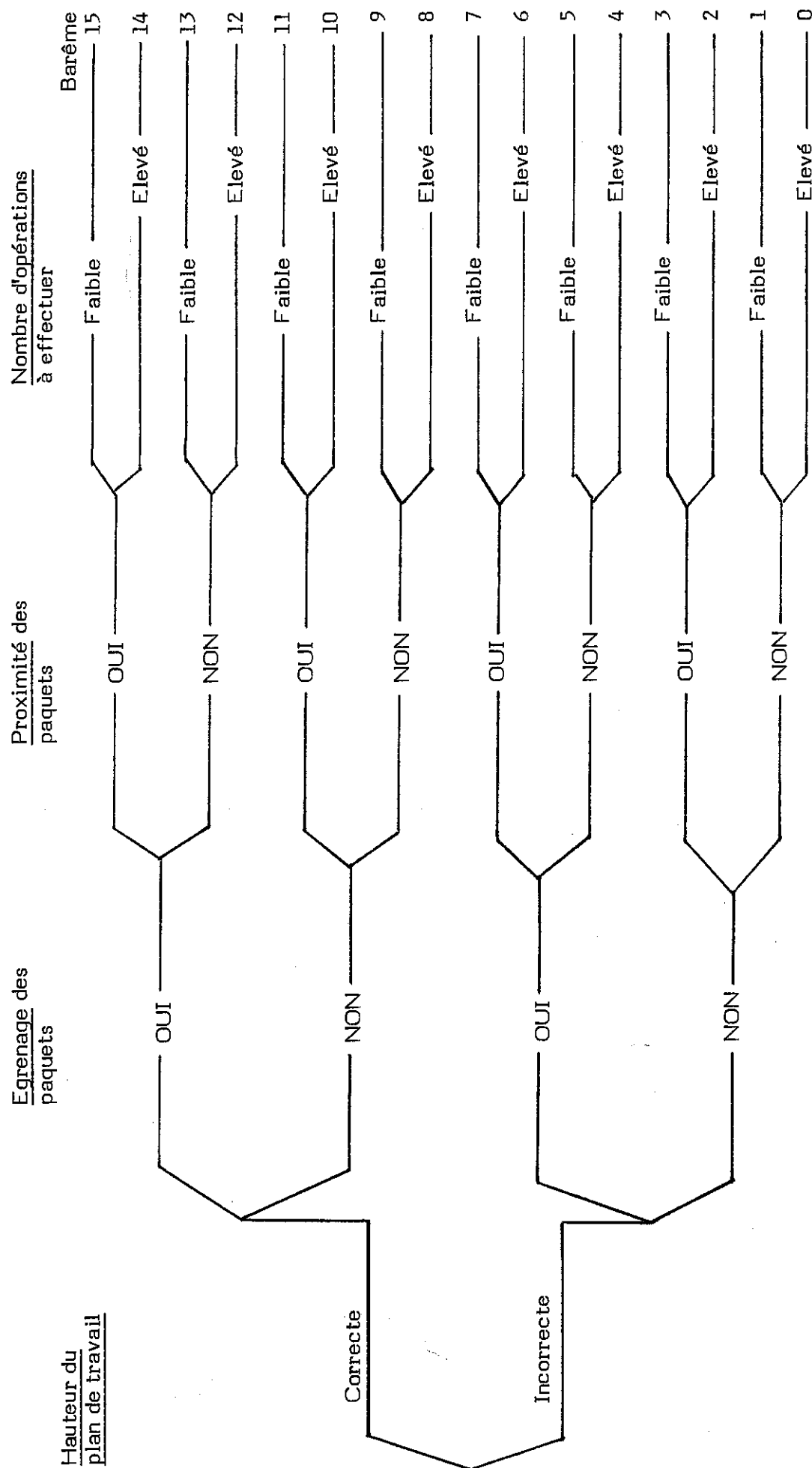
Pour pouvoir évaluer les offres, il est nécessaire de construire au préalable, pour chaque dimension, une échelle précise ou barème. Suivant l'axe de signification de la dimension (par exemple dimension intéressant principalement l'exploitant de la machine), l'échelle de notation de la dimension a été élaborée de manière conjointe entre le service concerné et SEMA.METRA. Par conséquent, par application du barème propre à chaque dimension, chaque offre reçoit une note (ou échelon de l'échelle) qui synthétise les informations figurant dans le dossier de réponse à l'appel d'offres : soit $\gamma_i(a)$ la note de l'offre a sur la dimension i (cf. ROY (1985), chapitre 8).

Exemples de barème de notation

a) Dimension n° 1 : Qualité des postes de codages

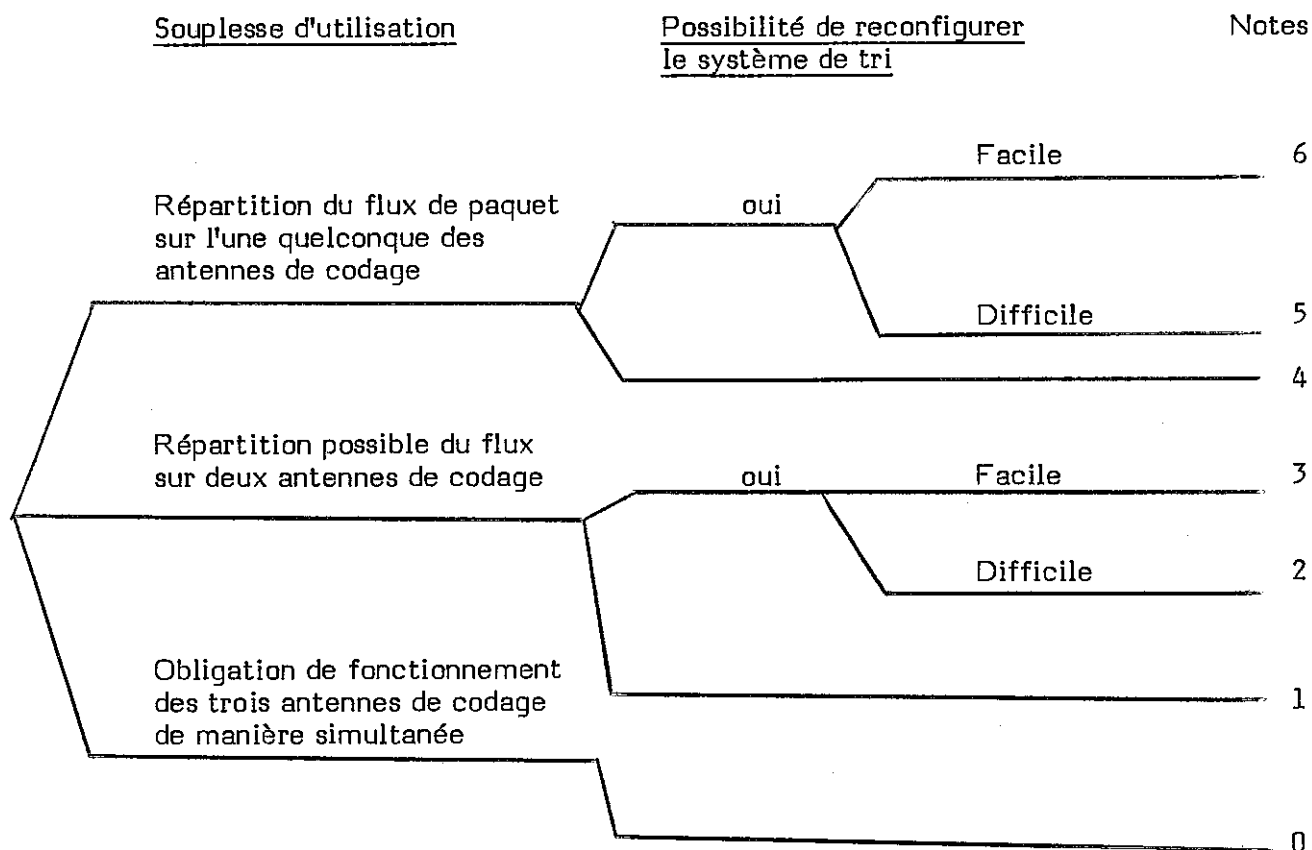
(Voir tableau page suivante)

a) Dimension n° 1 : Qualité des postes de codages



b) Dimension n° 12 : possibilité d'affectation des antennes

Accès à la commande
d'affectation des
antennes



c) Dimension n° 30 : Nature des informations statistiques calculées par
l'ordinateur et éditées concernant l'exploitation de la machine

Nature des informations statistiques concernant l'exploitation en sortie

	Notes
<u>Informations à éditer en fin de séquence de tri :</u>	
Heure de début du codage,	1
Heure de fin de codage,	1
Nombre global de paquets codés,	4
Nombre de paquets codés sur chaque antenne,	2
Nombre de paquets évacués au rebut technique,	3
Nombre de paquets codés par direction de tri,	1
Cumul du nombre de paquets codés depuis le 1er jour du mois.	1

2.3 - Sous-agrégation des dimensions et définition des critères

Associer un critère à chaque dimension (de la machine de tri) aurait conduit à travailler avec 48 critères. Avec ce nombre, aucune vision synthétique des offres n'aurait été possible. Face à des critères aussi hétérogènes dans l'étendue de ce qu'ils embrassent (certains apparaissant comme très ponctuels et techniques et d'autres beaucoup plus généraux), il aurait sans doute été très difficile de débattre de la place qui devait être dévolue à chacun. Avec une telle famille, les discussions auraient eu de fortes chances de s'enliser, même si elles avaient pris appui sur une méthode telle qu'ELECTRE. C'est pourquoi les caractéristiques ayant trait à une même famille de préoccupations ont été regroupées. Douze critères, d'axes de signification relativement clairs, ont pu ainsi être définis. Pour la plupart d'entre eux, c'est un calcul de somme pondérée des diverses évaluations $\gamma_i(a)$, selon les différentes dimensions, qu'il s'agit de sous-agréger, qui définit la performance de l'offre selon le critère considéré.

Par conséquent, pour effectuer une telle sous-agrégation des dimensions, il faut, à propos de chaque groupe de dimensions concernées, faire intervenir l'importance relative de chacune des dimensions à l'intérieur de chacun de ces groupes : pour cela, dans chaque groupe de dimensions, on fait jouer un rôle privilégié, à l'une d'elles, appelée dimension de base (souvent il s'agit de la dimension dont le barème comprend le maximum d'échelons).

L'impact de la dimension sur la performance peut alors être apprécié par référence à l'écart entre deux échelons consécutifs de l'échelle de base (écart pris comme unité). Dans cet esprit, on a cherché, pour chacune des dimensions du groupe (cf. tableau 3), quel était le nombre n_i d'unités de la dimension de base qui apparaissaient nécessaires pour contre-balancer une variation en sens inverse d'un échelon à l'échelon voisin sur la dimension (i). La performance d'une offre a selon le critère sous-agrégeant le groupe des dimensions considérées est obtenue (dans la plupart des cas⁽¹⁾) en ajoutant à l'évaluation, sur la dimension de base, la somme des produits $n_i * \gamma_i(a)$ relatifs aux autres dimensions du groupe. Illustrons ce qui précède relativement au critère "Qualité des postes de travail" (cf. tableau 3).

(1) Dans certains cas, l'opérateur MAX a été combiné avec l'opérateur SOMME.

Tableau 3 : Critère 1 - Qualité des postes de travail

Dimensions	Informations	N°(1)	Nombre d'échelons	Codage des échelons	Ni
Qualité poste de codage	Hauteur du plan de travail égrenage des paquets proximité des paquets nombre d'opérations à effectuer par le codeur	1	15	15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0	BASE
Hauteur d'accrochage des sacs		2	4	A=4 ; B=3 ; C=2 ; D=0	4
Facilité de permutation des sacs	Dispositif de permutation aire de dégagement au pied du fermeur	3	4	A=4 ; B=3 ; C=2 ; D=0	3
Facilité de prépositionnement (et permutation des chariots et conteneurs)	Dispositif de prépositionnement aire de dégagement au niveau de la direction physique de tri	4	4	A=4 ; B=3 ; C=2 ; D=0	3
Facilité de circulation des personnes	Dimension des couloirs d'accès aux postes de travail	6	3	A=3 ; B=2 ; C=0	4
Hauteur des planchers des postes travail	Poste de codage Poste de fermeture	7	9	8 7 6 5 4 3 2 1 0	2

(1) cf. Tableau 2

La variation d'un échelon sur l'échelle de base ("qualité des postes de codage") reflète une certaine variation de la pénibilité du travail des opérateurs chargés du codage.

Cet écart entre deux échelons consécutifs de l'échelle de base constitue une référence par rapport aux autres échelles.

Pour une dimension donnée (exemple : "Facilité de permutation des sacs"), la variation (diminution ou augmentation) d'un échelon sur son échelle correspondante est convertie en n échelons de l'échelle de base, c'est-à-dire en n variations unitaires de pénibilité du travail des codeurs.

Exemple : L'amélioration des conditions de travail engendrée par le passage de B à A pour la dimension "Facilité de permutation des sacs" équivaut au passage de 9 à 12 (ou encore 1 à 4) sur l'échelle de base.

B = existence d'un dispositif/pas d'aire de dégagement au pied du fermeur

A = existence d'un dispositif/aire de dégagement au pied du fermeur

9 = hauteur correcte du plan de travail/pas d'égrenage/pas proximité des paquets/pou d'opérations

12 = hauteur correcte du plan de travail/égrenage/pas proximité des paquets/nombre élevé d'opérations

2.4 - Les douze critères retenus

- 1 - QUALITE DES POSTES DE TRAVAIL
- 2 - AMBIANCE D'EXPLOITATION
- 3 - COUT D'EXPLOITATION
- 4 - DEBIT DE TRI
- 5 - FACILITE D'EMPLOI
- 6 - ENTRETIEN - MAINTENANCE
- 7 - FACILITE D'IMPLANTATION DANS UN SITE
- 8 - NOMBRE DE DIRECTIONS PHYSIQUES DE TRI
- 9 - COUT PROTOTYPE + 5 X (COUT MACHINE DE SERIE)
- 10 - POSSIBILITE DE LECTURE DES PAQUETS PAR CODE A BARRES
- 11 - QUALITE DE SERVICE POUR LES USAGERS DU SERVICE
- 12 - DEGRE DE DEVELOPPEMENT - EXPERIENCE DU CONSTRUCTEUR

A l'exception des critères 8 et 9 dont l'axe de signification renvoie à des unités concrètes claires, on a fait en sorte que (en vue d'homogénéiser les repères de jugement) les performances puissent théoriquement varier de 0 à 100.

3 - ELABORATION DU TABLEAU DES PERFORMANCES

3.1 - Notation sur les dimensions

Tous les services de la Direction Générale des Postes concernés par l'évaluation des offres des constructeurs disposent du dossier complet rassemblant l'ensemble des dimensions explicitées qui caractérisent les conceptions de machines de tri de paquets ainsi que la liste et la constitution des critères de choix accompagnés des précisions nécessaires.

Chaque service extrait de ce document d'aide au dépouillement la partie qui le concerne afin de procéder à la notation relativement aux dimensions pour lesquelles il est compétent.

En vue d'un dépouillement rigoureux et objectif des offres, chacun des services traite exclusivement des dimensions qui le concerne.

Le groupe de spécialistes et décideurs de la DGP note, à l'aide des échelles propres à chaque dimension, chacune des variantes (4 au plus) proposées dans chaque offre. Les informations nécessaires à la notation proviennent soit du tableau des caractéristiques rempli par les constructeurs, soit des réponses aux questions précises et référencées du questionnaire technique d'évaluation joint à l'appel d'offres, soit de données extraites de plans et descriptifs demandés.

Les échelles et les barèmes n'étant que des guides destinés à faciliter le dépouillement des offres, il est possible que le notateur soit amené à se dégager de règles rigides en vue de marquer une préférence ou un rejet plus fort sur une dimension donnée.

3.2 - Calcul des performances selon les critères

Pour chacune des variantes d'une offre, les notes sur les dimensions concourant à un critère sont sous-agrégées comme il a été décrit au 2.3.

Les performances ainsi obtenues sont regroupées pour former les quatre tableaux annoncés (cf. schéma du 1.2). A partir de ceux-ci, il a été possible de définir un tableau de synthèse ayant la même structure mais prenant en compte les 4 variantes d'une même offre. La raison d'être de ce tableau de synthèse et la façon dont il se déduit des quatre tableaux initiaux fait appel à des considérations qu'il serait trop long de développer ici.

Tableau 4 : Performances finales des offres

CRITERES	OFFRES									Seuil d'indiffér.
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	
1. Qualité des postes de travail	75	81	77	73	76	75	73	77	96	5
2. Ambiance d'exploit.	69	60	60	57	46	63	63	31	69	5
3. Coût d'exploitation	68	82	82	82	55	68	68	41	41	5
4. Débit	70	70	50	90	90	90	70	50	70	5
5. Facilité d'emploi	82	66	66	75	48	98	98	59	49	5
6. Maintenance	72	52	60	61	46	63	86	79	60	8
7. Implantation	86	86	86	93	93	78	78	71	57	10
8. Nombre de Directions physiques (*)	74	60	60	60	60	61	61	60	60	0
9. (Coût Proto) + (Coût Série) x 5 (en MF)	15,23	15,70	15	15,55	36,68	22,90	19,58	15,47	13,99	1
10. Lecture du code barre	83	83	83	83	83	100	100	67	83	10
11. Qualité de service	76	76	82	71	50	68	74	76	50	5
12. Degré de développement	29	71	71	29	14	57	57	86	86	10

(*) C'est le nombre de directions de la variante 0 qui, ici, a seul été retenu.

3.3 - Seuils d'indifférence

Les performances obtenues (cf. tableau 4) ne peuvent être clairement comparées les unes aux autres que s'il est possible de se faire une idée de ce que représente un écart significatif d'une préférence entre deux performances selon un même critère : à cet effet, sur chacun des critères, un seuil d'indifférence a été défini. Cela signifie (cf. ROY (1985), section 9.3) qu'un écart inférieur ou égal au seuil retenu n'est pas significatif d'une préférence en faveur de la performance la meilleure.

Les valeurs attribuées à ces seuils (cf. tableau 4, dernière colonne) résultent d'une part de données empiriques liées au processus de notation (hésitation possible, imprécision des informations,...) et, d'autre part, de la mise en application des principes généraux exposés dans ROY (1985), section 9.4 . Ces valeurs sont bien évidemment discutables mais leur ordre de grandeur l'est beaucoup moins. En retenant par exemple un seuil d'indifférence égal à 5 pour le critère 2 (ambiance d'exploitation), on a cherché à prendre en compte le fait que, selon ce critère, a_2 (ou a_3) ne se différencie pas significativement ni de a_4 ni de a_6 mais qu'en revanche a_6 apparaît comme objectivement meilleur que a_4 . C'est-à-dire qu'un seuil égal à 6 serait sans doute trop élevé, que la valeur 4 pourrait sans doute convenir mais certainement pas 3 ni, a fortiori 0, (valeur qui serait implicitement attribuée si ce concept de seuil n'était pas pris en considération).

Relativement à d'autres critères (notamment le dernier), les valeurs raisonnables qui peuvent être attribuées aux seuils présentent une amplitude de variation plus grande. Il importe alors d'étudier dans quelle mesure le choix d'une valeur faible ou d'une valeur forte est de nature à changer les résultats.

4 - MISE EN OEUVRE D'ELECTRE IS

4.1 - Pourquoi avoir choisi cette méthode ?

Une méthode agrégeant les douze critères en un critère unique selon une somme pondérée est apparue insuffisante.

Le cumul de points forts et faibles ne constitue pas une conception de machine satisfaisant à des besoins d'utilisateurs différents (exploitants, personnes de maintenance, etc.).

Dans un calcul de somme pondérée, il s'opère inévitablement des compensations entre bonne et mauvaise performance, ce qui peut conduire à rendre équivalentes une offre très contrastée et une offre ayant, sur tous les critères, des performances moyennes.

Après avoir passé en revue différentes méthodes multicritères (cf. VINCKE, ROY (1981) et JACQUET-LAGREZE, SISKOS (1983)), c'est la méthode ELECTRE IS qui a été jugée la mieux appropriée. En effet, elle se prête bien à une analyse en profondeur d'un tableau de performances tel que le tableau 4 lorsqu'il s'agit de sélectionner, en fin de compte, une unique possibilité parmi celles envisagées. De plus, la somme pondérée se prête mal à la prise en compte des seuils d'indifférence.

Nous nous efforcerons dans les paragraphes ci-après, de mettre en évidence ce que la méthode ELECTRE IS a permis d'obtenir sans pour autant expliquer en détails cette méthode (cf. ROY, SKALKA (1985)). Le lecteur qui ne la connaîtrait pas devrait néanmoins pouvoir comprendre l'essentiel de ce qui suit.

4.2 - Dernières données nécessaires à l'utilisation d'ELECTRE IS

4.2.1- Indices d'importance des critères

Aux yeux des responsables de la Poste, les 12 critères introduits ne devraient pas avoir la même importance. Cette notion d'importance relative des critères est d'autant plus difficile à quantifier que cette quantification dépend du modèle d'agrégation utilisé et, dans bien des cas, de l'unité dans laquelle s'expriment les diverses performances.

La méthode ELECTRE IS fait intervenir, pour chaque critère, un indice d'importance, lequel joue un rôle à certains égards analogue à celui dévolu au poids dans une somme pondérée.

Pour attribuer des valeurs numériques à ces indices d'importance, on s'est inspiré de la technique présentée dans ROY, PRESENT, SILHOL (1983). Elle consiste à comparer l'importance relative qu'il paraît judicieux d'accorder à tel critère comparé à tel autre ou à tel groupe d'autres critères (cela à partir des conséquences qui en découlent).

Désignons par k_j l'indice d'importance du critère j . Les comparaisons mentionnées ci-dessous ont conduit au système suivant :

$$k_2 = k_7 = k_8$$

$$k_1 = k_4 = k_5 = k_{12} = k_2 + k_{10}$$

$$k_3 = k_6 = k_9 = k_{11} = k_1 + k_2$$

Le critère 10 "Possibilité de lecture des paquets par code à barre", ayant été jugé le moins important, il a été choisi comme unité ($k_{10} = 1$). Compte-tenu de la manière dont fonctionne la méthode ELECTRE, on a admis que l'importance des critères 2,7 et 8 pouvait être fixée égale au double de celle du critère 10. Il en résulte les valeurs indiquées au tableau 5. Celles-ci ne constituent qu'un premier jeu de valeurs à partir duquel certaines variations peuvent être envisagées.

Tableau 5

	CRITERES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Indices d'Importance	3	2	5	3	3	5	2	2	5	1	5	3
Seuils d'indifférence	5	5	5	5	5	8	10	0	1	10	5	10
Seuils de veto	50	50	40	100	40	25	100	50	5	100	30	50

4.2.2- Seuils de veto

ELECTRE conduit à comparer toutes les offres deux à deux de façon à construire une relation de surclassement sur l'ensemble des offres. Dire que l'offre a' surclasse l'offre a traduit l'idée que, compte-tenu des performances respectives de a' et a, a' est au moins aussi bien adaptée que a aux besoins de la Poste.

Supposons que, sur un critère donné, a' ait une performance nettement moins bonne que celle de a. Le seuil de veto indique quelle est l'amplitude maximum de cet écart défavorable qui reste compatible avec le surclassement de a par a'.

Les valeurs retenues sont données au tableau 5. Elles ont été raisonnées en fonction des seuils d'indifférence, de l'amplitude de l'échelle et des indices d'importance.

4.3 - Utilisation de la méthode

4.3.1 - Généralités

Partant d'un ensemble fini d'actions (ici les offres) évaluées sur une famille de critères, ELECTRE IS a pour objectif d'aider à comparer les actions en vue du choix final d'une et d'une seule.

La méthode procède en deux étapes :

a) Construction d'un tableau de surclassement par paires

Par définition, on dit que a' surclasse a si, au vu des informations disponibles, on est fondé à admettre que a' est au moins aussi bonne que a (dans le cas présent, au moins aussi bien adaptée aux besoins de la Poste).

* Pour chaque couple d'actions (a' , a), la méthode calcule deux indicateurs :

- un indicateur de concordance qui, tenant compte de l'importance relative de chaque critère, indique si les performances de a et a' entrent en concordance avec l'affirmation " a' surclasse a ";
- un indicateur de discordance qui précisera si, sur un critère au moins, les performances de a' et de a interdisent d'envisager la proposition " a' surclasse a ".

* Elle met ensuite deux tests en œuvre pour construire le tableau de surclassement :

- un test de concordance : l'indice de concordance doit être supérieur ou égal au seuil de concordance s fixé par l'utilisateur ($s \in (0.5, 1)$) ;
- test de non-discordance : pour la paire d'actions considérée, il faut qu'il n'y ait aucun critère pour lequel les performances de a' et de a interdisent le surclassement de a par a' .

Il s'ensuit que, pour chaque paire donnée, quatre cas sont possibles :

- deux cas de préférence marquée :

a' surclasse a et a ne surclasse pas a' ,

a surclasse a' et a' ne surclasse pas a ;

- un cas d'indifférence : a' surclasse a et a surclasse a' ;
- un cas d'incomparabilité : a' ne surclasse pas a et a ne surclasse pas a' .

b) Exploitation du surclassement

La méthode analyse la relation de surclassement obtenue en termes de graphes.

Elle met tout d'abord en évidence les circuits pouvant exister dans le graphe et, par des informations appropriées (taux de cohésion, taux de liaison), elle invite l'utilisateur à réfléchir sur la signification et le maintien des circuits.

Le principal résultat est le noyau du graphe ; c'est le plus petit sous-ensemble d'actions incomparables entre elles qui, globalement, surclassent toutes les autres.

Tous les résultats (noyau du graphe, circuits maximaux, tableau des taux de liaison) sont proposés à l'utilisateur en mode conversationnel.

Le logiciel issu de la méthode fonctionne sur gros et moyens systèmes ainsi que sur les micro-ordinateurs compatibles IBM-PC.

4.3.2 - Analyse de robustesse et résultats

Les calculs ont été conduits à l'aide du logiciel mis au point au LAMSADE.

Une première exploitation des données des tableaux 4 et 5 a été faite pour un seuil de concordance égal à 0.6. On a ensuite fait varier ce seuil dans l'intervalle 0.6, 0.7 . Un exemple de graphe de surclassement ainsi obtenu est reproduit figure 1.

Après cela, diverses exploitations ont été faites en combinant de diverses manières :

- une augmentation de l'importance du critère 12 (k_{12} passant de 3 à 5) ;
- un affaiblissement de seuils de veto des critères 5, 6 et 12 (cf. Fig. 2).

L'analyse des circuits des divers graphes de surclassement obtenus révèle tout d'abord l'existence d'un premier groupe de trois offres (a_2 , a_3 , a_4) constituant une classe C d'indifférence (circuits ayant un taux de cohésion généralement de 1 et, au pire, égal à 0.8). D'autre part, a_1 est presque toujours indifférent à a_2 tout en étant souvent incomparable à a_3 et a_4 .

Dans certains cas, a_7 entre dans le circuit formé par les 4 éléments précédents mais le taux de cohésion tombe alors à 0.66.

Les différents noyaux contiennent tous a_1 , à côté de lui, selon les cas, la classe C, a_7 et a_9 . Ces offres peuvent, de façon exceptionnelle, être toutes les six dans le noyau. Lorsqu'il en est autrement, on observe l'une des trois configurations suivantes :

$$\text{Noyau} = \left\{ a_1, C \right\} \text{ ou } \left\{ a_1, C, a_7 \right\} \text{ ou } \left\{ a_1, a_7, a_9 \right\}$$

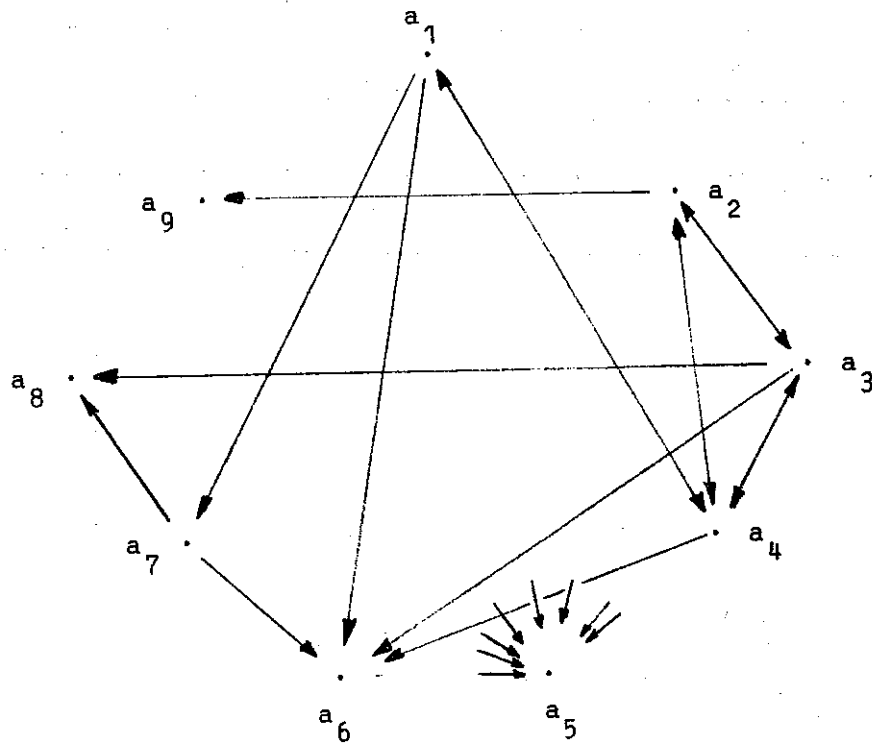
Une analyse plus soignée révèle que a_9 n'entre dans le noyau que dans le cas où son excellente performance sur le 12^e critère fait jouer à son profit le veto de ce critère vis-à-vis de certaines autres offres du noyau. Autrement dit, dès lors que le 12^e critère ne la rend pas incomparable à ces offres, elle se trouve très nettement surclassée et exclue du noyau.

L'offre a_9 , ainsi que les trois n'entrant pas dans le noyau, peuvent être éliminées sur la base de l'analyse qui précède. Celle-ci conduit d'autre part à préconiser (sans faire intervenir de considérations extérieures à celles prises en compte dans les douze critères étudiés) :

- dans le cas où un seul prototype serait construit : la sélection de a_1 ;
- dans le cas où deux prototypes seraient construits : la sélection, à côté de a_1 , soit l'une des trois offres ex aequo (a_2 , a_3 , a_4), soit de a_7 .

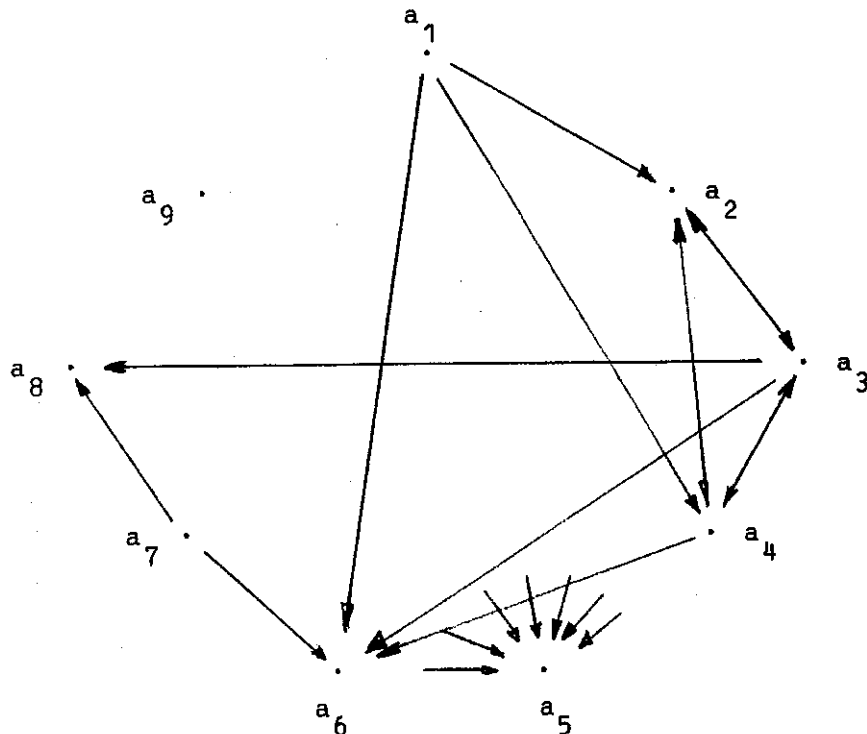
Précisons que a_7 se compare très difficilement aux offres de la classe C (cf. tableau 4). Choisir entre elles et une offre de la classe C est, pour une large part, une question de système de valeurs. Au contraire, choisir a_2 , a_3 ou a_4 comme meilleur représentant de C, relève plutôt de l'introduction de critères complémentaires permettant de mieux départager ces offres.

Figure 1 : Graphe de surclassement correspondant aux données initiales et à $s = 0.66$



a_5 est surclassée par toutes les offres et n'en surclasse aucune autre.

Figure 2 : Graphe de surclassement correspondant à des nouvelles valeurs des seuils de veto des critères 5 (45 au lieu de 40), 6 (30 au lieu de 25), 12 (55 au lieu de 50) et pour un seuil de concordance $s = 0.7$.



a_5 est surclassée par toutes les autres offres (sauf a_9) et n'en surclasse aucune autre.

5 - CONCLUSIONS

La mise en œuvre d'ELECTRE IS pour aider à sélectionner le fournisseur de la machine automatique à trier les paquets a entraîné plusieurs conséquences au niveau de la Direction Générale des Postes :

- L'utilisation d'ELECTRE IS a amené les différents services de la Poste impliqués par cette machine (Exploitation, Maintenance, Investissements, etc.) à bien définir et hiérarchiser leurs préférences en fonction du type de responsabilités et de compétences ;
- La notation sur les dimensions ayant été effectuée suivant une démarche rigoureuse et précise, certaines propositions de constructeurs, qui auraient été écartées auparavant pour différentes raisons, ont été prises en compte dans l'analyse. On peut citer, ici, la présence dans le choix final proposé par la méthode ELECTRE d'une réponse émanant d'un Bureau d'Etude exclusivement : cette proposition aurait, sans doute, été écartée pour des raisons d'inexpérience industrielle dans le domaine du tri des paquets ;
- La Direction des Postes a pu également s'appuyer, au moment du choix final, sur une autre étude réalisée en parallèle. Cette dernière reprenait l'habitude de la Poste de comparer les réponses des constructeurs sur différents critères à partir de sommes pondérées. C'est la confrontation des deux ensembles de résultats obtenus qui a déterminé le choix final (a_1 et a_4).

REFERENCES

FERRO D. (1985) : "Faites le bon choix avec l'analyse multicritère", Science et Vie, juillet.

JACQUET-LAGREZE E. , SISKOS J. (1983) : Méthode de Décision Multicritère, Monographies de l' AFCET, Division Gestion - Informatisation - Décision, Editions Hommes et Techniques.

PETITDEMANGE C. (1985) : La Maîtrise de la Valeur, AFNOR - GESTION.

ROY B. (1985) : Methodologie Multicritère d'Aide à la Décision, Economica.

ROY B. , PRESENT M., SILHOL D. (1983) : "Programmation de la rénovation des stations du métro parisien : un cas d'application de la méthode ELECTRE III", Université de Paris - Dauphine, Document de LAMSADE n° 24, juillet.

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

ROY B., VINCKE Ph. (1981) : "Multicriteria analysis : Survey and new directions", European Journal of Operational Research, Volume 8, n° 3, November, pp. 207-218.

SEMA-METRA (1985) : "Manuel Utilisateur de la Conception à Coût Objectif".

TASSINARI R. (1983) : La Maîtrise des Coûts, Editions d'Organisation.