

4/09

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## **ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

Département Génie Industriel

Projet de Fin d'Etude

---

### **AIDE A LA DECISION D'INVESTISSEMENT POUR LA REALISATION DES OUVRAGES DE TRANSPORT ELECTRIQUE HAUTE TENSION ET TRES HAUTE TENSION DU RESEAU NATIONAL**

Proposé par :

DEPE - DEE / SONELGAZ

Encadré par :

Mme O. BELMOKHTAR  
de l'ENP

Mr. M. ABBAS  
de l'USTHB

Melle. A. AMOUROUAIECHE  
de SONELGAZ

Etudié par

*HAMDANI Sid ahmed*

*CHIRK BELHADJ Mourad*

Année universitaire 1998-1999

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE. 10 AVENUE HASSEN BADI. EL HARACH - ALGER

**ملخص :**

هدف دراستنا هو جلب مساعدة للقرار في الاستثمار من أجل انجاز منشآت كهربائية ذات توتر عالي و جد عالي للشبكة الكهربائية الوطنية. يتم ذلك على أساس تطوير طريقة تحليل متعددة المعايير.

**Résumé :**

L'objectif de notre étude est d'apporter une aide à la décision d'investissement pour la réalisation des ouvrages électriques haute et très haute tensions du réseau électrique national. Ceci s'effectuera sur la base du développement d'une méthode d'analyse multicritère.

**Mots clefs :** aide à la décision, analyse multicritère, recommandation, réseau de transport électrique.

**Abstract :**

The aim of our study is to bring a help to the investment decision for the realization of the high and very high voltage electrical constructions of the national grid system. This will be made on the basis of the development of a multicriteria analysis method.

## **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force physique et morale pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier Mme Bel Mokhtar et Mr Abbas pour avoir accepté de diriger ce travail et de l'avoir suivi avec intérêt.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Mlle Amourou Aiache pour ses précieux conseils et encouragements .*

*Nous tenons à remercier les respectables membres du jury Mr Lamraoui et Mme Bencherif pour avoir bien voulu évaluer notre travail*

*Nous remercions aussi tous les professeurs du département génie industriel et spécialement Melle Aboun , pour les efforts qu'ils ont fourni pour notre formation au cours de notre cursus universitaire.*

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes cher parents à qui je ne rendrai jamais assez.*

*A mes grands parents Mani et Baba sidi.*

*A mes sœurs Aziza et Chafika ainsi que mes beaux frères Watik et Kader*

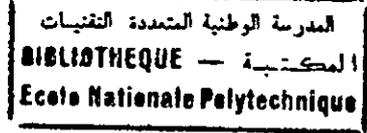
*A mes cousins Firas, Kamel, Abdellah, Maamar, Amine, Dahmane*

*A mes oncles Moussa et Essidik, Tata Nadja, Tata Houria, ainsi que mes cousines Nassiba, Naziha, Souhila.*

*A mes amis Riad, Mebrouk, Azzeddine, Karim, El yess, F'ayez, Sid ahmed , sans oublier Nassim et Mourad.*

*J'offre ce présent travail à tous ceux qui m'ont soutenu de loin ou de près.*

*Sid ahmed*



## DEDICACES

*Je dédie cet humble travail à mon cher père et à ma tendre et douce mère que je ne remercierai jamais assez pour tout ce qu'ils font pour moi.*

*Je dédie également ce travail à mon adorable petite sœur Rym, à mon frère Mehdi et à mon grand frère Tarik qui n'a pu être parmi nous.*

*J'espère honorer par ce travail la mémoire de mes grands-pères.*

*A mes tendres grands-mères, Mima et Nena.*

*A tonton Laaredj et tata Chrifa.*

*A tata Kheira et tonton Khaled.*

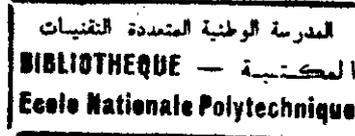
*A tata Zohra et tonton Mustapha.*

*A tous mes oncles, cousins et cousines.*

*Je salut particulièrement monsieur Djaffer Madjid pour sa gentillesse et sa serviabilité.*

*Sans oublier Mezziane, Tarek, Fayçal, Nabil, Yacine, Moh, Djalil, Salim, Kamel et Ali, louai et Tarik, Nadim et Yazid, ainsi que Amel*

*Mourad*

**SOMMAIRE*****Introduction générale******CHAPITRE 1 Position du problème***

Introduction	4
I.1 Présentation de l'entreprise SONELGAZ	5
I.2 Processus de planification à SONELGAZ	6
I.3 Evolution de la consommation d'électricité	7
I.4 Expansion du parc de production	9
I.5 Expansion du réseau de transport	9
I.7 Problématique	10

***CHAPITRE II Etude du système électrique***

Introduction	11
II.1 Généralités sur le système électrique	11
II.1.1 Centres de production d'électricité	11
II.1.2 Réseau électrique	12
II.1.3 Organisation d'un réseau électrique	12
II.1.4 Appel de puissance	13
II.1.5 Stabilité du réseau électrique	13
II.1.6 Contrôle et régulation dans le réseau	14
II.1.7 Interconnexion des réseaux	14
II.2 Présentation des équipements de transport électrique	15
II.2.1 Lignes électriques	15
II.2.2 Composants des THT - HT	16
II.2.3 Postes électriques	16
II.2.4 Composants des postes haute tension et très haute tension	17
II.3 Caractéristiques du réseau de SONELGAZ	18
II.3.1 Présentation du réseau électrique existant	18
II.3.2 Critères de fonctionnement du réseau de SONELGAZ	19

***CHAPITRE III Aide multicritère à la décision***

Introduction	20
III.1 Aide à la décision	20
III.2 Eléments d'aide à la décision	21
III.2.1 Acteurs	21
III.2.2 Actions	22
III.3 Problématique d'aide à la décision	23

	المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات BIBLIOTHEQUE — المكتبة Ecole Nationale Polytechnique	
III.3.1 Problématique de choix (alpha)		23
III.3.2 Problématique de tri (bêta)		24
III.3.3 Problématique de rangement (gamma)		24
III.3.4 Problématique de description (sigma)		25
III.4 Démarche multicritère d'aide à la décision		25
III.5 Structure de préférence dans les problèmes d'aide multicritère à la décision		26
III.6 Critères d'évaluations		28
III.6.1 Définition		28
III.6.2 Echelle d'un critère		29
III.6.3 Poids des critères		29
III.6.4 Famille cohérente de critères		29
III.7 Tableau des évaluations		30
III.8 Modélisation des préférences dans les problèmes multicritères		31
III.8.1 Modèle du vrai - critère		31
III.8.2 Modèle du quasi - critère		31
III.8.3 Modèle du pseudo - critère		31
III.8.4 Détermination des seuils d'indifférence et de préférence		32
III.8.5 Notion de concordance et discordance		32
III.9 Problème de l'agrégation		32
III.9.1 Approches opérationnelles d'agrégation		32
III.9.2 Choix d'une approche d'agrégation		35

## **CHAPITRE IV**      *Modélisation du problème*

Introduction	38
IV.1 Définition de l'objet de la décision	38
IV.1.1 Objet de la décision	38
IV.1.2 Choix de la problématique	39
IV.2 Définition de l'ensemble des actions potentielles	39
IV.3 Définition des critères	41
IV.4 Evaluation des actions potentielles	43
IV.4.1 Evaluation par rapport aux critères techniques	43
IV.4.2 Evaluation par rapport aux critères économiques	47
IV.5 Passage de l'échelle d'état à l'échelle de préférence	49
IV.5.1 Critères techniques	49
IV.5.2 Critères économiques	49
IV.6 Tableaux des évaluations	50

## **CHAPITRE V** *Choix et présentation de la méthode multicritère*

Introduction	51
V.1 Choix de la problématique	51
V.2 Choix d'une approche d'agrégation	51
V.3 Présentation des méthodes ELECTRE	52
V.3.1 ELECTRE I	52
V.3.2 ELECTRE II	53
V.3.3 ELECTRE III	53
V.3.4 ELECTRE IV	54
V.3.5 ELECTRE IS	54
V.3.6 ELECTRE TRI	54
V.4 Choix de la méthode ELECTRE	56
V.5 Méthode multicritère ELECTRE III	58
V.6 Développement de la méthode ELECTRE III	59
V.6.1 Détermination d'une famille de pseudo-critères	59
V.6.2 Indices de concordance par critère	59
V.6.3 Indices de concordance globales	60
V.6.4 Indices de discordance	60
V.6.5 Relation de surclassement floue	61
V.6.6 Exploitation de la relation de surclassement floue	61
V.6.7 Algorithme de classement	62
V.6.8 Description de l'algorithme	62
V.6.9 Construction des deux préordres totaux et du préordre partiel	65
V.6.10 Représentation graphique	65

## **CHAPITRE VI** *Application et interprétation du résultat*

Introduction	67
VI.1 Présentation du logiciel	67
VI.2 Structure du logiciel	68
VI.3 Détermination des paramètres de la méthode ELECTRE III	70
VI.3.1 Détermination des poids	70
VI.3.2 Détermination des seuils d'indifférence et de préférence	71
VI.3.3 Détermination des seuils de veto	75
VI.3.4 Détermination du seuil de discrimination	77
VI.4 Présentation des résultats	77
VI.4.1 Matrice des degrés de crédibilité	77
VI.4.2 Distillations	78
VI.4.3 Représentation graphique	80

VI.5 Interprétation du résultat

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

81

**CHAPITRE VII***Analyse de sensibilité et  
élaboration de la recommandation*

Introduction	85
VII.1 Démarche de l'analyse de sensibilité	85
VII.2 Variation des poids	86
VII.3 Variation des seuils d'indifférence	90
VII.4 Variation des seuils de préférence	92
VII.5 Variation des seuils de veto	93
VII.6 Interprétation des analyses de sensibilité	94
VII.7 Elaboration de la recommandation	95

**Conclusions générales****Références bibliographiques****Annexes**

**SYMBOLES**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**SYMBOLES****DESCRIPTION***THT**Tres haute tension**HT**Haute tension**MT**Moyenne tension**BT**Basse tension**MW**Méga Watt**MVA**Méga Volt\_Ampère**TWH**Tétra watt heure**MDA**Million de dinars algérien*

## - LEXIQUE -

### Aspect multicritère

**Agrégation :** Opération permettant d'obtenir des informations sur la préférence globale entre les actions potentielles, à partir d'informations sur les préférences par critère.

**Analyse multicritère :** Analyse ayant pour objectif d'explicitier une famille cohérente de critères permettant d'appréhender les différentes conséquences d'une action.

**Action :** Politique, programme, projet ou candidat faisant l'objet de l'analyse multicritère.

**Action potentielle :** Action provisoirement jugée possible par un des intervenant au moins ou présumée tel par l'homme d'étude, en vue de l'aide à la décision.

**Analyse de sensibilité :** Répétition de l'analyse multicritère originale, en faisant varier isolément puis collectivement les valeurs attribuées à l'origine aux paramètres utilisés.

**Conséquence :** Effet ou attribut d'une action susceptible d'interférer avec les objectifs ou avec le système de valeurs d'un acteur du processus de décision, et à partir duquel, il élabore, justifie ou transforme ses préférences..

**Critère :** Expression qualitative ou quantitative de points de vue, objectifs, aptitude ou contraintes relatives au contexte réel, permettant de juger des actions potentielles. Afin qu'une telle expression puisse devenir un critère, elle doit être utile pour le problème considéré et fiable.

Un critère est doté d'une structure de préférence.

**Recommandation :** Comportement proposé par l'homme d'étude, par rapport auquel le décideur conserve son entière liberté.

**Relation de surclassement :** Relation binaire, dans laquelle il est possible d'affirmer sans trop de risques d'erreur que le décideur préfère l'action  $a_i$  à l'action  $a_k$ .

**Performance :** Evaluation pour laquelle le sens de la préférence est indiquée (plus la performance d'une action est élevée, plus cette action est préférée).

### Aspect économique

**Actualisation :** Opération qui consiste à calculer la valeur présente dite « valeur actuelle » d'une somme future (à payer ou à encaisser) moyennant un taux d'intérêt déterminé dit « Taux d'actualisation ».

**Actualisation (Facteur d') :** Taux correcteur à appliquer à une somme future pour la ramener au jour d'aujourd'hui, c'est à dire pour déterminer sa valeur actuelle, il dépend à la fois du taux d'intérêt et de l'échéance à laquelle la somme future doit être payée ou encaissée, il se calcule selon la formule  $(1+i)^n$  et se lit sur des tables d'actualisation.

**Flux de trésorerie d'exploitation :** Le flux de trésorerie lié à un projet souvent qualifié dans la pratique de *Cash-Flow* représente lorsqu'il est positif le surplus monétaire dégagé par le projet au cours de la période considérée compte tenu des encaissements et des décaissements liés à l'exploitation de l'investissement. Il doit être calculé annuellement sur toute la durée de vie utile de l'investissement pour réaliser l'étude de rentabilité du projet considéré.

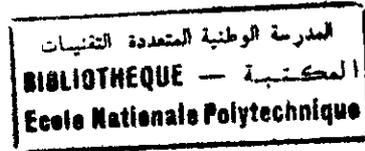
**Valeur actuelle nette :** Elle représente l'excédent du cumul des flux nets de trésorerie d'exploitation actualisés, elle est calculée sur toute la durée de vie de l'investissement, sur le montant du capital investi.

### Aspect électrotechnique

**Effet joule :** Il représente le dégagement de chaleur produit un courant en passant par un conducteur.

**Génératrice :** Machine transformant l'énergie mécanique en courant électrique.

**Puissance nominale :** Il représente la puissance de transit à ne pas dépasser pour éviter les surcharges. elle est définie sur le constructeur.



## INTRODUCTION

Condamnés à évoluer dans un environnement austère et en perpétuel changement, l'entreprise est confrontée quotidiennement aux problèmes de décisions, et plus particulièrement aux problèmes de décisions d'investissement.

L'investissement peut être considéré comme un point névralgique dans l'entreprise, car étant indubitablement l'élément primordial et le facteur essentiel de sa croissance et de son développement, il peut aussi constituer son « talon d'Achille ».

Alors, pour que l'investissement soit un facteur de développement et d'anticipation de l'avenir, il doit contribuer à la réalisation des objectifs que l'entreprise s'est assignés, conformément à ces orientations stratégiques.

La décision d'investissement est une décision stratégique qui vise à déterminer la configuration optimale des investissements à réaliser, afin de permettre à l'entreprise de mieux appréhender le futur, de minimiser les risques de faillite, et par conséquent de maîtriser l'instabilité de l'environnement. Dans cette optique, la décision d'investissement joue un rôle prépondérant dans la survie de l'entreprise qui ne cherche qu'à assurer sa pérennité dans ce monde complexe et incertain dans lequel elle évolue.

Pour essayer de donner des points d'appui à ces décisions, une multitude de méthodes de recherche opérationnelle ont été développées. Cependant, la recherche opérationnelle n'est ni une panacée, ni une solution miracle capable de résoudre tous les problèmes de l'entreprise. Elle a des limites qui se traduisent par le fait qu'elle soit trop rationnelle et trop simplificatrice, du fait qu'elle se base sur la réduction de la réalité aux méthodes mathématiques.

Ainsi, l'entreprise doit tenir compte des différents aspects reflétant la réalité, lors de la préparation de la décision d'investissement, tels que : l'aspect technique, l'aspect économique, l'aspect politique, l'aspect social et l'aspect écologique. Ceci implique que plusieurs points de vue soient considérés et que leur confrontation soit organisée à l'aide de procédures assurant leur synthèse, dans leur pluralité et leur diversité.

Par conséquent, il devient nécessaire voir coercitif de faire appel à plusieurs critères qui résumeront les multiples points de vue, et qui serviront de base pour la prise de la décision d'investissement. Ces critères peuvent être de nature quantitative et /ou qualitative, vu la diversité des aspects pris en considération.

Finalement, la décision d'investissement a un impact conséquent sur la survie de l'entreprise, sur son adaptation au changement et sur son développement. Alors, afin de faciliter la prise des décisions d'investissement, des méthodes performantes d'aide à la décision ont été développées, et peuvent être appliquées dans ce sens.

Le but de notre travail est d'apporter une aide à la décision d'investissement pour la réalisation des ouvrages haute tension et très haute tension du réseau électrique national, pour le compte de la SONELGAZ.

Pour se faire, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Position du problème.
- Etude du système électrique et plus particulièrement du réseau SONELGAZ.
- Présentation de concepts théoriques de l'aide à la décision.
- Modélisation du problème.
- Choix et présentation de la méthode d'analyse multicritère utilisée.
- Application de la méthode et interprétation du résultat.
- Analyse de sensibilité et élaboration d'une recommandation qui servira de support pour la prise de la décision finale.

# *CHAPITRE I*

## *Position du problème*

# **CHAPITRE I**

## **POSITION DU PROBLEME**

### **Introduction**

Durant les dix dernières années, le secteur électrique a connu un essor important engendré par le processus d'industrialisation du pays, ainsi, l'entreprise nationale d'électricité et du gaz (SONELGAZ) qui desservait en énergie électrique près de 700.000 abonnés en 1970, compte aujourd'hui plus de 4 millions d'abonnés. Sa capacité de production a été multipliée par huit en passant de 650 MW en 1970 à 5209 MW en 1998.

Dans le présent chapitre destiné à la spécification du problème posé, nous allons commencer par la présentation de l'entreprise SONELGAZ, puis nous expliciterons le processus de planification de celle-ci avant de présenter les différents éléments d'informations qui nous permettront d'élaborer une problématique traduisant le problème posé.

### **I.1 Présentation de l'entreprise SONELGAZ**

SONELGAZ. EPIC (Etablissement Public à Caractere Industriel et Commercial) est chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz naturel a travers tout le territoire national. Société en phase de mutation du fait du changement de statut d'EPIC à celui de SPA (Société Par Action) dont elle fait l'objet, la SONELGAZ se caractérise par le souci permanent de satisfaire les besoins de l'économie nationale et d'offrir aux abonnés un service de meilleure qualité.

Elle regroupe 14 directions différentes dont la Direction des Etudes Economiques (DEE) [Voir Annexe 1], qui se charge des études économiques de planification de l'électricité et du gaz, et au sein de laquelle nous distinguons le Département Etudes de Planification Electricité (DEPE), qui se charge des études de planification du système électrique national et au niveau duquel, le sujet que nous allons étudier nous a été proposé.

## I.2 Processus de planification à SONELGAZ

Le processus de planification utilisé à la SONELGAZ est un procédé décisionnel qui a pour objectif de définir une stratégie de développement qui peut satisfaire, tout en respectant des contraintes sociales, financières, politiques, environnementales..., une double exigence :

- Une exigence économique et ce par la minimisation des coûts d'investissement et d'exploitation (y compris la maintenance et le combustible pour la production d'électricité).
- Une exigence de fiabilité et ce en assurant une continuité et une qualité de la fourniture d'énergie satisfaisante, pour chaque niveau de la demande.

La méthodologie employée pour la planification du système production – transport s'articule essentiellement autour des étapes suivantes :

- La prévision de charge
- L'expansion du parc de production sur un horizon de 10 à 30 ans.
- L'expansion du réseau de transport sur un horizon de 10 à 30 ans.
- L'expansion du réseau de transport sur un horizon de 5 à 10 ans.

Ceci est explicité par la figure suivante:

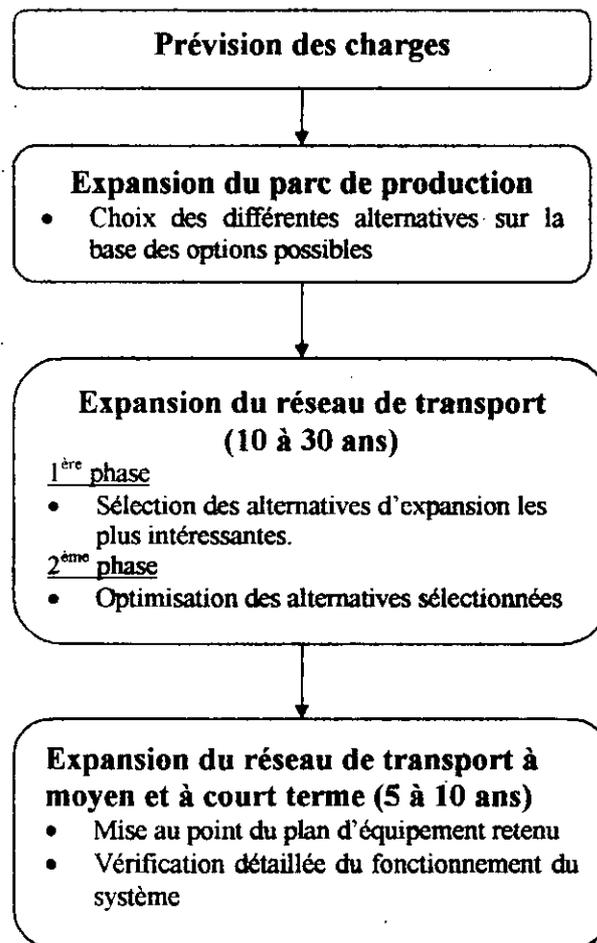


Fig I.1 Etapes principales de la planification des systèmes électriques

Afin de bien présenter le problème qui nous a été posé, nous devons expliciter chacune de ces étapes [Voir Fig I.1] en veillant à assurer la cohérence de tout le processus.

### I.3 Evolution de la consommation d'électricité

La consommation d'électricité en Algérie, est passée de 12.5 TWH en 1988 à 20.5 TWH en 1998, en inscrivant un taux de croissance annuel moyen de 4.52 %. Afin d'expliciter cette évolution, nous présentons dans le tableau 1, les valeurs de la puissance maximale appelée sur le réseau national, enregistrées au courant de cette période.

Tableau 1 : Historique des puissances maximales appelées sur le réseau national

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
P.max (MW)	2307	2487	2742	2858	2911	3118	3236	3483	3790	3940	4060
Taux de croissance annuelle TCA (%)		3.0	5.8	5.2	4.1	5.9	4.0	3.1	6.7	4.4	3.0

Source : plan d'équipement 1999-2004 (N° 439/ D.E.E. 99) -SONELGAZ

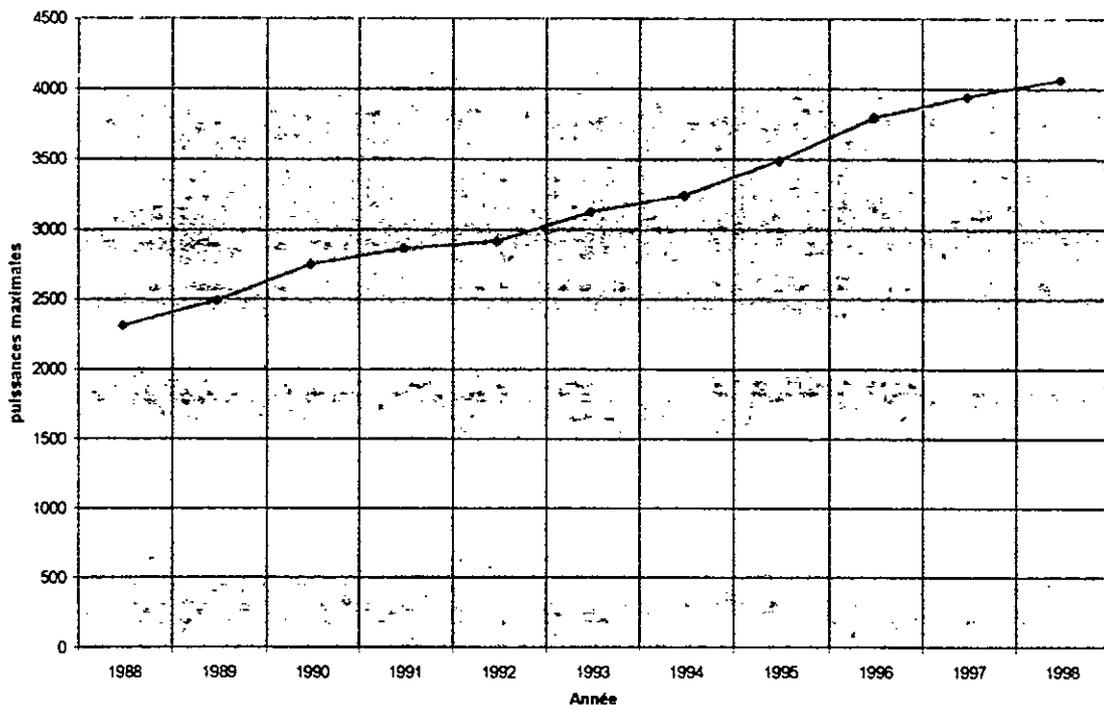


Fig I.2 Historique des puissances maximales appelées sur le réseau

Dans le but de déterminer les moyens de production à mettre en œuvre pour répondre à la demande, il est nécessaire d'établir des prévisions explicitant les caractéristiques de cette dernière. Ces prévisions correspondent à la première étape du processus défini précédemment et sont représentées par le tableau suivant :

**Tableau 2 : Prévisions des puissances maximales appelées sur le réseau national**

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004
P. max (MW)	4170	4323	4515	4600	4855	5060
Taux de croissance annuel [T.C.A (%)]	-	3.67	4.44	1.88	5.54	4.22

Source : plan d'équipement 1999-2004 (N° 439/ D.E.E. 99) -SONELGAZ

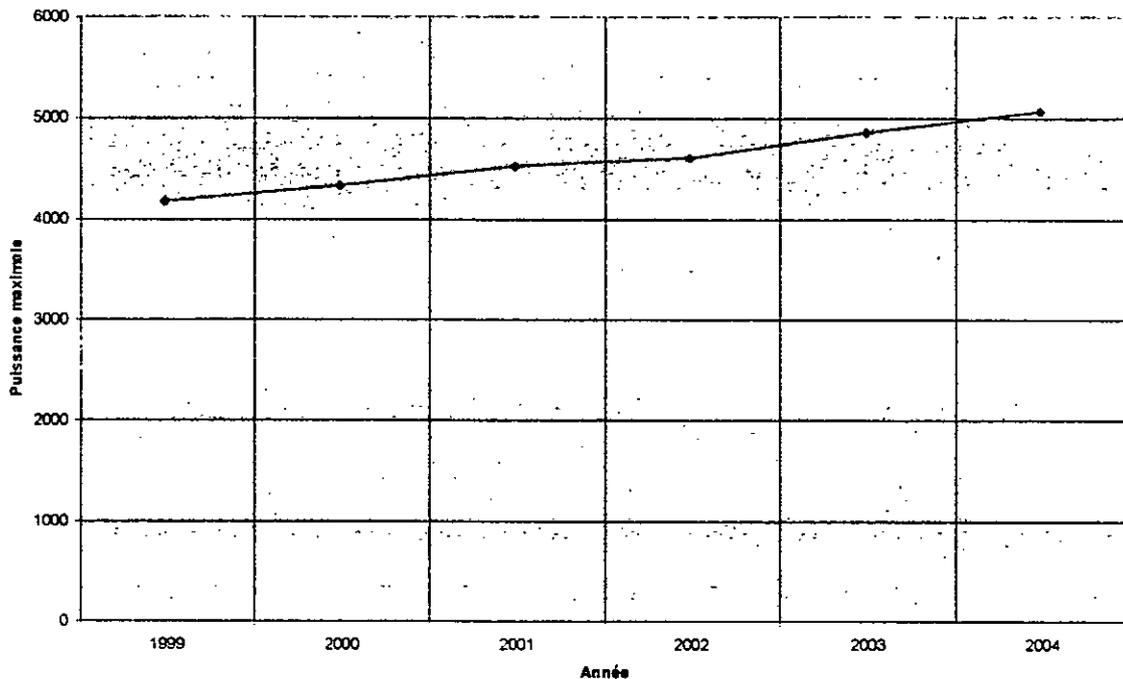


Fig 1.2 Prévision des puissances maximales appelées sur le réseau

Nous pouvons constater de façon claire, que les prévisions représentées par le graphe ci-dessus, expriment un accroissement de la demande d'énergie électrique, qui se traduit par un T.C.A moyen de 3.95%

Afin de répondre à cet accroissement, il est nécessaire d'effectuer une étude ayant pour objet l'expansion du parc de production.

#### I.4 Expansion du parc de production

L'expansion du parc de production est le résultat de la planification des moyens de production, qui correspond à la deuxième étape du processus de planification de SONELGAZ et qui dépend de plusieurs facteurs et paramètres dont :

- **Les caractéristiques de la demande :** Il s'agit d'établir la forme de la modulation des appels de puissance pour chaque année d'étude afin de déterminer les niveaux d'énergie à satisfaire.

- **Les caractéristiques techniques des groupes de production :** Pour chaque groupe candidat, il s'agit de spécifier son type (thermique vapeur, thermique à gaz...), sa puissance, le type du combustible utilisé...
- **Les paramètres économiques :** Ils se ramènent aux coûts d'investissement, aux frais d'exploitation, au taux d'actualisation utilisé, à la durée de réalisation et au coût du combustible.
- **La réserve marginale :** Elle exprime la marge de réserve de puissance électrique installée par rapport à la puissance de pointe appelée sur le réseau.  
Dans le but d'obtenir des programmes d'équipements réalistes qui prennent en compte l'optimum financier, humain et technique, seules les solutions d'accroissement du parc de production ayant une réserve marginale comprise entre 20 et 30 % de la puissance de pointe sont considérées.  
La configuration du parc de production minimal nécessaire pour faire face à la charge appelée en période de pointe est conditionnée par cette marge de réserve dont l'augmentation ou la réduction entraîne plus ou moins d'équipements additionnels à mettre en œuvre pour satisfaire la demande dans les conditions de service préalablement fixé. Ainsi, la réserve marginale représente certainement le paramètre le plus important dans la détermination des équipements à mettre en place.

A partir du tableau 1, nous remarquons que la puissance appelée à la pointe hiver de l'année 1998, a atteint 4060 MW et que la puissance installée était alors de 5208 MW [Tableau 3]. En vue des prévisions établies [Tableau.2] et tenant compte de la réserve marginale de puissance à avoir, il est clair que cette puissance ne pourra répondre à la croissance ininterrompue de la demande, et ce dès l'année 2000. C'est donc pour cette raison que le parc de production devra être développé et dimensionné de façon à ce qu'une marge de réserve de plus de 20% soit prise en compte, et permettre donc la satisfaction de la demande.

Les solutions d'expansion du parc de production sont représentées par le tableau suivant :

**Tableau. 3 :** Caractéristiques du parc de production à l'horizon 2004

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Puissance appelée Max	4060	4170	4323	4515	4600	4855	5060
Puissance installée de base	5208	5208	5508	5908	5908	5908	6508
Déclassés potentiels (MW)	0	0	0	17	296	306	194
Additions annuelles (MW)	0	3x100	2x200	0	0	1x600	1x600
Puissance totale installée après addition et avec déclassement	5208	5508	5908	5891	5595	5889	6295
Réserve Absolue (MW)	1148	1338	1583	1376	995	1034	1235
Réserve Relative (%)	28.3	32.1	36.6	30.5	21.6	21.3	24.4

Source: plan d'équipement 1999-2004 (N° 439/ D.E.E. 99) -SONELGAZ

L'expansion du parc de production génère automatiquement l'expansion du parc de transport à long terme qui génère à son tour, l'expansion du réseau de transport à moyen terme et qui représente la dernière étape du processus de planification décrit auparavant.

### I.5 Expansion du réseau de transport

Avec les niveaux de consommation prévus à moyen terme, des problèmes liés à la satisfaction de la demande et à la garantie de la desserte en énergie électrique, apparaîtront dès l'année 2000. Ils seront engendrés par la saturation des ouvrages existants qui se traduit d'une part, par les surcharges des lignes électriques et d'autres part, par les capacités de transformation de certaines sources THT/HT et HT/MT qui atteignent les limites de puissances garanties.

Pour faire face à la croissance de la demande, et permettre l'évacuation des centrales futures résultant de l'expansion du parc de production et garantir une qualité de service acceptable, des solutions de renforcement du réseau électrique national sont envisagées à travers la réalisation de nouvelles liaisons et injections THT/HT et HT/MT.

Les ouvrages retenus dans le cadre de ce projet correspondent au plan de développement à moyen terme du réseau haute tension des régions : Ouest, Centre, Est, sud.

### I.6 Plan de développement à moyen terme (1999 - 2004)

Le plan de développement à moyen terme ou plan d'équipement, est le résultat final du processus de planification que nous avons présenté. Ce processus fait appel à des méthodes de calcul et à des critères similaires à ceux appliquées actuellement au niveau international par les grandes entreprises homologues de SONELGAZ.

Ce plan englobe tous les ouvrages de transport électrique qui répondent à :

- L'expansion du parc de production
- La croissance de la demande
- La garantie de la desserte en énergie électrique

Il est représenté par le schéma suivant :

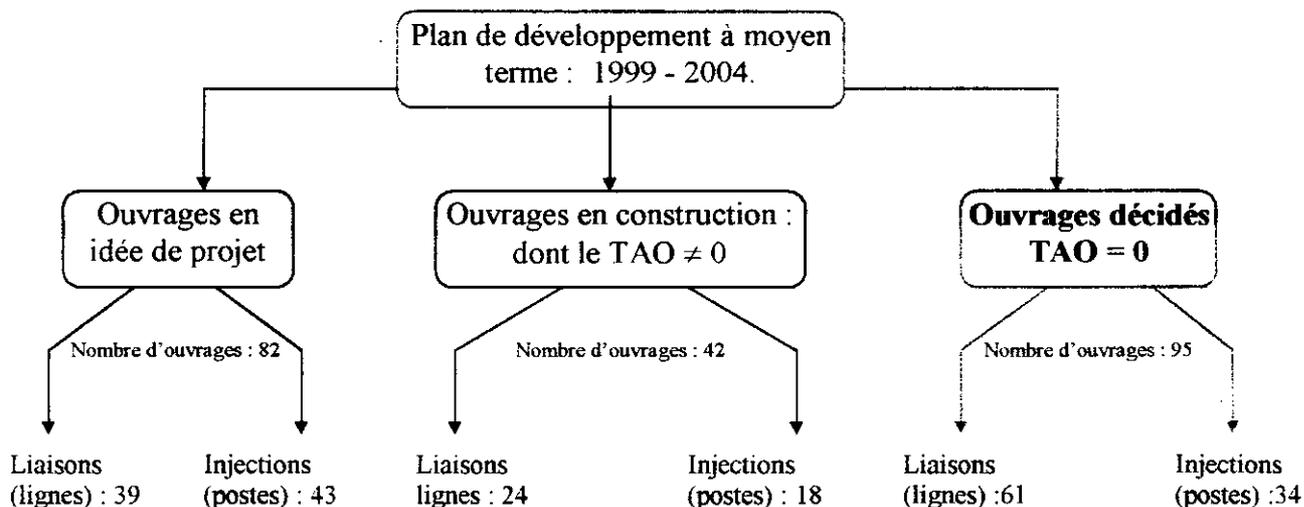


Fig I.3 Représentation du plan à moyen terme de la SONELGAZ

Nous ne prendrons en considération que les ouvrages décidés qui ont un taux d'avancement égal à 0 ( $TAO^1 = 0$ )

## **I.7 Problématique**

La réalisation des ouvrages de transport électrique inscrit dans le cadre du plan de développement à moyen terme (1999-2004), requiert l'utilisation d'importantes ressources financières vu le grand nombre de ces ouvrages et l'importance de leur coût de réalisation. Or, les ressources financières disponibles sont insuffisantes comparées aux besoins financiers générés par ce plan et ne permettent donc pas à l'entreprise de réaliser tous ces ouvrages.

Il devient donc impératif de reporter la réalisation de certains d'entre eux, en les différant sur d'autres plans. Pour ce faire, l'entreprise doit effectuer un choix ultime lui permettant de déterminer, parmi les projets à réaliser, ceux qui devront être différés et ceux qui doivent être réalisés dans la période recouverte par le plan. Ceci se traduit par la nécessité d'établir un classement de ces projets par ordre de priorité en se basant sur plusieurs critères, techniques et économiques.

Le problème qui nous est donc posé, est celui du développement d'une méthode qui nous permet d'effectuer un classement entre ces ouvrages en tenant compte de tous les critères, afin d'aider l'entreprise à prendre une décision pertinente concernant les ouvrages à réaliser en priorité. Ceci nous pousse à faire appel à l'aide multicritère à la décision.

---

<sup>1</sup> TAO : Taux d'avancement de l'ouvrage

# *CHAPITRE II*

*Etude du système  
électrique*

## **CHAPITRE II**

# **ÉTUDE DU SYSTEME ELECTRIQUE**

### **Introduction**

Le développement socio-économique d'un pays requiert la disponibilité d'énergie et plus particulièrement d'énergie électrique. En effet, que ce soit dans le secteur industriel ou résidentiel, la modernisation des moyens de production et l'amélioration du bien être des populations repose en grande partie sur l'utilisation d'équipement fonctionnant grâce à l'électricité.

Fournir l'énergie électrique aux consommateurs domestiques et industriels, nécessite des investissements importants pour l'installation des centrales de production et la réalisation des ouvrages constituant le réseau de transport électrique.

Dans ce chapitre, nous donnerons en premier lieu des notions sur le système électrique et plus particulièrement sur réseau de transport électrique. En second lieu, nous présenterons les ouvrages de transport où nous distinguerons les ouvrages haute tension et très haute tension puis nous évoquerons les principales caractéristiques du réseau national.

### **II.1 Généralités sur le système électrique [Wil, 78]**

#### **II 1.1 Centres de Production d'électricité**

L'électricité est produite dans des centrales qui assure la transformation d'une énergie primaire en énergie électrique, cela permet de distinguer trois types principaux de centrales :

##### **A. Les centrales hydrauliques**

Ce sont des centrales qui exploitent l'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau, et qui la convertissent en énergie mécanique dans des turbines hydrauliques. Ces dernières entraînent des alternateurs qui produiront l'énergie électrique.

##### **B. Les centrales thermiques (à vapeur ou à gaz)**

Elles produisent l'électricité à partir de la chaleur (énergie thermique) qui se dégage lors de la combustion du charbon, mazout, gaz naturel ou autres éléments combustibles, dans des chaudières. Cette énergie permet d'augmenter la pression du gaz ou de la vapeur, pour faire fonctionner des turbines qui transforment l'énergie thermique en énergie mécanique, cette dernière actionne les alternateurs produisant l'énergie électrique.

##### **C. Les centrales nucléaires**

Elles produisent l'électricité à partir de l'énergie thermique libérée par une réaction nucléaire de fission, cette énergie peut atteindre des valeurs considérables. Ce type de centrales est semblable aux centrales thermiques, à l'exception de la chaudière qui est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.

### II.1.2 Réseau électrique

Pour que l'énergie électrique soit utilisable, elle doit être acheminée des centres de production jusqu'aux consommateurs à travers un **réseau électrique**, qui a pour fonction de :

- Fournir aux clients instantanément la puissance électrique dont ils ont besoin. Celle-ci peut aller de quelques centaines de watts à un millier de kilowatts.
- Garantir une bonne qualité de service en fournissant une tension et une fréquence stable.
- Maintenir des normes de sécurité.

### II.1.3 Organisation d'un réseau électrique [Wil, 78] [Mes, 89]

Le réseau électrique est organisé en trois niveaux :

Le transport très haute tension assuré par des réseaux de grand transport et d'interconnexion.

Le transport haute tension assuré par des réseaux de répartition.

Le transport moyenne et basse tension assuré par des réseaux de distribution

Le transport de l'énergie électrique se fait par le biais de conducteurs (lignes aériennes, câbles sous terrains), Ces derniers possèdent des propriétés intrinsèques de résistivité pouvant influencer la puissance électrique transitée, en provoquant des pertes par effet joule. Ces pertes augmentent avec la distance de transport. Donc, pour pallier ce problème, la tension est élevée **très fortement** dans des postes de transformation situés à la sortie des centrales, pour permettre le transport économique de l'énergie [voir Fig II.1].

**Remarque** En augmentant la tension  $U$  pour une puissance électrique transportée fixe, le courant  $I$  diminue, et provoque ainsi la diminution de la puissance perdue par effet joule. Cela est exprimé par les équations suivantes :

-  $P_{(perdue\ par\ effet\ joule)} = R \cdot I^2$       $R$  : résistance de la ligne

-  $P_{(transportee)} = U \cdot I$

( $U$  croît et  $P_{(transportee)}$  reste fixe)  $\Rightarrow$  ( $I$  diminue)  $\Rightarrow$  ( $P_{(perdue\ par\ effet\ joule)} = R \cdot I^2$  diminue).

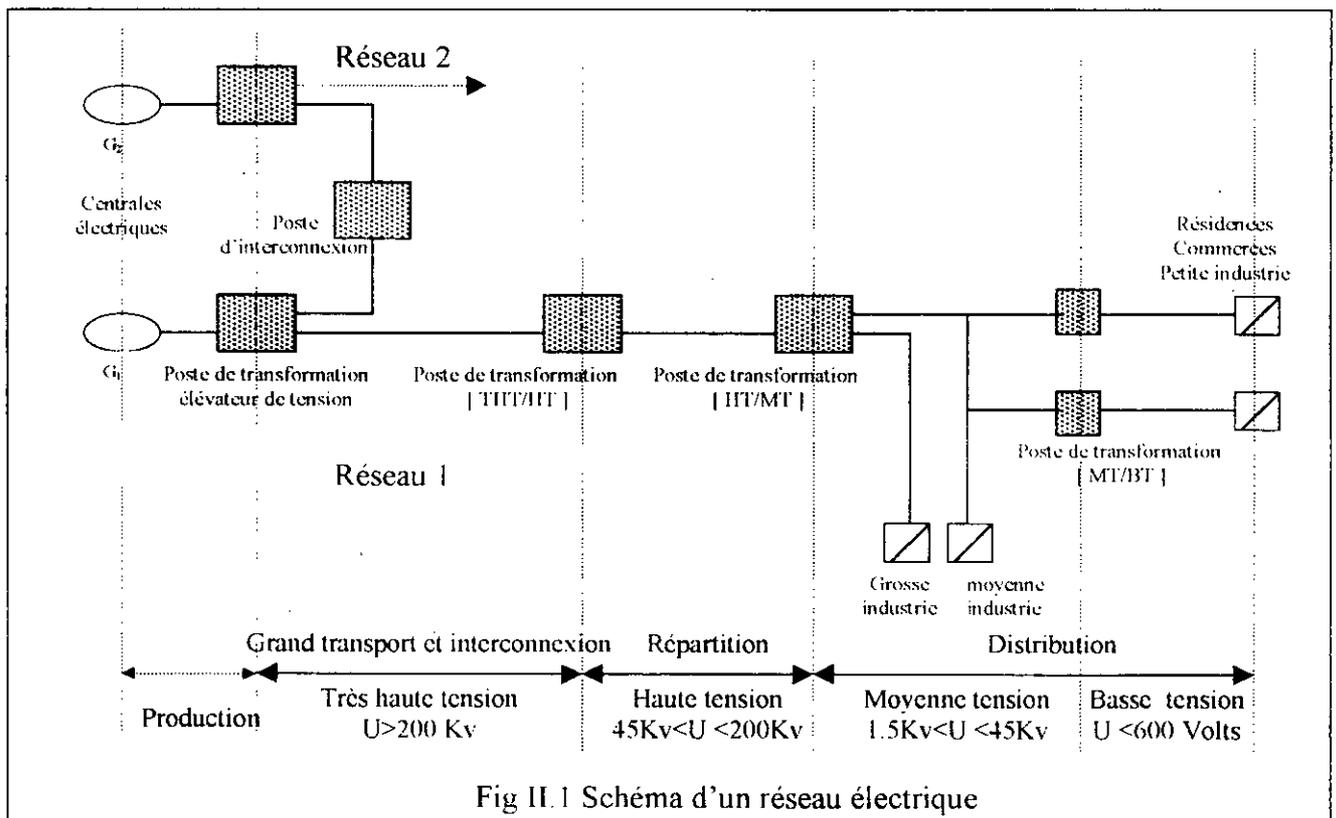


Fig II.1 Schéma d'un réseau électrique

## A. Réseaux de grand transport et d'interconnexion

Ces réseaux assurent le transport très haute tension pour les grandes distances séparant les grands centres de production des grands centres de consommation, où sont installés des postes de transformation THT/HT (qui ont pour fonction d'alimenter des réseaux de répartition). Ils servent aussi à lier les grands réseaux régionaux ou les réseaux des pays voisins à travers des postes d'interconnexion, leur tension est supérieure à 200 Kvolts. [Fig.II.1]

### A. Réseaux de répartition

Les réseaux de transport (THT) fournissent l'énergie électrique, à travers des postes de transformation (THT/HT), à des réseaux de répartition haute tension. Ces derniers l'acheminent aux abords des villes ou à l'intérieur des grandes agglomérations où sont disposés des postes de transformation HT/MT, qui alimentent des réseaux de distribution. Les réseaux de répartition alimentent aussi les grands clients industriels, et peuvent servir au transport de l'énergie vers les localités éloignées des réseaux (THT). Leurs tensions sont comprises entre 45Kv - 200Kv

### B. Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution moyenne tension permettent d'alimenter à partir des postes de transformation HT/MT les industriels de taille moyenne, et les clients domestiques après la transformation de la tension en basse tension dans des postes de transformation MT/BT. La moyenne tension varie entre 1.5 Kv - 30 Kv, tandis que la basse tension atteint quelques centaines de volts. (120V - 600V).

#### II.1.4 Appel de puissance

La puissance appelée par l'ensemble des clients d'un réseau subit des grandes fluctuations selon l'heure de la journée et la saison. Ces variations seront traduites par des courbes de charge [Voir Annexe 2] établies régulièrement afin de contrôler la demande, et prévoir les pointes de consommation.

#### II.1.5 Stabilité du réseau électrique

La défaillance d'un élément du réseau électrique peut remettre en cause sa stabilité, entraînant des perturbations pouvant s'étendre sur l'ensemble du réseau.

Les défaillances majeures affectant le réseau sont : La perte d'une grosse charge<sup>1</sup>, la perte d'une grosse génératrice, l'ouverture inattendue d'une ligne haute tension ou très haute tension. Ces défaillances sont dues principalement aux :

- Forts transits de puissance causés par une augmentation imprévue de la demande, cela provoque la saturation des ouvrages de transport électrique (lignes, postes) et diminue ainsi leur fiabilité.

<sup>1</sup> Coupure électrique dans un grand centre de consommation suite à la panne d'un équipement principal (ex: transformateur) assurant l'alimentation de ce centre.

- Perturbations atmosphériques (foudre, pluie, vent, neige...), qui peuvent induire des défauts d'isolement des parties sous tensions ou mettre en péril la tenue mécanique des ouvrages, provoquant ainsi des courts-circuits et des surtensions.

### II.1.6 Contrôle et régulation dans le réseau [Bia, 83]

Pour faire face aux aléas de la production et de la consommation, et maintenir la **stabilité** du réseau, il existe un centre de dispatching, qui a pour mission de surveiller en temps réel le réseau (lignes de transport, nœuds de production et de consommation) et de fournir les données nécessaires afin d'établir le programme de marche, et prévoir les possibilités de renforcement, dans le but de :

- Produire et transiter la puissance électrique dans les meilleures conditions de qualité et de sécurité
- Eviter que les **surcharges** de certains groupes, postes ou lignes ne provoquent une perte de synchronisme.
- Détecter les pannes de matériels de production ou de transport et intervenir de façon rapide et efficace pour éviter des répercussions graves sur tout le réseau.

Afin d'adapter la production d'électricité à une demande très fluctuante, il est utile de constituer une marge de sécurité [Voir § I.4]. Cette dernière est réalisée par les stocks dans le cas de produits stockables. Or, vu l'impossibilité de stocker l'énergie sous forme électrique, il existe deux techniques qui permettent la régulation entre la production et la demande d'électricité :

- Constituer des réserves d'énergie primaire (eau, combustible...) et accroître les capacités de production des centrales (hydrauliques, thermiques,...) en cas d'augmentation de la demande.
- Faire une **interconnexion** des réseaux.

### II.1.7 Interconnexion des réseaux [Mes, 89]

L'interconnexion consiste à relier les réseaux par les lignes haute tension et très haute tension, à partir des postes d'interconnexion, en vue d'établir les échanges d'énergie entre les régions, ou pays voisins. Ce qui permet la compensation des puissances appelées sur chaque réseau, tout en assurant la stabilité, la continuité de service et l'économie de transport :

- **Stabilité** : les réseaux interconnectés forment un ensemble qui est plus puissant que les réseaux individuels, puisqu'ils peuvent mieux supporter les perturbations.
- **Continuité de service** : en cas de défaillance d'une centrale, les clients peuvent être alimentés temporairement par les centrales des autres réseaux.
- **Economie** : il est possible de répartir la charge sur les réseaux interconnectés de façon à avoir un coût de fonctionnement global minimal.

## II.2 Présentation des équipements de transport électrique

### II.2.1 Lignes électriques [Por, 92]

Le transport de l'énergie électrique se fait par le biais de lignes conductrices triphasées, dont les paramètres (section, tension, longueur, matière) sont dimensionnés en fonction de la puissance à transiter et de la distance de transport. Le fonctionnement de ces lignes est assuré par des postes de transformation ou d'interconnexion, qui délimitent leurs tensions et charges selon leurs types :

#### A. Lignes très haute tension THT

Elles peuvent être des lignes de grand transport ou des lignes d'interconnexion

- **Lignes de grand transport :** Elles permettent l'évacuation de l'énergie produite par un centre de production vers un centre de consommation.
- **Lignes d'interconnexion :** Elles assurent la mise en commun des ressources de production de plusieurs régions ou pays et facilitent ainsi le secours mutuel lors de situations particulières affectant la consommation, la disponibilité des équipements de production ou de transport... La tension de ses lignes est supérieure à 200 Kvolts.

#### B. Lignes haute tension HT

Elles servent à répartir l'énergie électrique au niveau régional et peuvent être aériennes, ou sous forme de câbles sous terrains dans les régions à haute densité d'habitation. Leur tension peut atteindre 200Kv.

#### C. Lignes moyenne tension MT.

Ce sont les lignes qui servent à acheminer l'énergie électrique des postes principaux d'une région, vers les postes de transformation MT/BT pour la distribuer ensuite aux clients domestiques, leur tension peut atteindre jusqu'à 45Kv.

#### D. Lignes basse tension BT

Ce sont les lignes et la filerie installée à l'intérieur des édifices, usines et maisons, pour alimenter les différents appareils électriques. Elles fonctionnent à des tensions inférieures à 600Volts.

Nous nous intéresserons particulièrement aux lignes aériennes HT-THT qui feront l'objet de notre étude.

### II.2.2 Composants des lignes THT – HT [Haf § Nog, 94]

Les lignes triphasées<sup>2</sup> de transport THT- HT sont composées principalement de conducteurs, d'isolateurs et de support :

#### A. Les conducteurs

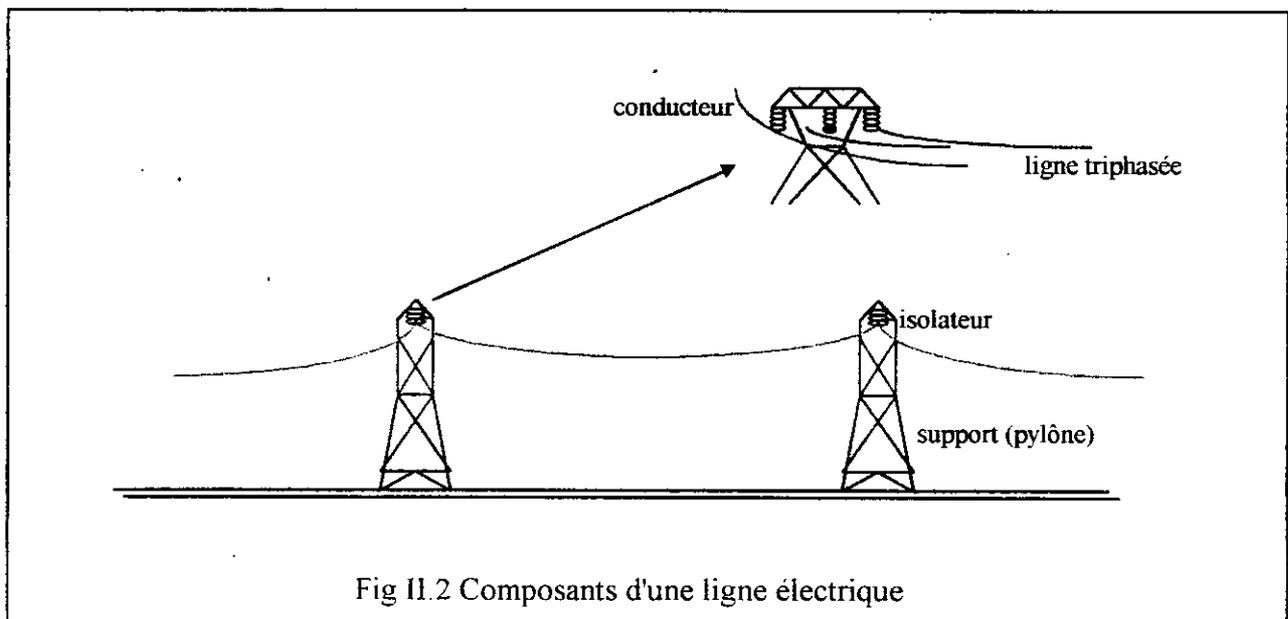
Ils sont toujours nus tel que chaque conducteur forme une phase de la ligne, et sont généralement constitués de câbles en cuivre ou en Aluminium avec une section assez grande, afin de permettre les forts transits de puissance et limiter les pertes d'énergie active par effet joule. Dans certains cas, ces conducteurs peuvent être assemblés en faisceau pour augmenter leur section et accroître ainsi leurs performances électriques.

#### B. Les isolateurs

Ils assurent l'isolement électrique et transmettent aux supports tous les efforts agissant sur les conducteurs. Ils doivent offrir une grande résistance pour qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter.

#### C. Les supports

Ce sont des pylônes en treillis d'acier qui maintiennent les conducteurs à une hauteur convenable définie en fonction de contraintes mécaniques et d'isolement électrique.



### II.2.3 Postes [ Del, ] [Ass, ]

Dans l'organisation d'un réseau, les postes sont des points névralgiques, car, du fait de leur fonction d'interconnexion et de transformation, la défaillance de l'un d'eux peut provoquer la mise hors service de nombreuses lignes et compromettre les liaisons entre réseaux de tensions différentes.

<sup>2</sup> Elles peuvent comprendre un ou deux circuits triphasés appelés **terne**. L'existence de deux ternes augmente évidemment la capacité de transit de la ligne.

On distingue plusieurs types de postes :

#### **A. Postes d'interconnexion**

Ils assurent les liaisons entre les lignes THT-HT, dans les réseaux d'interconnexion, Ils comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés **jeu de barres**, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs) de même tension peuvent être aiguillés.

#### **B. Postes de transformation**

Ils constituent les points de jonction entre les lignes de différentes tensions, ils comprennent au moins deux jeux de barres ayant des tensions différentes liées par un ou plusieurs transformateurs.

Les postes de transformation peuvent être : des postes (THT/HT), (HT/MT), (MT/BT).

#### **C. Postes mixtes**

Ils assurent une fonction d'interconnexion, et comportent en outre plusieurs étages de transformation.

### **II.2.4 Composants des postes haute tension et très haute tension**

La partie centrale d'un poste haute ou très haute tension est constituée par un ou plusieurs jeux de barre exploités à une tension déterminée, sur lesquels plusieurs **départs** (lignes THT-HT, transformateurs de puissance THT/HT, HT/MT) sont aiguillés. [Voir Fig II.4]

Les principaux appareils qui constituent un poste sont :

#### **A. Appareils de coupure**

Les appareils de coupure dans un poste sont les suivants :

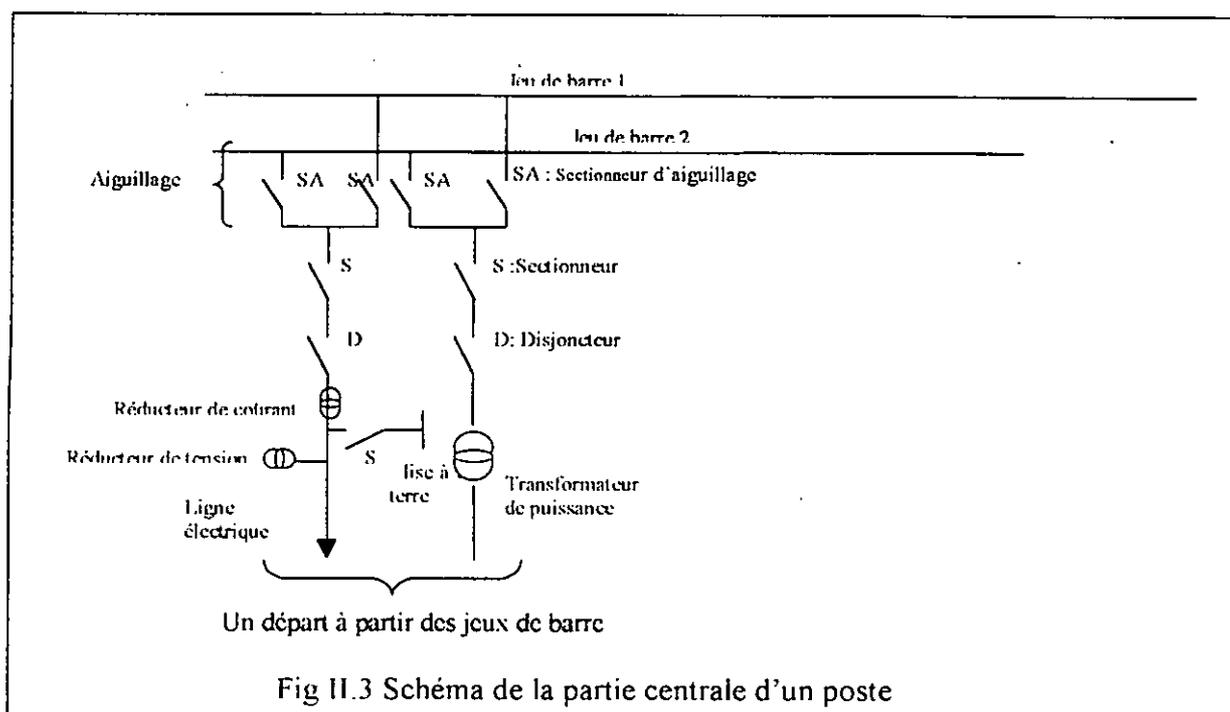
- Disjoncteurs : ils permettent d'établir ou d'interrompre le passage du courant.
- Sectionneurs : ils permettent d'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit

#### **B. Appareils de mesure**

Un ensemble d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborés par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement), et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu.

#### **D. Transformateurs de puissance**

Ils permettent de modifier la tension de l'énergie électrique



## II. 3 caractéristiques du réseau de SONELGAZ

### II.3.1 Présentation du réseau électrique existant

Le réseau de SONELGAZ est constitué d'un réseau Nord s'étendant d'Est en Ouest sur une distance de 1300 Km environ et d'un réseau sud partiellement connecté au réseau Nord.

Le réseau Nord est subdivisé en trois grandes régions interconnectées entre elles, Est, Centre et ouest. Il est par ailleurs interconnecté à l'Est au réseau tunisien et à l'Ouest au réseau marocain.

La puissance appelée à la pointe hiver de l'année 1998 a atteint 4300 MW et la puissance actuellement installée est de l'ordre de 5500 MW.

Le parc de production est constitué de groupes thermiques vapeur situés le long de la côte et de turbines à gaz vers l'intérieur et au sud du pays. Leur répartition sur l'ensemble du système électrique est telle que les équilibres régionaux entre consommation et production sont respectés. De plus les flux de puissance transités d'un nœud à un autre sont modérés.

Le réseau électrique de SONELGAZ est structuré en :

- Un réseau de grand transport essentiellement en 220 Kv où les conducteurs sont de type 1x411 mm<sup>2</sup> ou 2x411 mm<sup>2</sup> en Aluminium – Acier. les lignes qui constituent ce réseau sont relativement courtes (inférieures à 200 Km)
- Un réseau 60 Kv (conducteurs en 288 mm<sup>2</sup> Alu - Acier) servant de répartition et quelquefois de transport pour alimenter des localités éloignées du réseau 220 Kv et ayant des niveaux de consommation peu élevés.

### II.3.2 Critères de fonctionnement du réseau de SONELGAZ

Les critères utilisés par SONELGAZ sont basés sur des méthodes de calcul déterministes et probabilistes présentées ci-dessous :

#### A. Les méthodes déterministes

Elles consistent à examiner, pour des situations préalablement sélectionnées, la capacité du système à faire face à différents types d'indisponibilité, en vue de déterminer des renforcements éventuellement nécessaires.

Dans cette optique, le développement du système doit vérifier au moins le critère « N-1 » qui exprime la capacité du système à faire face à l'indisponibilité d'un ouvrage électrique sur l'ensemble des ouvrages d'un même type (N étant le nombre d'ouvrages en service)

#### B. Les méthodes probabilistes

Elles permettent de compléter l'approche déterministe, en prenant en compte des critères plus sophistiqués, qui utilisent au mieux les performances du réseau existant et permettent de trouver parmi les stratégies de développement techniquement possibles, celle qui implique le niveau minimal d'investissement pour les futurs ouvrages, tout en garantissant la limitation des coûts d'exploitation et la satisfaction de la demande.

Ces critères sont :

- **Limites de tensions** : En situations normales de fonctionnement, le plan de tension devra se situer dans une marge de [-7% à 7%] par rapport aux valeurs nominales des tensions, en situations d'indisponibilité d'ouvrages, ces valeurs sont portées de [-10% à 10%].
- **Limites de transit** : En situation normale, les transits de puissance ne devront pas excéder les capacités nominales des lignes. En situations d'incidents, une surcharge de 20% est tolérée.
- **Niveaux de la demande** : Il est généralement retenu les niveaux de la demande pour les heures de pointe et les heures creuses.

# *CHAPITRE III*

---

## *Aide multicritère à la décision*

## CHAPITRE III

# AIDE MULTICRITERE A LA DECISION

### Introduction

L'activité quotidienne d'une entreprise est constamment confrontée aux problèmes de décision, et notamment la décision d'investissement. Cette dernière prend une dimension stratégique à cause des enjeux et des risques qu'elle fait courir à l'entreprise sur le moyen terme et le long terme. Ceci contraint les décideurs à prendre les meilleures décisions possibles et les plus pertinentes afin d'assurer la pérennité de l'entreprise.

Les problèmes de décision se ramènent le plus souvent à l'optimisation d'une fonction économique basée sur des méthodes mathématiques, dont le principe est l'élaboration de modèles appropriés aux données et objectifs du problème posé. Or, le modèle ne représente qu'une image approchée de la réalité, et donc il peut être présenté au décideur comme étant un élément d'information, qui lui permet de simuler les résultats escomptés d'un certain nombre de décisions, afin de préparer sa décision finale. Cela constitue **l'aide à la décision**.

Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts de base de la théorie d'aide à la décision, et particulièrement ceux de la démarche multicritère d'aide à la décision que nous adopterons dans notre étude.

### III.1 Aide à la décision

#### Quoi? [Roy, 85]

« L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. »

#### Pourquoi?

L'aide à la décision cherche à élaborer un réseau de concepts, de modèles, de procédures et de résultats susceptibles de constituer un ensemble structuré et cohérent de connaissances aptes à orienter, éclairer et accompagner scientifiquement le processus de décision, en fonction des données, et des objectifs voulus. Cela permettra de :

- Faire ressortir ce qui est objectif de ce qui l'est moins.
- Séparer les conclusions robustes des conclusions fragiles.
- Dissiper certaines formes de malentendu
- Eviter les pièges des raisonnements illusoire.
- mettre en évidence des résultats non-controversables une fois compris.

## III.2 Eléments d'aide à la décision

### III.2.1 Acteurs [Bouyssou & Roy,93] [May, 94]

La décision finale est souvent la résultante de multiples interactions entre plusieurs individus faisant partie du processus décisionnel et, elle est également fruit de nombreuses confrontations entre leurs systèmes de valeurs. Ces individus représentent les acteurs du processus décisionnel. [Fig III.1]

Parmi ces divers acteurs, nous distinguons :

#### A. Les intervenants

Ce sont ceux qui conditionnent **directement** la décision en fonction du système de valeurs dont ils sont porteurs. Ils peuvent être :

- Des individus : Recteur d'une université, directeur d'une entreprise, représentant d'un syndicat,...
- Des corps constitués : Conseil scientifique, assemblée nommée ou élue, jury,...
- Des collectivités : Opinion publique, personnel d'une entreprise, ...

#### B. Les agis

Ils sont concernés par les conséquences de la décision et les subissent de façon passive. Cependant, ils interviennent indirectement dans le processus par l'image que d'autres acteurs se font de leurs systèmes de valeurs.

#### C. Les hommes d'études (Analystes)

Ce sont ceux qui prennent en charge l'aide à la décision. Leurs rôles consiste à structurer le problème, expliciter le modèle, l'analyser et l'exploiter en vue d'obtenir des éléments de réponse au problème de décision. La finalité de leur travail consiste en l'élaboration d'une recommandation qui servira de support à la prise de la décision finale.

En dernier ressort, la responsabilité de la prise de décision revient à un **intervenant** clairement identifié qui représente **le décideur**. Ce dernier joue un rôle déterminant dans la conduite du processus.

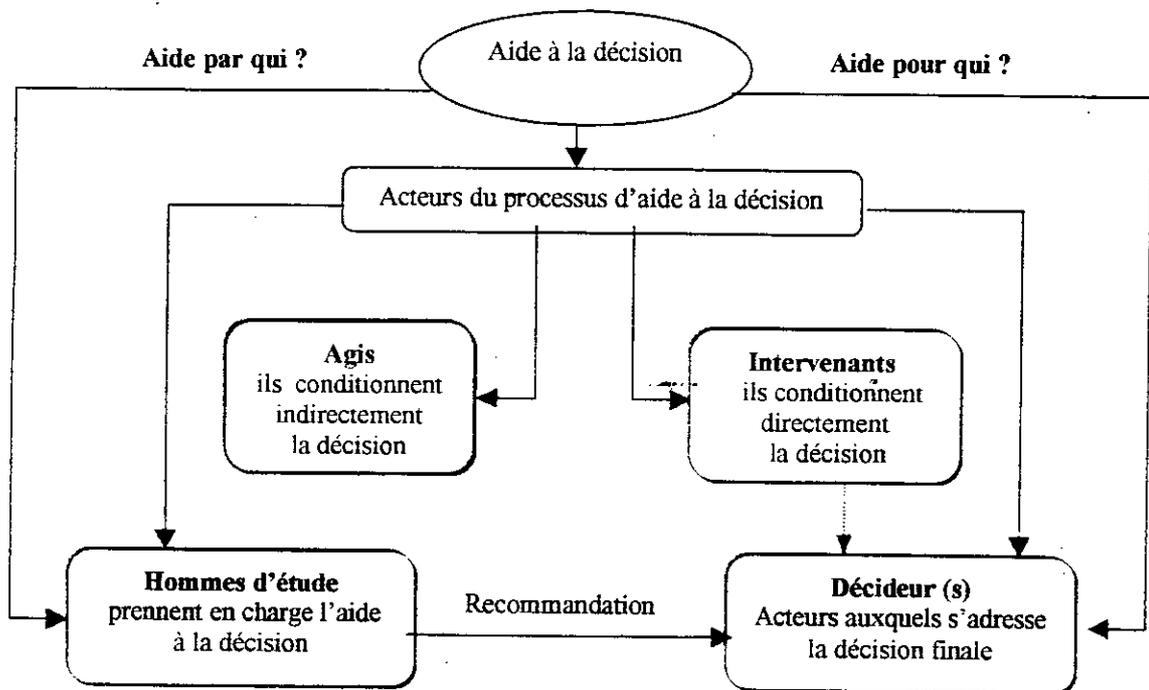


Fig III.1 Différents acteurs du processus décisionnel

### III.2.2 Actions

#### A. Définition d'une action [Bouyssou & Roy, 93]

« C'est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale, eu égard de l'état d'avancement du processus de décision, susceptible d'être envisagée de façon autonome, et de servir de point d'application à l'aide à la décision ».

Donc, les éléments de réponses qu'un décideur attend de l'aide à la décision ont généralement trait aux diverses **actions**, qu'il peut envisager selon l'objectif voulu et la nature du problème traité.

Les actions peuvent être présentées comme étant des projets d'investissement, des sites pour l'implantation d'une usine, des réponses à un appel d'offre, des projets de fin d'études...

Pour la clarté du travail d'aide à la décision, il est utile d'introduire les distinctions suivantes:

- **Actions réelles et Actions fictives** : Les actions réelles sont issues d'un projet complètement élaboré susceptible d'être mis à exécution. Toutefois, il est possible de considérer, dans l'aide à la décision, des actions fictives, qui correspondent à un projet idéalisé, incomplètement élaboré ou encore construit dans l'imagination.

• **Actions réalistes et Actions irréalistes** : Aux actions réalistes correspondant à un projet dont la mise à exécution peut être raisonnablement envisagée s'opposent des actions plus ou moins irréalistes qui peuvent, par exemple, correspondre à la satisfaction d'objectifs incompatibles, tout en constituant un bon support de discussion et de développement pour les différents acteurs du processus de décision.

**B. Actions potentielles [May, 94]**

Ce sont les actions réelles ou fictives jugées provisoirement réalistes par un intervenant au moins, ou présumées telles par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision. L'ensemble des actions potentielles est noté A. Ce dernier peut être :

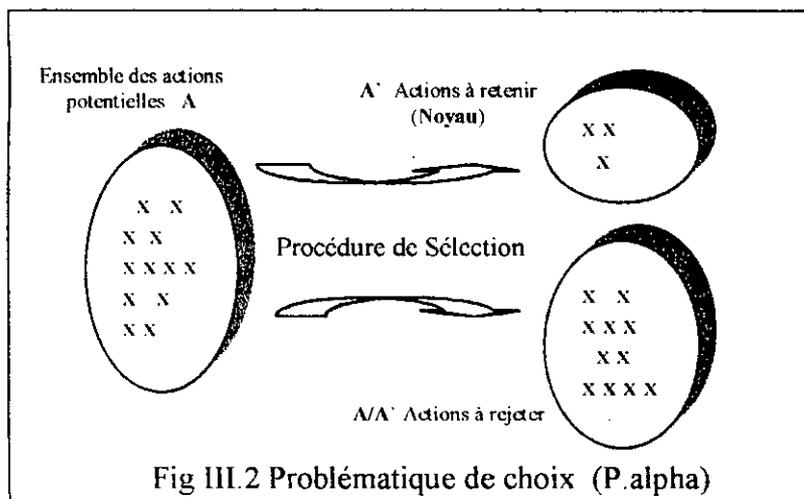
- **Stable** : il est défini a priori et n'est pas susceptible d'être changé en cours de la procédure
- **Evolutif** : il peut être modifié au cours de la procédure, soit à cause des résultats intermédiaires que cette procédure fait apparaître, soit parce que le problème de décision se pose dans un environnement changeant.
- **Globale** : chaque élément de A est exclusif de tout autre.
- **Fragmenté** : les résultats du processus de décision font intervenir des combinaisons de plusieurs éléments de l'ensemble A.

**III.3 Problématique d'aide à la décision [Roy, 85] [Sch, 85]**

L'homme d'étude doit préciser en quels termes il pose le problème. Pour ce faire, il est possible de le situer par rapport à quatre problématiques de référence, qui donnent une typologie des optiques distinctes de formulation d'un problème décisionnel. Trois d'entre elles ont une vocation prescriptive puisqu'elles visent à élaborer des recommandations face aux problèmes de choix (P. alpha), de tri (P. bêta) et de rangement (P. gamma), tandis que la dernière ne se fixe comme but qu'une description du problème (P. sigma):

**III.3.1 Problématique de choix (alpha)**

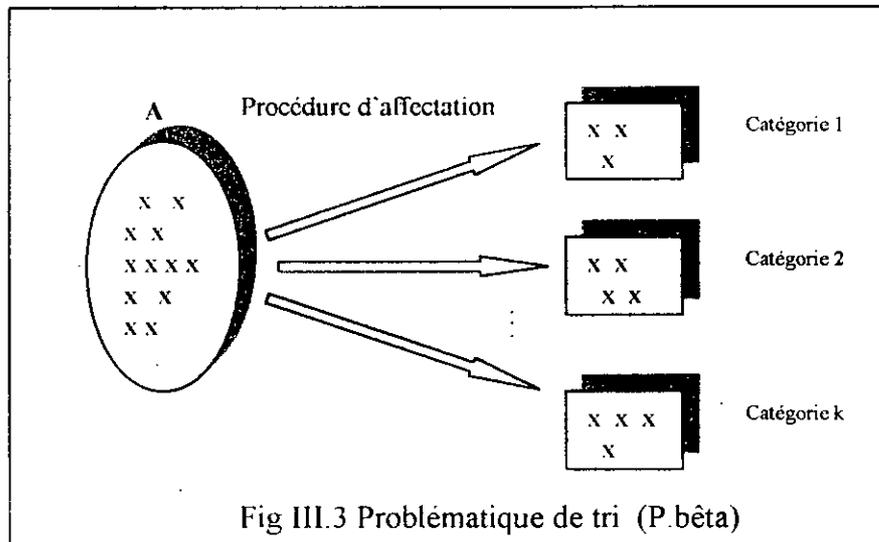
Elle consiste à poser le problème en termes de choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible appelé **noyau**, contenant les meilleures actions, ou à défaut des actions satisfaisantes, en vue d'un choix final d'une seule action. Pour ce faire la problématique (alpha) fait appel à une procédure de sélection [Fig III.2]



**III.3.2 Problématique de tri (bêta)**

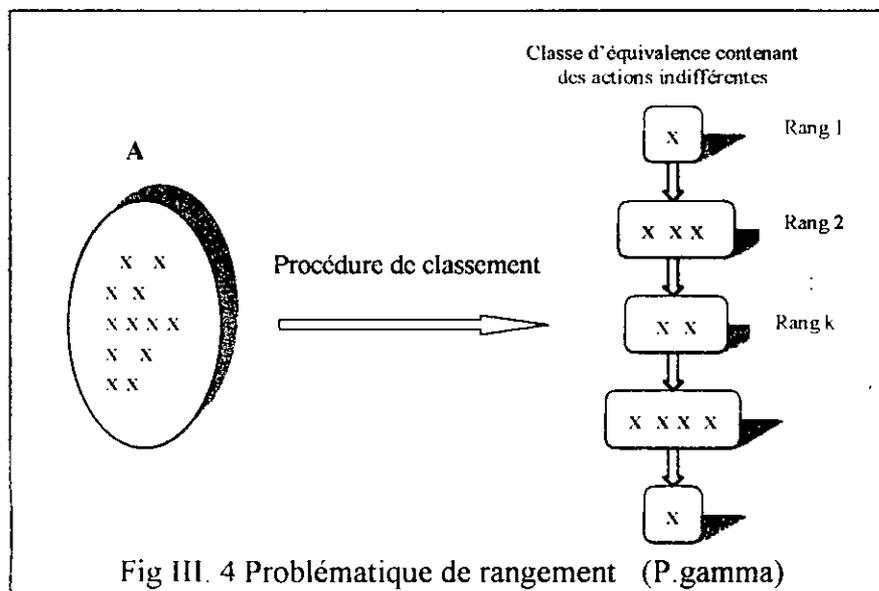
Elle consiste à poser le problème en termes de tri des actions par catégories, celles-ci étant définies préalablement à partir de la valeur intrinsèque des actions qu'elles sont destinées à recevoir. Cette problématique fait appel à une procédure d'affectation [Fig III. 3]

Le plus souvent, dans la pratique, le tri est réalisé en trois catégories: ce qui est accepté immédiatement, ce qui est rejeté immédiatement, et ce qui est mis en suspens, ou renvoyé pour complément d'information. C'est ce qu'on appelle **la trichotomie**.



**III.3.3 Problématique de rangement (gamma)**

Elle consiste à poser le problème en termes de rangement des actions, ou de certaines d'entre elles, en les regroupant en classes d'équivalence ordonnées conformément aux préférences du décideur. Pour ce faire, cette problématique fait appel à une procédure de classement [Fig III. 4].



### III.3.4 Problématique de description (sigma)

Elle consiste à poser le problème en termes limités à une description des actions et /ou de leurs conséquences, c'est à dire à orienter l'investigation vers la mise en évidence d'informations relatives aux actions potentielles, dans un langage approprié, pour permettre au décideur de les découvrir et de les comprendre.

## III.4 Démarche multicritère d'aide à la décision [Vin, 89] [May, 94]

L'aide multicritère à la décision fait partie du domaine de l'aide à la décision. Elle consiste à fournir au décideur des outils lui permettant de contribuer et de progresser dans la résolution d'un problème de décision, en tenant compte de différents points de vue souvent contradictoires et qui sont exprimés donc par des critères conflictuels. Par conséquent, les méthodes d'aide multicritère à la décision n'ont pas pour objectif la détermination de solutions optimales satisfaisant tous les critères simultanément (Ces solutions n'existent pas), mais elles permettent d'approcher le problème de façon réaliste en cernant toutes ses facettes.

C'est dans cette optique qu'une recommandation est élaborée, afin de fournir des éléments de réponses au décideur, nécessaires pour une meilleure perception du problème et un meilleur jugement de la situation. Dans ce contexte, le mot **aide** prend toute son importance.

**Remarque** Ainsi définie, l'aide multicritère à la décision vient s'opposer aux méthodes classiques d'optimisation, qui ont pour but la recherche de vérités objectives et particulièrement la connaissance de la meilleure décision (décision optimale) dans un contexte donné, en se basant sur des modèles mathématiques présentés comme des simplifications de la réalité. Donc, l'aide à la décision repose sur le principe de : « L'adéquation des méthodes à la réalité, plutôt que la réduction de la réalité aux méthodes mathématiques existantes. » [Sch. 85]

Un problème d'aide multicritère à la décision peut être abordé en adoptant la démarche suivante:

#### 1) Elaboration du modèle

Pour modéliser un problème multicritère, il faut :

- Définir l'objet de la décision puis situer le problème par rapport aux problématiques de référence (choix, tri, rangement).
- Déterminer l'ensemble des solutions envisageables (actions potentielles) pouvant constituer l'objet de la décision.
- Analyser les conséquences des actions afin d'élaborer des critères représentatifs et qui correspondent aux objectifs de la décision.
- Juger et évaluer les performances des actions par rapport à chaque critère.

## 2) Choix d'une méthode d'analyse multicritère

Après l'évaluation des performances des actions potentielles selon chaque critère, il est nécessaire d'effectuer une synthèse de ces jugements, pour pouvoir construire une structure de préférence globale qui sera exploitée selon le type de problématique abordée (choix, tri, rangement). Cela se fera à l'aide d'une méthode d'agrégation multicritère dont le choix dépendra des données et des objectifs préétablis.

## 3) Application de la méthode et interprétation des résultats

Il s'agit d'appliquer la méthode multicritère choisie après avoir déterminé ses différents paramètres puis interpréter le résultat obtenu selon la problématique retenue.

## 4) Elaboration de la recommandation

Il s'agit d'exploiter le résultat afin de donner une recommandation au décideur qui constitue un support pour la prise de décision finale.

Dans le but d'élaborer une recommandation synthétique et robuste, Il est opportun de faire une analyse de sensibilité des paramètres de la méthode multicritère appliquée visant à tester la stabilité du résultat obtenu.

## III.5 Structure de préférence dans les problèmes d'aide multicritère à la décision [Bouyssou & Roy, 93] [And, 95]

Les problèmes d'aide multicritère à la décision visent à établir une structure de préférence globale (système relationnel de préférence) sur l'ensemble des actions potentielles, synthétisant tous les critères, à partir d'une structure de préférence partielle établie par rapport à chaque critère.

La structure de préférence est obtenue par une comparaison des performances des actions, ce qui permet d'établir des relations binaires de préférence, dont on distingue les quatre relations fondamentales suivantes :

### A. Préférence stricte (P)

Elle correspond à l'existence de raisons claires qui justifient une préférence significative en faveur de l'une des deux actions.

### B. Indifférence (I)

Elle correspond à l'existence de raisons claires qui justifient une équivalence entre les deux actions.

### C. Préférence faible (Q)

Elle correspond à l'existence de raisons claires qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une des actions, mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre, soit une indifférence entre ces deux actions. Donc, ces raisons ne permettent pas de trancher entre les deux situations précédentes. ( ce type de relation prend sens en cas d'utilisation de pseudo-critères [Voir § III.8.3] )

### D. Incomparabilité (R)

Elle correspond à l'absence de raisons claires justifiant l'une des trois situations précédentes.

Il est à noter que cette relation, contrairement aux relations précédentes ne peut exister lorsque deux actions sont comparées selon un seul critère. Cependant, elle prend tout son sens dans un contexte multicritère puisqu'elle permet de montrer l'incapacité de se prononcer sur la comparaison de deux actions potentielles en raison d'informations trop contradictoires apportées par des critères conflictuels.

Il est possible de construire à partir des relations définies ci-dessus, les relations de préférence suivantes :

#### **E. Relation de non - préférence**

Elle correspond au regroupement de l'indifférence et de l'incomparabilité entre deux actions

Elle est notée

$$(a \sim b) \Leftrightarrow (aIb \text{ ou } aRb)$$

#### **F. Relation de préférence au sens large**

Elle correspond au regroupement de la préférence stricte et de la préférence faible entre deux actions

Elle est notée :

$$(a > b) \Leftrightarrow (aPb \text{ ou } aQb)$$

#### **G. Relation de surclassement**

Cette relation englobe les relations d'indifférence, de préférence faible et de préférence stricte :

Elle est notée:

$$(aSb) \Leftrightarrow (aIb \text{ ou } aQb \text{ ou } aPb)$$

La relation de surclassement entre deux actions a et b traduit l'hypothèse que « a est au moins aussi bonne que b ». C'est la relation la plus utilisée pour exprimer les préférences dans les problèmes d'aide multicritère à la décision

Parmi les structures de préférence globale (ou système relationnel de préférence ) construites à partir des relations précédentes, nous pouvons définir:

##### **a. L'ordre total (complet)**

Si les relations binaires liant toutes les actions potentielles sont de préférence faible ou stricte (préférence large), on dit qu'elles forment une structure d'ordre complet sur l'ensemble A. Ceci correspond à un classement des actions sans ex-aequo.

##### **b. Le préordre total (complet)**

Il correspond à un classement des actions avec ex-aequo et il est conçu à partir des relations de préférence (P,Q) et d'indifférence (I). Cependant, il exclut toute Incomparabilité entre les actions.

##### **c. Le préordre partiel**

Il est plus général que le précédent, puisqu'il admet l'incomparabilité (R) entre deux actions. La création de ce type de système relationnel de préférence nécessite l'utilisation de plusieurs critères.

### III.6 Critères d'évaluations

Pour pouvoir constituer un système de référence fondamental apte à représenter les préférences globales dans les problèmes d'aide à la décision. Il est utile de construire une famille de critères qui puisse cerner les différents points de vue des intervenants, aussi conflictuels qu'ils puissent être.

Pour ce faire, l'homme d'étude doit analyser, en étroite collaboration avec le décideur, les conséquences que la réalisation de telle ou telle action pourrait avoir. Ces conséquences qui peuvent être fort diverses sont modélisées, donc simplifiées, par le biais d'un ensemble de plusieurs dimensions, ensemble qui doit à la fois représenter au mieux les conséquences et être suffisamment opérationnel pour permettre le choix des critères.

Afin de définir un critère, il est utile de présenter les notions suivantes [Bouyssou & Roy, 93] :

- a. **Point de vue** : On appelle point de vue ou axe de signification d'un critère tout élément pouvant servir à caractériser l'ensemble des actions potentielles, et susceptible d'intervenir dans la détermination des préférences entre elles, en fonction des objectifs préétablis.
- b. **Dimension** : Elle représente un aspect bien identifié des conséquences entraînées par la mise à exécution de chacune des actions. Cet aspect peut être monétaire, temporel, spatial...

#### III.6.1 Définition [Bouyssou & Roy 93]

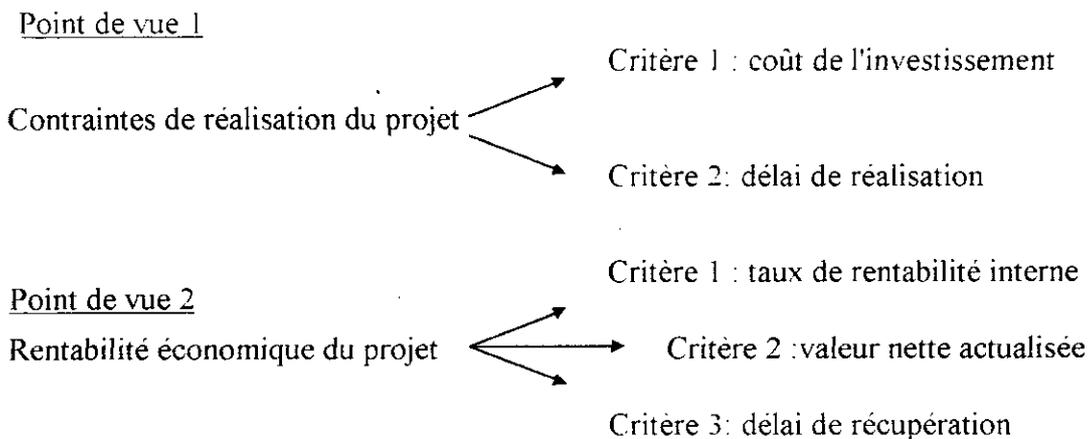
« Le critère vise à résumer à l'aide d'une fonction, les évaluations d'une action sur diverses dimensions, pouvant se rattacher à un même axe de signification. »

#### Notation

- Le critère est représenté par une fonction  $g_j$ . Nous le noterons  $j$  dans le reste du document pour des raisons de commodité.
- L'évaluation de l'action  $a_i$  selon le critère  $g_j$  est notée  $g_j(a_i)$ .

#### Exemple

Dans un problème de choix d'investissement, on peut considérer les points de vue associés aux critères suivant :



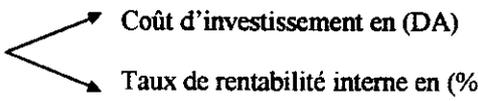
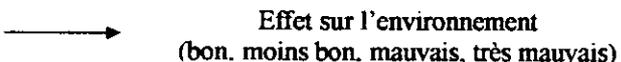
### II.6.2 Echelle d'un critère [Sch, 85]

L'appréciation des actions selon un critère donné sur un axe de signification, conduit à l'établissement de deux échelles : **échelle d'état** et **échelle de préférence**.

#### 1) Echelle d'état

Elle représente les unités des évaluations de chaque action par rapport à chaque critère. Elle peut être associée à des appréciations quantitatives ou qualitatives.

Par exemple, dans un problème de choix d'investissement, nous pouvons avoir des :

- Appréciations quantitatives 
  - Coût d'investissement en (DA)
  - Taux de rentabilité interne en (%)
- Appréciations quantitatives 
  - Effet sur l'environnement  
(bon, moins bon, mauvais, très mauvais)

#### 2) Echelle de préférence

Elle représente les évaluations de la première échelle dans un système muni d'une structure d'ordre propre au décideur, et qui correspond au sens de préférence (croissant, décroissant) des actions selon l'objectif recherché par rapport à ce critère.

**Exemple** Si nous considérons le critère Coût et si l'objectif recherché est de minimiser le coût, nous aurons un sens de préférence décroissant. Alors, l'échelle de préférence doit représenter le fait qu'une évaluation minimale correspond à une action prioritaire.

**Remarque** L'échelle d'état peut être prise comme une échelle de préférence.

### III.6.3 Poids des critères

Pour prendre en considération le fait qu'un critère peut être plus, ou moins important qu'un autre, on lui associe un coefficient de pondération appelé « poids ». L'attribution de poids aux critères est une opération délicate puisqu'elle doit exprimer les préférences du décideur entre les critères. Pour ce faire, la méthode la plus utilisée est la Pondération directe où le décideur exprime sa préférence par des poids qui sont directement utilisables, ou bien il est possible également d'utiliser la méthode de pondération indirecte [Sim, 1990] ou la méthode par comparaison d'actions fictives [Mou, 1993].

### III.6.4 Famille cohérente de critères [May, 94]

La marge de liberté de l'homme d'étude lors de l'élaboration des critères, est restreinte par quelques exigences logiques d'exhaustivité, de cohérence et de non-redondance. Toute famille conforme à ces trois exigences est dite **famille cohérente de critères** :

#### A. Exhaustivité

Il ne faut pas qu'il y ait trop peu de critères afin de pouvoir affirmer que si deux actions sont indifférentes selon chaque critère, alors elles le seront au niveau global. Ceci se traduit par :

(Si  $g_j(a_i) = g_j(a_k), \forall j \in F \Rightarrow$  l'affirmation «  $a_i$  indifférente à  $a_k$  doit être émise)

Dans le cas contraire, cela voudra dire que certains éléments d'appréciation n'ont pas été pris en compte dans la famille des critères.

**B. Cohérence**

Cette exigence veut qu'il y ait une cohérence entre les préférences locales de chaque critère et les préférences globales. C'est à dire que si l'évaluation d'une action  $a_i$  est égale à celle de l'action  $a_k$  pour tous les critères sauf un et qu'elle est meilleure pour celui-ci, alors l'affirmation «  $a_i$  surclasse  $a_k$  » peut être émise. Ceci se traduit par :

$$(Si [g_j(a_i) = g_j(a_k), \forall j \in F, j \neq l \text{ et } g_l(a_i) > g_l(a_k)] \Rightarrow a_i \text{ surclasse } a_k)$$

**C. Non-redondance**

Il ne faut pas qu'il y ait des critères qui se dupliquent, donc plus nombreux que nécessaire, il faut que la suppression de l'un des critères est susceptible de mettre en défaut l'une des conditions précédentes.

**III.7 Tableau des évaluations**

Après la détermination d'une famille cohérente de critères, l'homme d'étude procède à l'évaluation des performances de chaque action  $a_i$  selon le critère  $j$ . les évaluations  $g_j(a_i)$  sont inscrites sous forme d'un tableau dont les lignes représentent les actions, et les colonnes représentent les critères. [voir Fig III.5]

L'évaluation peut être sous trois formes:

- Evaluation quantitative : permet de mesurer le résultat de l'action le long de l'échelle métrique, par exemple : bénéfice, coût...
- Evaluation qualitative : affecte l'action à une classe de résultats, ces derniers peuvent être repérer le long d'une échelle d'appréciation allant de « très mauvais » à « très bon ».
- Evaluation ordinale : elle fournit le rang de classement de chaque action sur le critère considéré.

**Remarque** les appréciations qualitatives seront transformées en évaluations quantitatives ou ordinales dans le tableau d'évaluation. pour pouvoir effectuer les comparaisons. et ainsi déterminer les préférences entre les différentes actions.

actions	Critères					
	$g_1$	$g_2$		$g_j$		$g_n$
$a_1$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$		$g_j(a_1)$		$g_n(a_1)$
$a_2$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$		$g_j(a_2)$		$g_n(a_2)$
$a_i$	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$		$g_j(a_i)$		$g_n(a_i)$
$a_p$	$g_1(a_p)$	$g_2(a_p)$		$g_j(a_p)$		$g_n(a_p)$

Fig III.5 Tableau des évaluations

### III.8 Modélisation des préférences dans les problèmes multicritères [Bouyssou & Roy, 93]

Les relations binaires de surclassement entre les actions potentielles qui servent à établir la structure de préférence **partielle**, sont déterminées en effectuant la comparaison entre leurs évaluations par rapport à chaque critère. Pour ce faire, il est possible d'adopter les modèles suivants :

#### III.8.1 Modèle du vrai critère

C'est le modèle le plus classique, où il revient à supposer que, pour tout couple d'actions  $a, b$  :

$$(g_j(a) > g_j(b)) \Leftrightarrow (aP_jb)$$

$$(g_j(a) = g_j(b)) \Leftrightarrow (aI_jb)$$

#### III.8.2 Modèle du quasi-critère

Dans le modèle précédent, toute différence, aussi petite soit-elle, est révélatrice d'une situation de préférence stricte (P), or les évaluations  $g_j(a)$ , et  $g_j(b)$  sont souvent entachées d'imprécision, surtout dans les cas des critères qualitatifs. Par ce fait, il est souvent raisonnable de considérer que de petits écarts  $g_j(a) - g_j(b)$  traduisent également une indifférence entre  $a$  et  $b$ , cela est permis dans le modèle du quasi-critère où il revient à considérer que pour tout couple d'actions  $a, b$  :

$$(g_j(a) - g_j(b) > q_j) \Leftrightarrow (aP_jb)$$

$$(g_j(a) - g_j(b) < q_j) \Leftrightarrow (aI_jb)$$

$q_j$  est un **seuil d'indifférence** représentant le plus grand écart compatible avec une situation d'indifférence par rapport au critère  $j$ .

#### III.8.3 Modèle pseudo-critères

Dans le modèle du quasi-critère, tout écart légèrement supérieur au seuil d'indifférence révèle une situation de préférence stricte. Alors, pour éviter un passage brutal de l'indifférence à la préférence stricte, le modèle du pseudo-critère introduit un **seuil de préférence** qui représente le plus grand écart à partir duquel la préférence stricte est affirmée, cependant la notion de **préférence faible** (Q) est introduite dans ce modèle, elle traduit une hésitation entre la préférence stricte et l'indifférence :

$$(g_j(a) - g_j(b) < q_j) \Leftrightarrow (aI_jb)$$

$$(q_j < g_j(a) - g_j(b) < p_j) \Leftrightarrow (aQ_jb)$$

$$(g_j(a) - g_j(b) > p_j) \Leftrightarrow (aP_jb)$$

### III.8.4 Détermination des seuils d'indifférence et de préférence

Les seuils ne sont pas des grandeurs expérimentales dont il faut rechercher la valeur exacte, mais ce sont des grandeurs d'opportunité qu'il est commode d'introduire pour refléter ce qu'il y a d'approximatif et d'arbitraire dans les données. Leur choix relève d'une appréciation subjective basée sur l'écart des évaluations des actions, et qui recèle une part inévitable d'arbitraire.

Ils peuvent être définis comme une constante par rapport à chaque critère, ou bien par une fonction linéaire de l'évaluation de l'action considérée :  $P(g(a)) = \alpha + \beta g(a)$ .

Quand ce seuil est une évaluation de l'action la moins préférée du couple d'actions (respectivement la plus préférée du couple), on dit qu'il est défini en **mode direct** (respectivement **mode inverse**), et il est nommé donc, **seuil direct** (respectivement **seuil inverse**).

### III.8.5 Notion de concordance et de discordance [May, 94]

- **Concordance** : Si l'hypothèse de surclassement « a surclasse b » a été émise, il est dit du critère j qu'il concorde avec l'hypothèse si l'action a est au moins aussi bonne que l'action b en ce qui concerne le critère j. Ceci se traduit par :  $g_j(a) \geq g_j(b)$
- **Discordance** : La notion de discordance permet de refuser une hypothèse de surclassement, obtenue après application de la condition de concordance, lorsqu'il existe une opposition trop forte sur un critère au moins.

## III.9 Problème de l'agrégation [Sch, 85] [Bouyssou & Roy, 93] [And, 95]

Après la détermination des performances des actions dans une échelle de préférence par rapport à chaque critère appelée échelle de préférence partielle (locale), il convient de bâtir une structure de préférence globale, qui prend en considération l'ensemble des critères définis, à travers une procédure d'agrégation multicritère (PAMC) adéquate dont le choix dépend de la complexité du problème, de la possibilité de déterminer les paramètres, et du degré d'homogénéité des critères.

### III.9.1 Approches opérationnelles d'agrégation

Il existe trois approches opérationnelles qui permettent de résoudre le problème de l'agrégation :

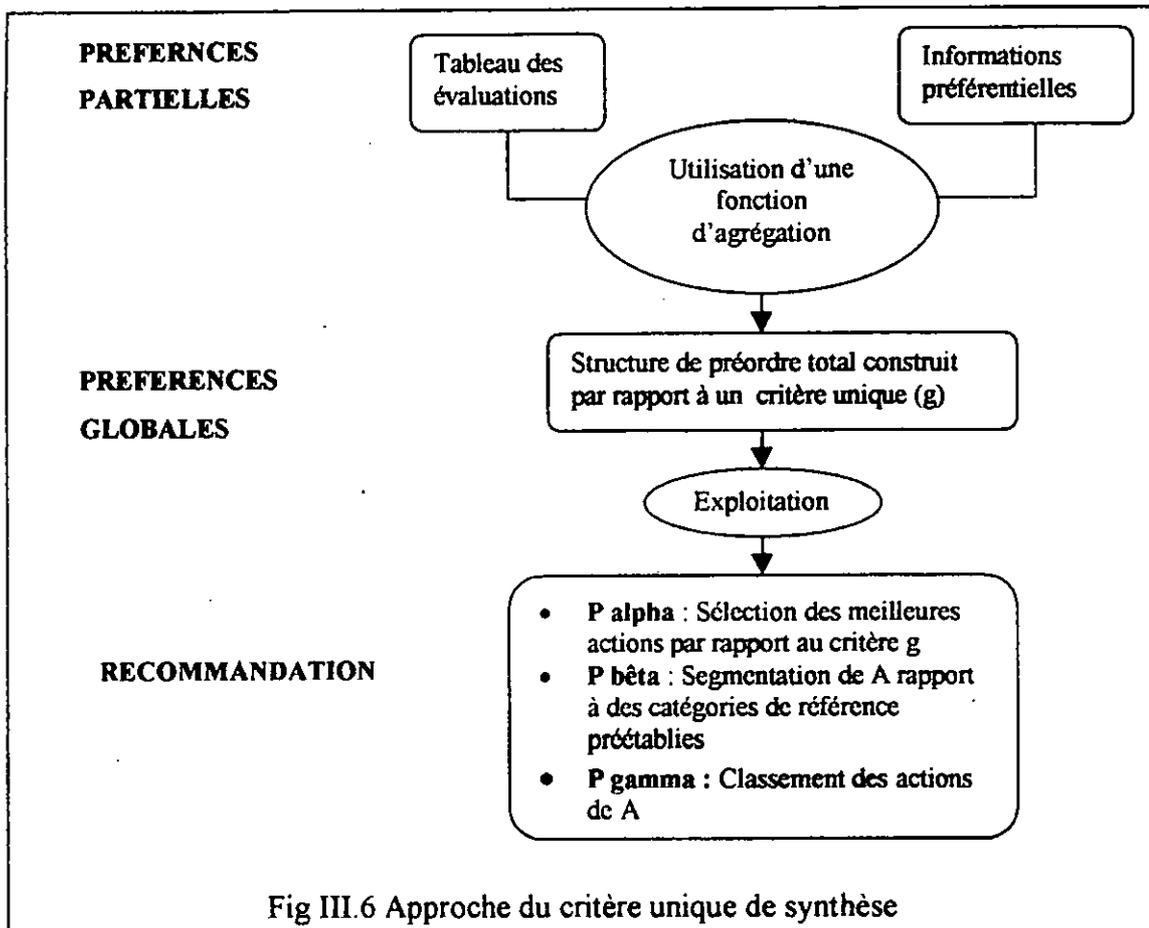
- Approche du critère unique de synthèse
- Approche du surclassement de synthèse
- Approche du jugement local et interactif

#### A. Approche du critère unique de synthèse

Elle consiste à considérer un critère unique de synthèse (g), regroupant tous les critères, à l'aide d'une **fonction d'agrégation** (U). Celle-ci permet de valoriser les performances des actions sur un axe unique, afin d'établir un système relationnel de préférence globale. Ce dernier représente une structure de préordre total sur l'ensemble des actions potentielles [Voir § III.6-a] conduisant à évacuer toute incomparabilité entre les

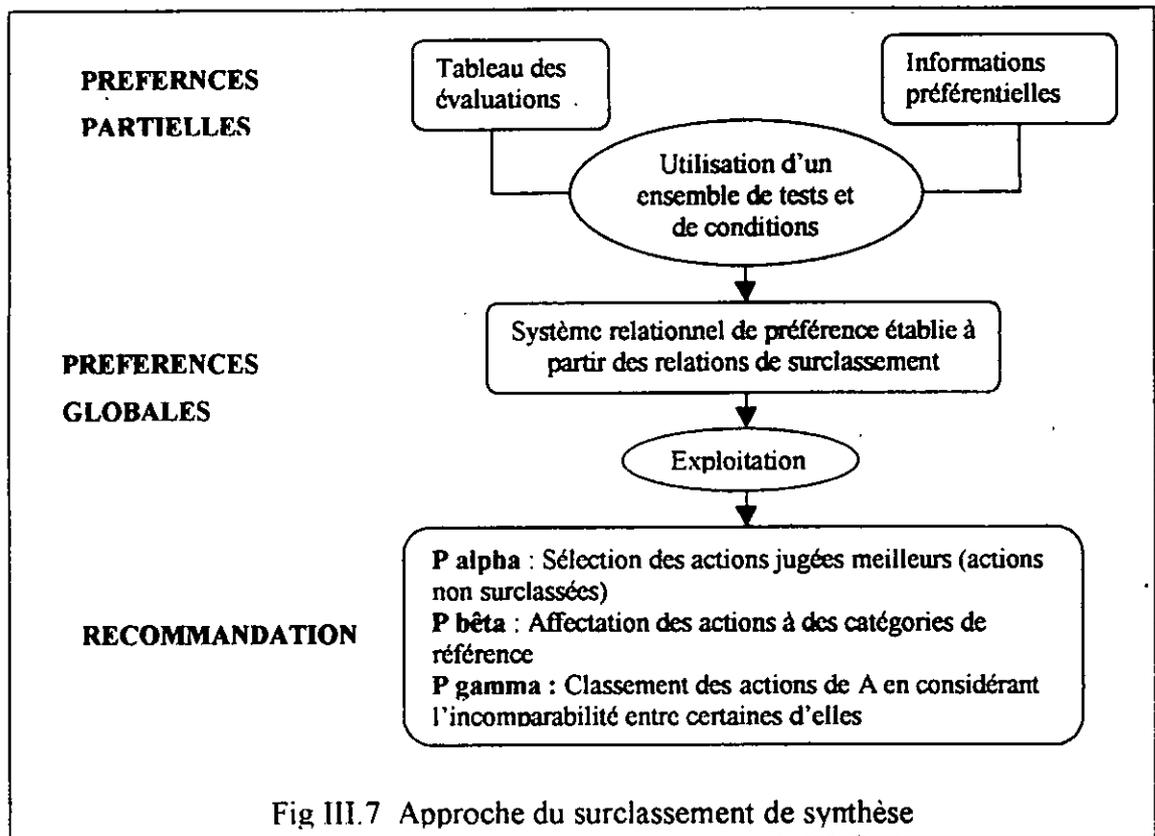
actions, et à considérer leurs transitivité<sup>1</sup>, d'où la dénomination « Agrégation totale transitive ». Cette structure sera exploitée afin de donner une recommandation au décideur selon l'objectif du problème d'aide à la décision (voir figure).

La fonction d'agrégation  $U$  vérifie donc :  $g = U(g_1, g_2, \dots, g_m)$  tel que  $g_1, g_2, \dots, g_m$  représentent les différents critères. Elle peut être additive, multiplicative ou autre. [Voir Fig III.6]



### B. Approche du surclassement de synthèse

Elle consiste à établir à partir des relations binaires de préférence partielle (surclassement) par rapport à chaque critère, un ensemble de tests et conditions, conduisant à accepter ou rejeter un surclassement entre les actions au niveau global. Cela aboutit à construire un système relationnel de préférence acceptant l'incomparabilité et n'ayant pas nécessairement des propriétés de transitivité, d'où la dénomination « Agrégation partielle intransitive ». [Voir Fig III.7]



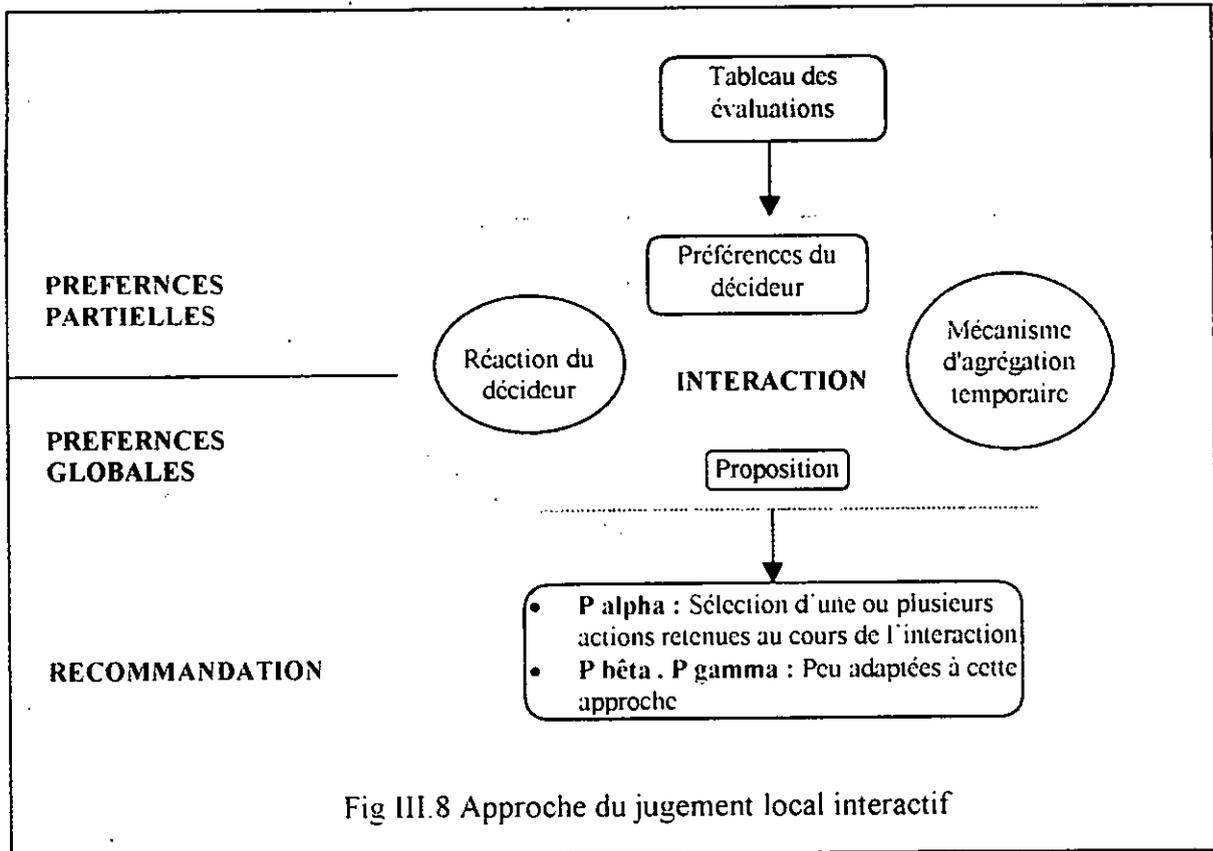
### C. Approche du jugement local interactif

Elle est différente des deux approches précédentes dans le sens où elle n'explique pas une règle d'agrégation qui exprime les préférences globales sur l'ensemble des actions potentielles, par ailleurs, elle repose sur un protocole d'interaction entre l'homme d'étude et l'organisme de décision, qui régit un enchaînement d'étapes de dialogue et de calcul. Durant chaque phase de dialogue, le décideur communique des informations sur ses préférences, à partir desquelles la phase de calcul génère une nouvelle solution potentiellement meilleure. Ces interactions permettent au décideur de parcourir une partie de l'ensemble des actions potentielles, et ainsi de suite, jusqu'à aboutir à une solution satisfaisante.

En effet, toute méthode d'aide multicritère à la décision implique un dialogue avec le décideur, ne serait ce que pour définir l'ensemble des actions potentielles, et l'ensemble des critères. Cependant, pour qu'elle fasse partie des méthodes interactives, il est nécessaire que le décideur contribue directement à la construction de la solution en intervenant au cours de la recherche, et pas seulement dans la définition du problème. Ainsi, le succès des méthodes interactives réside dans la volonté du décideur à s'engager dans un dialogue pouvant être parfois long et difficile.

Dans la plus part des méthodes interactives, l'étape de calcul utilise localement une fonction d'agrégation appelée **fonction d'agrégation temporaire**, aboutissant une solution qui sera changée et affinée au cours du processus d'interaction.

On peut citer comme exemple des fonctions temporaires simples et économiques en termes de calcul: La somme pondérée des évaluations de l'action. L'interaction vient corriger le caractère parfois superficiel d'une telle agrégation [Voir Fig III.8]



### III.9.2 Choix d'une approche d'agrégation

#### A. L'approche d'agrégation totale

L'emploi d'une approche basée sur un critère unique de synthèse, se justifie pertinemment dans le cas où les performances des actions sont définies et peuvent être évaluées sans trop d'arbitraire sur une échelle commune à tous les critères, puisque ceci rend simple l'élaboration d'une fonction d'agrégation. Cependant, cet emploi se complique avec l'augmentation de l'incertitude dans les évaluations, due notamment à l'introduction des critères subjectifs, ou aussi en cas d'hétérogénéité des critères employés, où il faut définir des taux de substitution servant à transformer les évaluations des actions en une échelle commune pour pouvoir les ramener à un axe unique exprimant les préférences globales.

### B. L'approche d'agrégation partielle

Cette approche présente de nombreux avantages tels que l'introduction de la relation d'incomparabilité entre deux actions, qui est très représentative dans une analyse multicritère. Le recours à une telle approche se justifie dans les cas suivant:

- Si parmi les critères, il existe au moins un dont les performances prennent leurs valeurs dans une échelle « faussement quantitative » qui ne se prête pas bien à la comparaison d'écart de préférences, ceci correspond aux critères qualitatifs et subjectifs.
- Il existe une forte hétérogénéité dans les échelles de préférences élaborées.
- La compensation d'une perte de performance sur un critère donné par un gain sur un autre critère s'opère de façon complexe. Donc, cela ne permet pas de définir des **taux de substitution** permettant d'homogénéiser les critères. [Bouyssou & Roy, 93]
- Il paraît souhaitable de considérer des pseudo-critères [Voir § III.9.3] et de tenir compte des seuils de préférence et d'indifférence qui leurs sont associés, pour obtenir les préférences globales.

En revanche, les méthodes d'agrégation partielle peuvent être difficilement compréhensibles par le décideur, en plus des difficultés de l'interprétation des résultats dus à l'exploitation de la relation d'incomparabilité entre les actions.

### C. L'approche d'agrégation locale interactive

Les récents progrès du matériel informatiques et du génie logiciel, ainsi que l'émergence du concept de système interactif d'aide à la décision (SIAD) font que les méthodes interactives prennent une dimension importante en permettant une interaction (dialogue) rapide et efficace entre l'interrogé et l'interrogateur par le biais de l'outil informatique. Or ces méthodes structurent le dialogue autour de propositions faites à l'interrogé et qui sont conçues de manière locale, c'est à dire bâties sur la base d'un sous-ensemble restreint d'actions potentielles afin de faciliter le dialogue. Cependant, cette façon de faire ne trouve sa pleine application que dans le cas où le nombre d'actions est suffisamment élevé.

A la différence des deux approches précédentes, où la recommandation peut représenter un choix, un tri, un rangement selon le type de problématique adoptée, le caractère **local** de l'approche interactive rend très difficile de synthétiser les affectations ou les rangements sur les divers **sous-ensembles** d'actions potentielles. Par ce fait, les méthodes interactives sont développées le plus souvent pour résoudre les problèmes de choix.

Ainsi, le recours à l'approche interactive se justifie dans le cas où le problème est posé en termes de choix, avec un nombre d'actions potentielles élevé.

Les principales méthodes multicritères correspondant aux différentes approches d'agrégation sont représentées par la figure suivante :

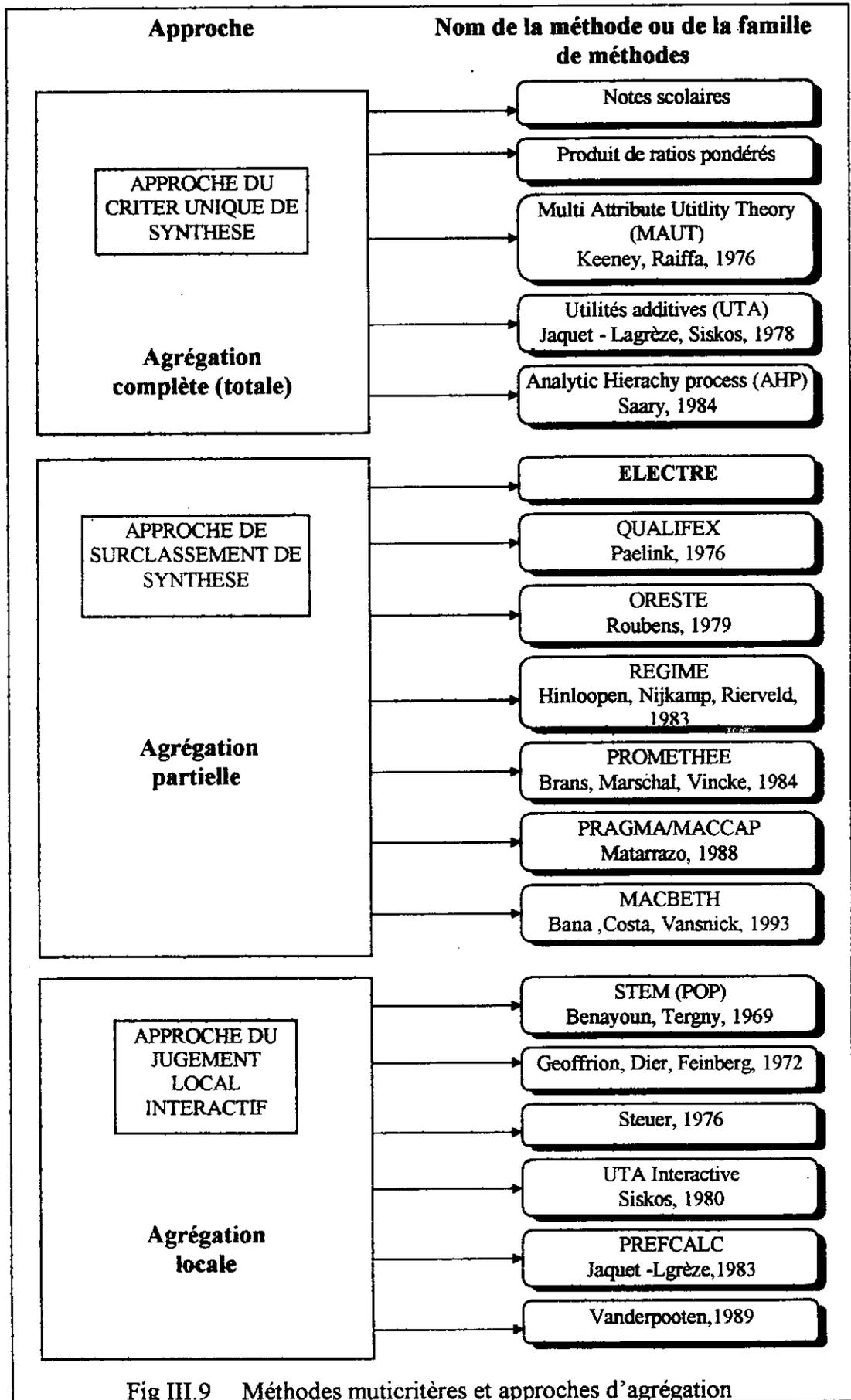


Fig III.9 Méthodes multicritères et approches d'agrégation

# *CHAPITRE IV*

*Modélisation du  
problème*

# **CHAPITRE IV**

## **MODELISATION DU PROBLEME**

### **Introduction**

Afin de résoudre le problème qui nous a été posé, nous allons adopter une démarche multicritère d'aide à la décision telle que nous l'avons décrite au [§ III.4]. Pour ce faire, nous allons commencer dans ce chapitre, par présenter la première phase de cette démarche qui consiste en l'élaboration du modèle, tout en explicitant ses différentes étapes.

### **IV.1 Définition de l'objet de la décision et choix de la problématique**

#### **IV.1.1 Objet de la décision**

Le grand nombre d'ouvrages de transport électrique HT et THT (lignes, postes), décidés dans le plan de développement MT [voir Tableau. 1], fait que leur réalisation requiert des besoins de financement très importants. Or, l'insuffisance des ressources financières disponibles rend impossible la réalisation de tous les ouvrages, d'où la nécessité de prendre une décision visant à distinguer parmi les projets (ouvrages) décidés dans ce plan, ceux qui sont prioritaires et dont les chantiers seront ouverts dans le moyen terme, et ceux qui ne le sont pas et qui peuvent être décalés sur d'autres plans de développement. Cela s'effectuera en se basant sur plusieurs critères techniques et économiques.

**Tableau 1:** Nombre d'ouvrages par région décidés dans le plan MT

	Lignes électriques	postes
Nord	19	06
Sud	17	15
Est	15	09
Ouest	10	04
TOTAL	61	34

Source : Plan d'équipement 1999-2004 (N° 439/ D.E.E. 99) - SONELGAZ

Dans le but de réduire le grand nombre de projets à traiter dans notre étude, il nous a été demandé de considérer les ouvrages de la région Est uniquement [Voir ANNEXE 3], étant donné que le réseau Est nécessite un renforcement considérable à cause de l'important accroissement de la demande en énergie électrique, dû notamment au développement industriel de la région.

### IV.1.2. Choix de la problématique

Parmi les problématiques de référence d'aide à la décision citées au [§ III.3], il est adéquat, dans le contexte décisionnel que nous venons de définir, d'adopter une problématique de rangement afin de classer et départager les différents ouvrages électriques de transport, montrant ainsi leur ordre de priorité selon les critères techniques et économiques.

## IV.2 Définition de l'ensemble des actions potentielles

Les actions potentielles retenues pour cette étude représentent les différents ouvrages électriques de transport HT et THT de la région Est, décidés dans le plan de développement MT. Ces ouvrages sont le résultat d'une sélection rigoureuse faisant partie d'un processus de planification présentée dans le Chapitre I. Donc, cet ensemble d'ouvrages ne doit être en aucune façon modifié au cours de l'étude.

Le fonctionnement d'une ligne électrique dépend du fonctionnement du poste auquel elle est raccordée. Donc, la mise en service d'une nouvelle ligne est conditionnée par celle de son poste. Toutefois, si ce dernier ne peut être réalisé à temps pour répondre à cette exigence, il est possible d'adopter des solutions **provisoires** en installant des injecteurs, des cabines mobiles [Voir ANNEXE 2] ou autres, afin de pallier ce problème.

Il nous est donc possible de distinguer trois types de projets qui correspondent à la réalisation de nouveaux postes et lignes électriques décidés dans le plan de développement moyen terme :

- Type 1 : Réalisation d'une nouvelle ligne qui sera raccordée à un poste existant ;
- Type 2 : Réalisation d'une nouvelle ligne qui sera raccordée à un nouveau poste ;
- Type 3 : Réalisation d'un nouveau poste qui vient remplacer un injecteur ou une cabine mobile (solution provisoire) où, limiter les surcharges des autres postes.

Afin de tenir compte dans notre étude de ces trois types de projets, nous allons considérer deux ensembles d'actions potentielles, A et B, tels que :

- A représente l'ensemble des lignes électriques très haute tension (220 Kvolts) et haute tension (60 Kvolts).
- B représente l'ensemble des postes de transformation THT/HT (220/60 Kvolts) et HT/MT (60/30 ou 60/10 Kvolts).

Ensuite, nous allons procéder au classement des lignes et des postes indépendamment, en veillant à conserver la cohérence dans l'évaluation de leurs performances par rapport aux critères techniques.

On note :

$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{15}\}$  où l'action  $a_i$  correspond à la ligne (i)

$B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_9\}$  où l'action  $b_j$  correspond au poste (j)

Chacun de ces deux ensembles est considéré stable et global [ Voir § III.2.2] puisque :

- Les actions sont définies a priori et ne sont pas susceptibles d'être changées au cours de la procédure
- La réalisation de chaque action est exclusive de celle de toutes les autres.

**Tableau 2** : Ensemble des actions a<sub>i</sub> ( Lignes électriques HT et THT )

	Nom de la ligne	Tension (Kvolts)	Longueur (km)	Section (mm <sup>2</sup> )	Puissance nominale (MVA)	Type de projets
Action a <sub>1</sub>	Prolongement vers Darguinah (poste) de Jijel –Dargunah	220	5	1x411 (S.T)	250	Type 1
Action a <sub>2</sub>	Ain Beida - Tamelouka	60	50	1x288 (S.T)	60	Type 1
Action a <sub>3</sub>	Coupure de Hamma Bouziane - R.Djamel (ancien) vers R.Djamel (nouveau)	60	2x10	1x288 (D.T)	60	Type 1
Action a <sub>4</sub>	El Milia - Jijel	60	40	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>5</sub>	El Hadjar - Djendouba	220	80	1x411 (S.T)	450	Type 1
Action a <sub>6</sub>	Prolongement de la ligne Biskra – S.Okba jusqu'à Z.Ahmed	60	70	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>7</sub>	Coupure à Didouche Mourad de Mensouriah – H. Bouziane	60	2x20	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>8</sub>	Ain Beida - Khenchela	220	40	1x411 (S.T)	250	Type 1
Action a <sub>9</sub>	Ain Beida- O El Bouaghi	60	25	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>10</sub>	Ain Beida- Ain M'lila	220	85	1x411 (S.T)	250	Type 1
Action a <sub>11</sub>	O Athmania - Ferdjioua	60	50	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>12</sub>	El kseur - Bejaia	60	50	1x288 (S.T)	60	Type 1
Action a <sub>13</sub>	Batna - Merouana	60	30	1x288 (S.T)	60	Type 2
Action a <sub>14</sub>	Coupure à V.Mascort d'El Hadjar– Annaba	60	2x20	1x617 en fourreau bétonné <sup>1</sup>	60	Type 2
Action a <sub>15</sub>	Piqûre à Ain Bey sur Ain Smara	60	1x3.5	1x288 (D.T)	80	Type 2

<sup>1</sup> Câble électrique 60 KVolts

**Tableau 1.2 : Ensemble des actions  $b_j$  (Postes THT/HT et HT/MT)**

	Noms du poste	Tension (KV)	Puissance (MVA)	Observations	Type de projet
Action $b_1$	Poste de Bordj Bou Ariridj	220/60	2x120	Poste simplifié	Type 3
Action $b_2$	Poste d'El Milia	60/30	2x40	Poste simplifié	Type2
Action $b_3$	Poste de Biskra (Ville)	60/10	2x40	Cabine mobile (solution provisoire)	Type2
Action $b_4$	Poste de Val Mascort	60/10	2x40	Poste simplifié	Type 2
Action $b_5$	Poste de Merouana	60/30	2x40	Poste simplifié	Type 2
Action $b_6$	Poste de Ferdjioua	60/30	2x40	Poste simplifié	Type2
Action $b_7$	Poste de Oum El Bouaghi	60/30	1x20	Cabine mobile	Type2
Action $b_8$	Poste de Didouche Mourad	60/30	2x40	Poste simplifié	Type2
Action $b_9$	Poste de Ain Bey	60/10	1x40	Poste simplifié	Type2

### IV.3 Définition des critères

La détermination d'une famille cohérente de critères et représentative du problème posé, s'opère après une **analyse des conséquences** des actions potentielles, en étroite collaboration avec le décideur [voir § III.6].

Afin d'effectuer cette analyse, nous avons dû simuler la réalisation des différentes actions présentées auparavant, pour pouvoir apprécier les multiples effets qu'elle générerait. Nous avons donc pu distinguer des effets d'ordre techniques et des effets d'ordre économiques, qui nous ont permis de définir des points de vue (axes de signification), satisfaisant simultanément les conditions suivantes :

- Représenter au mieux les conséquences des actions potentielles
- Correspondre aux objectifs de la décision
- Etre suffisamment opérationnels pour le choix des critères techniques et économiques.

Ces points de vue ou axes de signification se présentent comme suit :

## A. AXES TECHNIQUES

### A.1 Axe 1 : Assurer une qualité et une continuité de service .

La réalisation de certains ouvrages permet d'assurer la desserte de l'énergie électrique et de garantir une continuité et une qualité de service satisfaisantes.

Cette qualité se manifeste par une stabilité de la tension et de la fréquence électrique, ce qui évite l'endommagement de l'appareillage relié au réseau.

Pour mettre en évidence ce point de vue, nous avons pris en considération les deux critères suivants :

- Tenue du plan de tension : Ce critère exprime l'importance de la stabilité de la tension dans la garantie d'une continuité et d'une qualité de la fourniture d'énergie électrique acceptables
- Besoins de la distribution : Ce critère met en relief l'importance des lignes haute tension et très haute tension dans la satisfaction des besoins de la distribution et la garantie d'une meilleure desserte de l'énergie électrique.

### A.2 Axe2 : Assurer la stabilité du réseau électrique.

Les études de planification conduisent à dimensionner le réseau électrique de façon à ce que la défaillance d'un ouvrage n'altère pas le bon fonctionnement de l'ensemble du système électrique [Voir § II.1.5]. Ainsi, la réalisation de certains ouvrages permet des possibilités de transits supplémentaires et donc de répartir la charge sur un réseau plus puissant pouvant supporter les surcharges provoquées par les divers incidents.

Cela nous amène à considérer le critère suivant :

- Interconnexions internationales : Il met en relief l'importance des lignes haute tension et très haute tension servant à relier les réseaux des pays voisins au réseau national, dans la garantie de sa stabilité. Dans notre cas, nous considérons l'interconnexion au réseau tunisien vu que notre étude porte sur la région Est.

## B. AXES ECONOMIQUES

### B.1 Axe 3 : Contraintes économiques de réalisation des ouvrages

La réalisation des ouvrages électriques de transport (HT, THT) implique des investissements lourds [Voir Annexe 4] et donc des ressources financières très importantes. Par ce fait, le critère qu'on prend en considération et qui découle directement de ce point de vue, est le critère «Coût d'investissement».

### B.2 Axe 4 : Rentabilité économique.

La rentabilité économique n'est généralement pas prise en compte lorsqu'il s'agit de considérer des projets d'investissement qui répondent aux orientations stratégiques de l'entreprise (comme c'est le cas dans notre étude), car même si ces derniers ne sont pas rentables, ils seront réalisés et parfois même au détriment de projets rentables, parcequ'ils ont l'avantage de servir la stratégie de l'entreprise. Cependant, dans notre cas, nous allons considérer la rentabilité économique des projets à classer et ce, suite à la demande de l'entreprise qui s'intéresse de près à celle-ci, en raison des mutations que connaît le secteur d'électricité dans le

dans le monde et en particulier dans le Maghreb. Donc, l'entreprise prend finalement en compte cet aspect de l'investissement en vue de l'ouverture du marché, des éventuels projets de partenariat et du changement de statut auquel elle est assujettie.

Afin d'explicitier cette rentabilité économique, nous allons considérer le critère suivant :

- VAN unitaire ou Indice de rentabilité [Mar, 84] [Mas,68] [Dor,81]: Ce critère exprime, dans le cas où les projets considérés n'ont pas le même investissement initial, le fait que le projet qui a la valeur actuelle nette la plus forte n'est pas forcément le plus rentable car il peut être gros « consommateur » de capitaux. Donc, dans ce cas de figure le projet le plus rentable est celui qui a la valeur actuelle nette la plus forte relativement à son investissement initial. En d'autres termes, celui dont le rapport ( $VAN / I_0$ ) est le plus important. Ce rapport nous permet d'avoir une base de comparaison entre les rentabilités des différents projets considérés.

**Remarque :** Dans notre cas, le décideur correspond à un groupe d'individus qui prennent une décision commune concernant les investissements à réaliser, en se basant sur les diverses études de planification. Ce groupe d'individus constitue le Comité Interdirections de la SONELGAZ. Il est représenté au courant de notre étude par le chef de Département Etudes de Planification .Electricité (D.E.P.E).

#### IV.4 Evaluation des actions potentielles

Dans cette étape, nous évaluerons les performances des différentes actions potentielles selon chaque critère technique et économique, ceci par rapport à une **échelle d'état** spécifique au critère considéré, puis nous déterminons une **échelle de préférence** qui indiquera le sens de préférence par critère et qui servira donc à l'établissement de l'ordre de priorité.

##### IV.4.1 Evaluation par rapport aux critères techniques

Rappelons que les critères techniques pris en considération sont :

- Interconnexions internationales.
- Tenue du plan de tension.
- Besoins de la distribution

Ce sont des critères qualitatifs, puisque les performances des actions potentielles sont déterminées à partir d'appréciations subjectives<sup>2</sup>, en s'appuyant sur les résultats des études faites par l'entreprise. Ces études font ressortir :

- Les ouvrages d'interconnexion internationale
- Les ouvrages qui contribuent à stabiliser le plan de tension
- Les ouvrages destinés à satisfaire les besoins de la distribution

Grâce à ces appréciations subjectives, nous avons pu établir le rang de classement (évaluation ordinale) de chaque action par rapport à chaque critère technique et donc, déterminer un ordre de priorité des actions par rapport à ces derniers.

<sup>2</sup> En étroite collaboration avec le décideur

## A. Lignes – [actions $a_i$ ]

### A.1 Interconnexions internationales

Pour évaluer les actions potentielles (lignes) selon ce critère, nous les avons regroupées en plusieurs catégories ayant une priorité décroissante, tel que les lignes appartenant à une même catégorie, sont classées selon les préférences du décideur. Ces dernières se basent sur les résultats des différentes études de planification.

- **Catégorie 1** : Elle contient les lignes prioritaires qui ressortent des études de l'entreprise.
- **Catégorie 2** : Elle contient les lignes 220 Kvolts qui desservent plusieurs lignes 60 Kvolts, pour permettre le transit de puissances entre les réseaux interconnectés.
- **Catégorie 3** : Elle contient les lignes liées directement aux lignes d'interconnexions de la première catégorie.
- **Catégorie 4** : Elle contient les lignes restantes qui ne répondent pas à ce critère.

Ceci peut être représenté par le tableau suivant :

Catégories	Catégorie 1		Catégorie 2		Catégorie 3				Catégorie 4						
Actions	$a_5$	$a_{10}$	$a_1$	$a_8$	$a_{14}$	$a_2$	$a_3$	$a_9$	$a_7$	$a_{15}$	$a_{12}$	$a_4$	$a_{13}$	$a_{11}$	$a_6$
Rang de classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

**Tableau 4** : Rangs de classement des lignes selon le critère « Interconnexions internationales »

### A.2 Tenue du plan de tension

La même démarche est adoptée pour ce critère, où les actions sont regroupées dans les catégories suivantes :

- **Catégorie 1** : Elle contient les lignes ressortant des études faites par l'entreprise.
- **Catégorie 2** : Elle contient les lignes d'interconnexion qui contribuent à la stabilité du plan de tension.
- **Catégorie 3** : Elle contient des lignes situées dans des zones industrielles, qui servent à supporter les transits de puissance important, et contribuent donc à stabiliser le plan de tension
- **Catégorie 4** : Elle contient les lignes liées directement aux lignes prioritaires de la première catégorie, pour assurer une continuité du transit de puissance.
- **Catégorie 5** : Elle contient les lignes restantes qui ne répondent pas à ce critère.

Catégories	Catégorie 1					Catégorie 2		Catégorie 3		Catégorie 4		Catégorie 5			
Actions	a <sub>3</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>15</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>6</sub>
Rang de classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

**Tableau 5 :** Rangs de classement des lignes selon le critère « Tenue du plan de tension »

### A.3 Besoins de la distribution

De la même façon, les actions  $a_i$  (lignes) servant à satisfaire les besoins de la distribution, sont regroupées dans les catégories suivantes :

- **Catégorie 1 :** Lignes ressortant des études de l'entreprise.
- **Catégorie 2 :** Lignes THT qui desservent tous les autres types de lignes : HT, MT, BT afin d'évacuer la puissance électrique et satisfaire donc les besoins de la distribution.
- **Catégorie 3 :** Lignes reliées directement aux lignes prioritaires de la catégorie 1.
- **Catégorie 4 :** Lignes restantes qui ne répondent pas à ce critère.

Catégorie	Catégorie 1							Catégorie 2				Catégorie 3	Catégorie 4		
Actions	a <sub>2</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>15</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>12</sub>
Rang de classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

**Tableau 6 :** Rangs de classement des lignes selon le critère « Besoins de la distribution »

## B. Postes

Afin d'attribuer des évaluations ordinales (rang de classement) aux postes, selon chaque critère technique, nous adopterons la démarche suivante :

- Distinguer les postes qui ressortent prioritaires, suite aux études faites en ce sens par l'entreprise, puis les classer suivant les préférences du décideur.
- Classer les postes restants en suivant l'ordre de priorité des lignes qui leurs sont raccordées, puisque le fonctionnement de celles-ci dépend du fonctionnement de ces mêmes postes.

### B.1 Interconnexions internationales

- Un seul poste ressort prioritaire des études effectuées par l'entreprise et c'est: le poste de **Bordj Bou Ariridj (b<sub>1</sub>)**.

- L'ordre de priorité des postes restants, dépend de celui des lignes. Donc, il est élaboré comme suit :

Action $a_i$ – Lignes	$a_{14}$	$a_9$	$a_7$	$a_{15}$	$a_4$	$a_{13}$	$a_{11}$	$a_6$
Rang de classement	5	8	9	10	12	13	14	15
Actions $b_j$ – Postes correspondants	$b_4$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_2$	$b_5$	$b_6$	$b_3$
Rang de classement	2	3	4	5	6	7	8	9

**Tableau 7 :** Rangs de classement des postes selon le critère « Interconnexions internationales »

### B.2 Tenue du plan de tension

- Les postes qui ressortent prioritaires des études de l'entreprise sont respectivement :

Poste (2) : El Milia, poste (1) : Bordj Bou Ariridj.

- Les autres postes sont classés comme suit :

Actions $a_i$ – Lignes	$a_{15}$	$a_{14}$	$a_7$	$a_9$	$a_{11}$	$a_{13}$	$a_6$
Rang de classement	5	8	9	11	13	14	15
Actions $b_j$ – Postes correspondants	$b_9$	$b_4$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_3$
Rang de classement	3	4	5	6	7	8	9

**Tableau 8 :** Rangs de classement des postes selon le critère « Tenue du plan de tension »

### B.3 Besoins de la distribution

- D'après les études effectuées par l'entreprise, plusieurs postes ressortent prioritaires selon ce critère. Nous allons donc les classer selon les préférences du décideur. Ceci est représenté par le tableau suivant:

Action $b_i$ - Postes	$b_6$	$b_4$	$b_5$	$b_8$	$b_7$	$b_1$
Rang de classement	1	2	3	4	5	6

- Les autres postes sont classés, d'après l'ordre de priorité établi pour les lignes qui leur correspondent. Ceci est représenté par le tableau suivant :

Actions $a_i$ – Lignes	$a_{15}$	$a_6$	$a_4$
Rang de classement	3	5	13
Actions $b_i$ – Postes			
Correspondant	$b_9$	$b_3$	$b_2$
Rang de classement	7	8	9

**Tableau 9 :** Rangs de classement des postes selon le critère « besoins de la distribution »

### IV.5.2 Evaluations par rapport aux critères économiques

Les critères économiques que nous avons pris en considération sont les suivant :

- Le coût d'investissement
- L'indice de rentabilité

Ce sont des critères quantitatifs, puisque les évaluations des actions potentielles selon ces mêmes critères représentent des valeurs mesurables sur une échelle métrique.

#### A. Lignes

##### A.1 Coût d'investissement

Nous évaluons le coût d'investissement des différentes lignes, en multipliant leurs coûts unitaires [Voir ANNEXE 4] par leurs longueurs. Cela nous donne les résultats suivants :

Actions $a_i$ Lignes	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
Coût d'investissement (MDA)	60,365	201,8	154,46	161,44	965,84	282,52	161,44	272,8
Actions $a_i$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	
Coût d'investissement (MDA)	100,9	579,7	201,8	201,8	121,08	1320	27,030	

**Tableau 10 :** Coûts d'investissement des lignes électriques

### A.2 Indice de rentabilité

Afin d'évaluer les performances des actions par rapport à ce critère, nous calculons la valeur actuelle nette (VAN) de chaque action [voir ANNEXE 5], puis nous la divisons par le coût d'investissement initial. Les résultats obtenus sont représentés par le tableau suivant :

Actions $a_i$ - Lignes	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
Indice de rentabilité	25.565	-0.58	0.0121	-0.311	0101	-0.888	-0.311	1.471
Actions $a_i$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	
Indice de rentabilité	0.498	-0.288	-0.58	-0.58	0.139	-1.139	6.651	

**Tableau 11 :** Indices de rentabilité des lignes électriques

### B. Postes

#### B.1 Coût d'investissement

Les coûts d'investissement des différents postes sont évalués en se basant sur les estimations de l'entreprise [Voir ANNEXE 4]. Ceci est représenté par le tableau suivant :

Actions $b_i$ Postes	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
Coût d'investissement (MDA)	1840	731.8	1823	1823	731.8	731.8	85	731.8	1823

**Tableau 12 :** Coûts d'investissement des postes électriques

#### B.2 Indice de rentabilité

Nous évaluons l'indice de rentabilité des différents postes de la même façon que nous l'avons fait pour les lignes. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Actions $b_i$ Postes	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
Indice de rentabilité	-0.868	-0.992	-1.372	-1.372	-0.992	-0.992	1.134	-0.992	-1.372

**Tableau 12 :** Indices de rentabilité des postes électriques

## IV.5 Passage de l'échelle d'état à l'échelle de préférence

Les évaluations précédentes des actions potentielles sont établies par rapport à une échelle d'état, qui caractérise le critère considéré. Or, le premier point à respecter au moment de remplir le tableau des évaluations, consiste à prendre en considération des évaluations représentant la performance de l'action potentielle. Pour ce faire, il faut définir le sens de la préférence de chaque critère, et donc déterminer son **échelle de préférence**.

Dans notre cas, nous avons considéré que la performance d'une action selon un critère indique le sens pour lequel une évaluation élevée correspond à une action prioritaire.

### IV.5.1 Critères techniques

Les évaluations selon tous les critères techniques considérés, représentent les rangs de classement de chaque action. Ceci implique que le sens de préférence est **décroissant**. Donc pour évaluer la performance d'une action, il faut transformer l'échelle d'état en une échelle de préférence afin que la plus grande évaluation soit attribuée à l'action prioritaire

#### Transformation

- Evaluations des actions dans l'échelle d'état [ 1, 2, 3 ...,14,15]
- Evaluations des actions dans l'échelle de préférence [15,14, 13..., 2, 1]

**Exemple** : Nous considérons le critère « Interconnexions internationales »

Actions	a <sub>5</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>15</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>6</sub>
Evaluations [échelle d'état]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Evaluations [échelle de préférence]	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

### IV.5.2 Critères économiques

#### A. Coût d'investissement

Le sens de préférence de ce critère est **décroissant**, puisque l'ouvrage prioritaire est l'ouvrage le moins coûteux. Donc, pour évaluer la performance d'une action selon ce dernier, il faut transformer l'échelle.

#### Transformation

Nous pouvons inverser le sens de préférence en multipliant les évaluations par (-1)

- Evaluations dans l'échelle d'état : [coût de l'action a<sub>i</sub>]
- Evaluation dans l'échelle de préférence - [coût de l'action a<sub>i</sub>]

#### B. Indice de rentabilité

Dans ce cas, le sens de préférence est **croissant**, puisque la rentabilité économique croit avec l'augmentation de l'évaluation, selon ce critère. Donc, l'échelle d'état est considérée comme étant l'échelle de préférence.

Evaluations dans l'échelle d'état = Evaluations dans l'échelle de préférence

### IV.5.3 Tableau des évaluations

Une fois les évaluations des actions potentielles sont établies, elles sont représentées dans le tableau des évaluations comme suit :

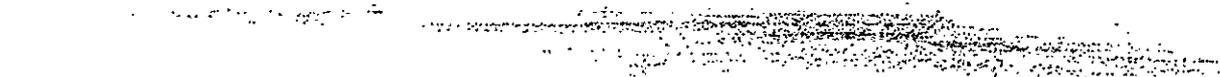
#### Lignes

Actions	Critères >	Critère 1 Interconnexion internationale	Critère 2 Tenu du plan de tension	Critère 3 Besoin de la distribution	Critère 4 Coût (MDA)	Critère 5 Indice de rentabilité
<b>Action 1</b> : Prolongement vers Darguinah (poste) de Jijel –Dargunah		13	14	5	- 60,365	25.565
<b>Action 2</b> : Ain Beida - Tamelouka		10	6	15	- 201,8	- 0,58
<b>Action 3</b> : Coupure de Hamma Bouziane - R.Djamel (ancien) vers R.Djamel (nouveau)		9	15	2	- 154 ;46	0,0121
<b>Action 4</b> : El Milia - Jijel		4	12	3	- 161,44	- 0,311
<b>Action 5</b> : El Hadjar - Djendouba		15	10	8	965,84	0,101
<b>Action 6</b> : Prolongement de la ligne Biskra – S.Okba jusqu'à Z.Ahmed		1	1	9	- 282,52	- 0,888
<b>Action 7</b> : Coupure à Didouche Mourad de Mensouriah – H. Bouziane		7	7	11	- 161,44	- 0,311
<b>Action 8</b> : Ain Beida - Khenchela		12	13	6	- 272,8	1,471
<b>Action 9</b> : Ain Beida- O El Bouaghi		8	5	4	- 100,9	0,498
<b>Action 10</b> : Ain Beida- Ain M'lila		14	9	7	- 579,7	- 0,288
<b>Action 11</b> : O Athmania - Ferdjioua		2	3	14	- 201,8	- 0,58
<b>Action 12</b> : El kseur - Bejaia		5	4	1	- 201,8	- 0,58
<b>Action 13</b> : Batna -- Merouana		3	2	10	- 121,08	0,139
<b>Action 14</b> : Coupure à V.Mascort d'El Hadjar- Annaba		11	8	12	- 1320	- 1,139
<b>Action 15</b> : Piqure à Ain Bey sur Ain Smara		6	11	13	- 27,030	6,651

**Postes**

Critères>	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5
Actions (Postes)	Interconnexion internationale	Tenu du plan de tension	Besoin de la distribution	Coût (MDA)	Indice de rentabilité
Action 1 : Poste de Bou Bordj Arridj	9	8	4	- 1840	-0,868
Action 2 : Poste d'El Milia	4	9	1	- 731,8	-0,992
Action 3 : Poste de Biskra (Ville)	1	1	2	- 1823	-1,372
Action 4 : Poste de Val Mascort	8	6	8	- 1823	-1,372
Action 5 : Poste de Merouana	3	2	7	- 731,8	-0,992
Action 6 : Poste de Ferdjioua	2	3	9	- 731,8	-0,992
Action 7 : Poste de Oum El Bouaghi	7	4	5	- 85	1,134
Action 8 : Poste de Didouche Mourad	6	5	6	- 731,8	-0,992
Action 9 : Poste de Ain Bey	5	7	3	- 1823	-1,372

# *CHAPITRE V*



*Choix et présentation de  
la méthode multicritère*

# CHAPITRE V

## CHOIX ET PRESENTATION DE LA METHODE

### MULTICRITERE

#### Introduction

En se référant à la figure [Fig III.9], on peut remarquer la diversité des méthodes multicritères, qui ont été développées, ces méthodes se distinguent par la manière d'exploiter le tableau des évaluations afin d'établir les préférences partielles, et le procédé qu'elles emploient pour agréger ces préférences. Par ce fait, pour résoudre le problème qui nous est posé, nous devons procéder au choix de la méthode adéquate en fonction des données et de l'objectif de l'étude.

Dans ce présent chapitre, nous présenterons dans un premier lieu notre démarche pour le choix de la méthode multicritère, puis nous développerons les notions théoriques propres à cette méthode

#### V.1 Choix d'une problématique

La problématique retenue dans le [§ IV.1] est une problématique de rangement. Celle-ci nous permet de classer les actions considérées dans le modèle selon les différents critères que nous avons défini, afin de distinguer les ouvrages prioritaires qui seront réalisés dans la période délimitée par le plan de développement, ainsi que les ouvrages non – prioritaires dont la réalisation sera reportée sur d'autres plans.

#### V.2 Choix d'une approche d'agrégation

Le problème est posé en termes de rangement des ouvrages de transport électrique HT-THT de la région Est, par ordre de priorité. L'ensemble de ces ouvrages constitue 15 lignes et 9 postes. Par conséquent, les méthodes **interactives** sont à exclure pour traiter ce problème, puisqu'elles sont d'une part très difficile à adapter à une problématique de rangement et que d'autres part, elles ont été conçues pour traiter un grand nombre d'actions potentielles [Voir § III.9.2- C]. Donc, le choix s'effectuera entre les méthodes d'agrégation totale et partielle.

Nous savons d'une part que les évaluations des actions potentielles selon les critères économiques sont quantitatives et qu'elles sont estimées sur la base d'hypothèses incluant une grande part d'incertitude. Quant aux évaluations selon les critères techniques, elles sont établies à partir d'appréciations subjectives qui ont permis d'avoir un ordre de classement des actions par rapport à ces critères (évaluations ordinales).

D'autres part, nous pouvons constater qu'il y a une forte hétérogénéité entre les échelles de préférence élaborées pour les critères économiques et techniques qui rend difficile la détermination d'une fonction d'agrégation les ramenant à une échelle commune.

Ainsi, nous allons orienter notre choix vers une approche d'agrégation partielle (approche du surclassement de synthèse). [Voir § III.9.2]

Parmi les différentes méthodes basées sur une agrégation partielle, nous avons opter pour la famille de méthodes ELECTRE qui ont fait l'objet de plusieurs applications pratiques dont quelques-unes une sont présentées en Annexe [Voir ANNEXE 6].

### V.3 Présentation des méthodes ELECTRE [Bouyssou & Roy,93] [May, 94]

Les méthodes ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la REalité) font partie de l'approche de surclassement de synthèse dont le principe est d'élaborer à partir des relations binaires entre les actions, établies en comparant leurs évaluations par rapport à chaque critère, un système relationnel de préférence, synthétisant l'ensemble des critères et acceptant l'incomparabilité et l'intransitivité.

Ce système sera exploité afin d'élaborer une recommandation selon le type de problématique abordée dans l'aide à la décision. Par ce fait, plusieurs méthodes ELECTRE ont été développées en s'appuyant sur diverses procédures d'exploitation. Les méthodes existantes à ce jour sont: ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS, ELECTRE TRI.

Avant de présenter les principes des différentes méthodes ELECTRE, il est utile de donner les définitions suivantes :

**a. Relation de surclassement nette :** Si les données disponibles justifient que l'action  $a_i$  est au moins aussi bonne que l'action  $a_k$ , alors on peut dire que l'hypothèse de surclassement "  $a_i$  surclasse  $a_k$ " est acceptée et vice versa.

**b. Relation de surclassement floue :** On suppose que la relation de surclassement est établie pour tout couple d'actions et on mesure sa crédibilité en associant à chaque surclassement un degré de crédibilité prenant des valeurs entre 0 et 1. Ainsi, l'hypothèse de surclassement n'est pas acceptée ou rejetée en bloc comme dans le cas précédent, mais cela s'opère à travers des niveaux de certitude faisant intervenir les degrés de crédibilité.

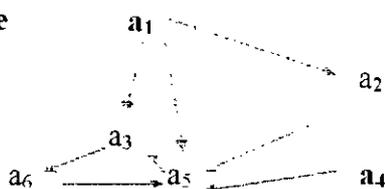
#### V.3.1 ELECTRE I

Cette méthode relève de la problématique alpha où le problème est pose en termes de **choix** des meilleures actions ou actions satisfaisantes.

Dans ce but et à partir de la relation de surclassement global construite en se basant sur de **vrai - critères**, l'ensemble des actions potentielles est partitionné en deux sous-ensembles ( $N$ : noyau, et  $A/N$ : actions restantes). Ceci est représenté par graphe dont les sommets sont les actions et dont les arcs traduisent la relation de surclassement.

Les actions du noyau représentent les actions sélectionnées. Celles-ci se distinguent des autres par le fait qu'elles ne soient surclassées par aucune autre action et qu'elles soient incomparables, puisqu'il est n'est pas possible de déduire un surclassement en faveur de l'une d'entre elles.

#### Exemple



- Les actions  $a_1, a_2$  ne sont surclassées par aucune autre action, et elles sont incomparables. Donc, elles appartiennent au **noyau**
- On remarque l'intransitivité du surclassement dans les relations entre  $a_3, a_4, a_5$ .

Fig V.1 Graphe de surclassement dans ELECTRE I

Selon la procédure utilisée dans la méthode, la relation de surclassement est construite en prenant appui sur les notions de concordance, et de discordance synthétisant tous les critères, de façon à ce que, pour tout couple d'actions ( $a_i$ ,  $a_k$ ), l'hypothèse de surclassement est acceptée si les tests de concordance et de non- discordance<sup>1</sup> sont satisfaits.

### V.3.2 ELECTRE II

Cette méthode relève de la problématique gamma qui cherche à établir un classement des actions potentielles des meilleures jusqu'aux moins bonnes.

Pour arriver à ses fins, ELECTRE II utilise aussi une relation de surclassement global basée sur des vrai critères et qui est élaborée à partir des notions de concordance et de discordance. Mais à la différence de la méthode précédente, les tests de concordance et de non-discordance sont imbriqués les uns dans les autres afin d'attribuer des niveaux de certitude à la satisfaction de l'hypothèse de surclassement. Ceci conduit à distinguer deux types de surclassement:

- **Surclassement fort:** traduisant une certitude forte sur l'acceptation de l'hypothèse.
- **Surclassement faible:** traduisant une certitude faible sur l'acceptation de l'hypothèse.

Les surclassements précédents sont représentés dans deux graphes (graphe de surclassement fort, graphe de surclassement faible). Le premier graphe (fort) sera exploité pour établir deux préordres totaux représentant respectivement le classement direct, et le classement inverse, quant au deuxième graphe (faible), il sert à départager les actions équivalentes (ex-aequo).

- **Classement direct :** les actions sont classées en fonction de la longueur des chemins incidents qui y aboutissent, dans l'ordre croissant (en théorie des graphes, la longueur d'un chemin est le nombre d'arc qui le constitue)
- **Classement inverse :** les actions sont classées en fonction de la longueur des chemins qui en sont issus, dans l'ordre décroissant de ces longueurs.

L'intersection de ces deux préordre totaux permet d'établir un préordre partiel admettant l'incomparabilité et qui sera exploité pour élaborer une recommandation.

**Remarque :** Deux actions sont dites incomparables s'il n'est pas possible d'affirmer un surclassement en faveur de l'une d'elles. Pour expliciter cela dans les méthodes multicritères de rangement, deux classements sont élaborés selon deux sens opposés (sens de surclassement, sens de non - surclassement). L'incomparabilité est constatée lorsque les positions des actions sont trop différentes dans les deux classements

### V.3.3 ELECTRE III

Cette méthode relève aussi de la problématique de rangement, elle suit en grandes lignes la méthode précédente:

- Construction d'une relation de surclassement
- Elaboration de deux classements antagonistes
- Synthèse d'un classement final

<sup>1</sup> Comparer des indices de concordance (resp discordance) - qui sont élaborés pour chaque couple d'action - à des seuils de concordance (resp discordance)

En outre, elle est basée sur des **pseudo-critères** qui implique un passage progressif de l'indifférence vers la préférence stricte, et elle introduit la notion de **surclassement flou** en associant à chaque hypothèse de surclassement un degré de **crédibilité**. Ce dernier et sur la base des indices de concordance et de discordance, sera noté 1 pour un surclassement complètement justifié, 0 pour un surclassement non justifié et 0.5 par exemple, pour un surclassement moyennement justifié.

L'élaboration des deux préordres antagonistes est fondée sur le niveau de signification du degré de crédibilité et permet de déduire le préordre partiel qui sera exploité pour donner la recommandation.

#### V.3.4 ELECTRE IV

La méthode s'insère dans le cadre des méthodes de classement (problématique gamma), elle ressemble à la précédente en ce sens qu'elle recourt à des pseudo-critères et à la relation de surclassement flou, mais elle s'en distingue par l'abandon des poids sur les critères.

Aussi, le surclassement global n'est plus déduit à partir des notions de concordance et de discordance mais il est élaboré de la manière suivante:

A partir des relations binaires de préférence établies par la comparaison des actions dans le modèle de pseudo-critère, chaque couple d'actions est situé pour chaque critère dans une catégorie de préférence déterminée (préférence stricte, préférence faible, indifférence). Le nombre de relation binaire dans chaque catégorie permet d'établir des règles pour élaborer le surclassement global par rapport à tous les critères sans avoir recours aux poids. Il sera ensuite associé à des degrés de crédibilité pour élaborer deux classements antagonistes de façon similaire à la méthode ELECTRE III, puis aboutir enfin au préordre partiel admettant l'incomparabilité.

#### V.3.5 ELECTRE IS

C'est une adaptation de la méthode ELECTRE I (problématique alpha), permettant d'utiliser des pseudo-critères et donc d'introduire des seuils d'indifférence et de préférence qui peuvent faire l'objet d'une analyse de sensibilité afin de cerner l'imprécision dans l'élaboration du modèle. Toutefois la procédure qu'elle emploie suit en grandes lignes celle de la méthode ELECTRE I.

#### V.3.6 ELECTRE TRI

Cette méthode relève de la problématique bêta, où le problème est posé en termes de tri des actions, en affectant chacune d'elle à une catégorie prédéfinie. Chaque catégorie est bornée inférieurement et supérieurement par deux **actions de référence**.

Cette méthode suit la procédure d'ELECTRE III, elle est basée sur des pseudo-critères et sur une relation de surclassement floue, or cette dernière n'est pas établie pour chaque couple d'action mais entre chaque action et une action de référence, ce qui permet d'élaborer deux procédures d'affectation distinctes (optimiste, pessimiste) afin de déceler l'incomparabilité :

- **Affectation optimiste** : Affecter l'action à une catégorie de façon telle que cette action surclasse l'action de référence basse de cette catégorie.
- **Affectation pessimiste** : Affecter l'action à une catégorie telle que l'action de référence haute de cette catégorie lui soit préférée.

L'incomparabilité entre une action et une autre de référence se confirme en fonction de la différence entre les deux catégories auxquelles elle est affectée dans les deux procédures d'affectation.

Les méthodes dont le principe a été présenté précédemment, représentent les **versions de base** des différentes méthodes ELECTRE. D'autres versions ont été développées afin de s'adapter aux données et objectifs des problèmes à traiter.

Les principales caractéristiques des versions de base des méthodes ELECTRE sont résumées dans le tableau suivant [May, 94] :

Méthode ELECTRE	I	IS	TRI	II	III	IV
Auteur	Roy	Roy, Skalka	Yu	Roy, Bertier	Roy	Roy, Gonnaro
Année	1968	1985	1992	1971-1973	1978	1981
Problématique	Alpha		Bêta	Gamma		
Procédure	Sélection		Affectation	Classement		
Résultat	Choix		Tri	Rangement		
Critères	Vrai	Pseudo	Pseudo	Vrai	Pseudo	Pseudo
Seuil de concordance	x			x		
Seuil de discordance	x			x		
Seuil d'indifférence		x	x		x	x
Seuil de préférence		x	x		x	x
Seuil de veto		x	x		x	x
Degrés de crédibilité			x		x	x
ponds	oui	oui	oui	oui	oui	non
Surclassement	net	net	flou	net	flou	flou
Exploitation du surclassement	recherche du noyau	recherche du noyau	affectation optim/pessi	classement direct/inverse	distilla descen ascen	distilla descen ascen
Résultat intermédiaire			2 affect. complètes	2 préordres totaux		
final	1 noyau		1 affect partielle	1 préordre partiel		

**Tableau 1 : Caractéristiques des méthodes multicritères ELECTRE (VERSIONS DE BASE)**

## V.4 Choix de la méthode ELECTRE

Nous pouvons représenter la démarche que nous avons adopter pour le choix d'une méthode multicritère par le schéma suivant:

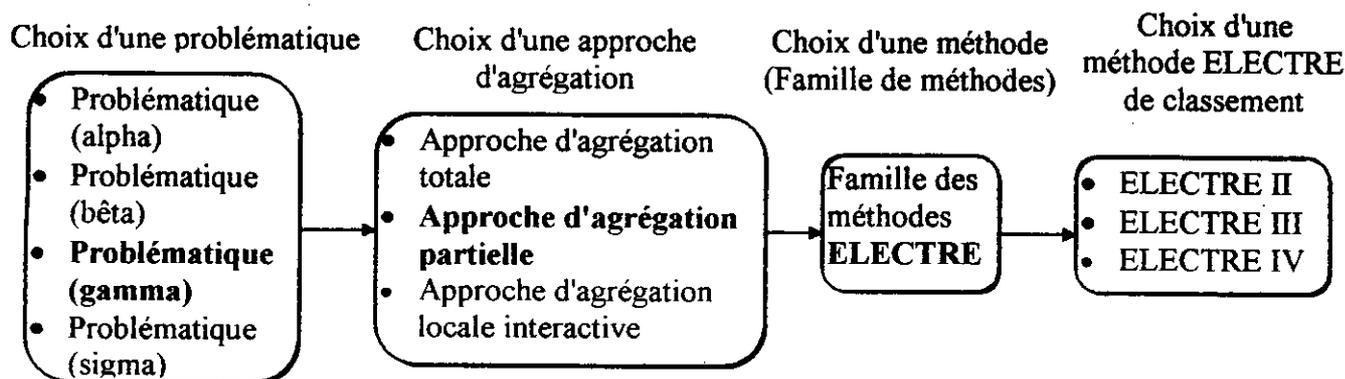


Fig V.3 Démarche de choix de la méthode multicritère

Afin de procéder au choix d'une méthode ELECTRE parmi les trois méthodes précédentes de classement (ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV) et en s'appuyant sur les caractéristiques de chacune d'elles, nous pouvons adopter les critères de choix suivant:

- Types de critères utilisés (Vrai-critères, pseudo-critères)
- Type de la relation de surclassement( nette, floue)
- Possibilité de déterminer les poids des critères.

### V.4.1 Vrai-critères ou pseudo-critères

Le choix entre l'utilisation de vrai-critères ou pseudo-critères doit tenir compte du degré d'incertitude dans l'élaboration des évaluations des actions potentielles. Le modèle basé sur des vrai-critères est adopté lorsque les évaluations sont bien établies. A cet effet, il n'est plus utile de modéliser les préférences en introduisant des seuils d'indifférence et de préférence dont la détermination est entachée d'imprécision.

Dans notre cas, les évaluations sont estimées avec une grande part d'arbitraire notamment pour les critères qualitatifs. Par conséquent, il serait convenable d'utiliser des pseudo-critères, et faire sensibiliser les différents seuils afin de mesurer la stabilité du modèle par rapport à ces variations.

### V.4.2 Surclassement net ou flou

Dans le surclassement net, une modification, même minime, dans les différents paramètres de la méthode (évaluations, seuils) peut faire apparaître ou disparaître une relation de surclassement entre deux actions, modifiant ainsi le résultat de manière remarquable. Dans le surclassement flou, les modifications changeront certes les indices de crédibilité, mais le résultat ne changera pas de manière aussi brutale que dans le surclassement net, puisque les indices de crédibilité sont toujours associés à des seuils de discrimination tolérant une certaine marge d'incertitude [Voir § V.6.6].

Dans notre cas, nous allons opter pour un surclassement flou afin prendre en considération l'incertitude dans l'élaboration des évaluations,

**Remarque** Dans les méthodes ELECTRE, les relations de surclassement nette (respectivement floue) sont le plus souvent associés à des vrai-critères (respectivement pseudo-critères). Cependant, il existe d'autres versions de ces mêmes méthodes qui combinent vrai-critères et surclassement flou ou bien, pseudo-critères et surclassement net.

### V.4.3 Détermination des poids

L'attribution des poids aux critères pour représenter leur importance relative, est un point délicat, toutefois, il est possible de se trouver dans des situations où cette importance entre les critères ne peut pas être distingués. A cet effet, la méthode ELECTRE IV est basée sur une procédure ne faisant pas appel aux poids.

Dans notre cas, nous avons pu établir avec le décideur un ordre de priorité des critères, en accordant la plus grande importance aux critères de stabilité et sécurité du réseau, puis aux critères concernant la qualité et la continuité de service et enfin aux critères économiques.

En conclusion, nous allons faire appel à une méthode ELECTRE de classement qui utilise des **pseudo-critères, une relation de surclassement floue et des les poids**. La méthode qui répond à toutes ces exigences est la méthode ELECTRE III.

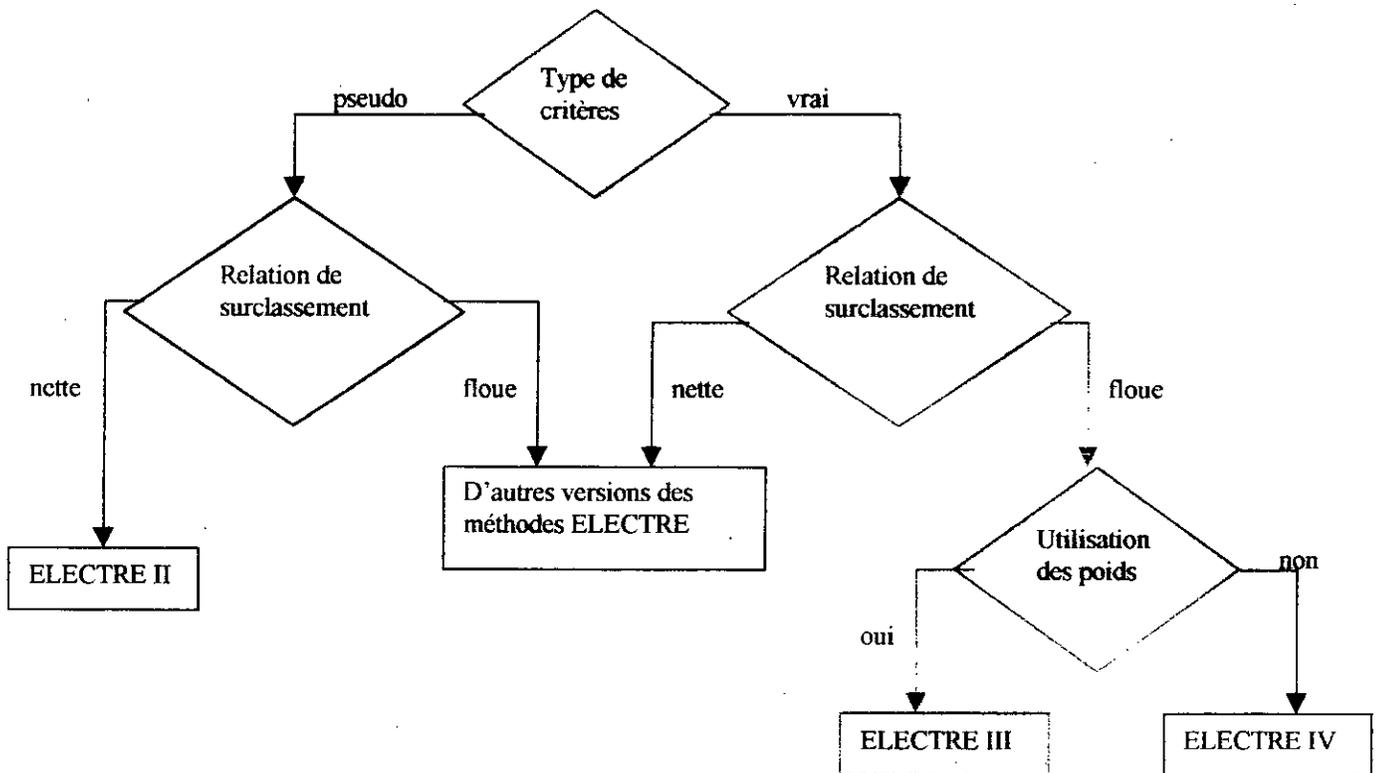


Fig V.4 Organigramme de choix de la méthode ELECTRE de classement

**Remarque :** Il à noter que la méthode multicritère ELECTRE III a été appliquée par le laboratoire d'analyse et de modélisation des systèmes d'aide à la décision [L.A.M.S.A.D.E], dans le cadre d'une étude faite pour le compte de la SONELGAZ qui porte sur le choix du site d'implantation d'une centrale thermique (Centrale de CAP DJENNAT)

### V.5 Méthode multicritère ELECTRE III [May, 94]

La méthode ELECTRE III, dont le principe a été exposé au paragraphe [§V.3.3] a pour objectif de départager et ranger en classes d'équivalence, les différentes actions potentielles, en exploitant l'information contenue dans les évaluations  $g_j(a_i)$ , ainsi que celles relative à l'importance des différents critères.

Le cheminement de la méthode ELECTRE III est représenté par l'organigramme ci-dessous:

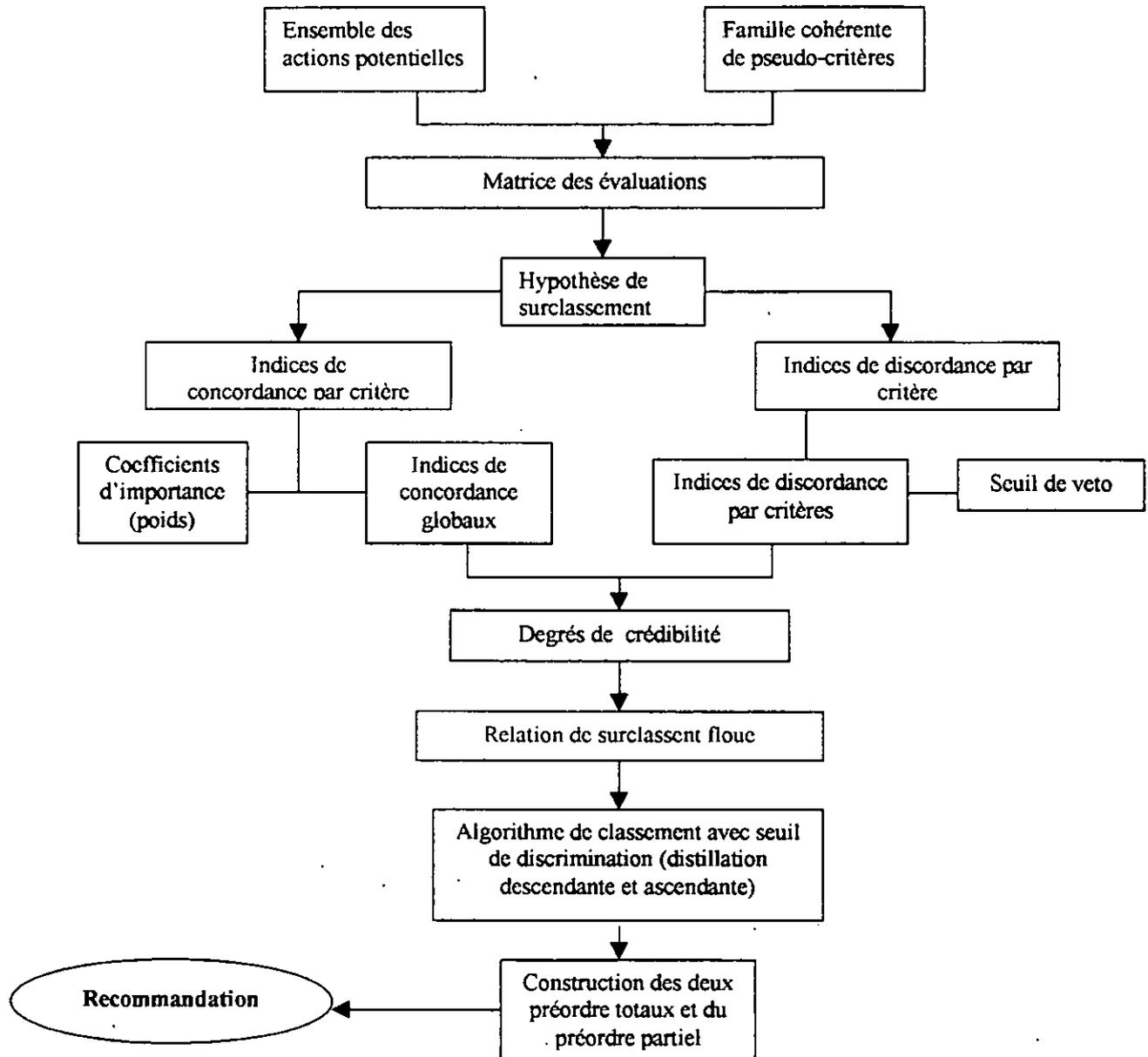


Fig V.5 Cheminement de la méthode ELECTRE III

## V.6 Développement de la méthode ELECTRE III [May, 94]

### V.6.1 Détermination d'une famille de pseudo-critères

Le pseudo-critère est un critère dont le pouvoir discriminant est caractérisé par deux seuils : indifférence, préférence. Ces derniers permettent de situer l'écart entre les évaluations de deux actions dans trois zones correspondant aux situations d'indifférences, préférence faible, préférence stricte, afin de prendre en considération l'incertitude dans les évaluations élaborées.

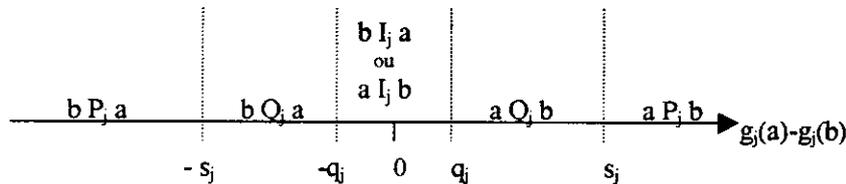


Fig V.6 Zones d'indifférence et de préférence dans le pseudo-critère

On rappelle que la procédure de traitement développée dans la méthode est basée sur l'hypothèse de surclassement, telle que pour tout couple d'action  $a_i, a_k$ , on est amenée à voir s'il est possible d'accepter un surclassement - synthétisant tous les critères - en faveur de l'une d'elle.

### V.6.2 Indices de concordance par critère

Cet indicateur affirme dans quelle mesure l'action  $a_i$  est au moins aussi bonne que l'action  $a_k$ , pour le critère  $j$ . Il est défini comme suit : [Voir Fig V.6]

$$\begin{cases} c_j(a_i, a_k) = 0 & \Leftrightarrow s_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \\ 0 < c_j(a_i, a_k) < 1 & \Leftrightarrow q_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq s_j, \text{ Interpolation linéaire} \\ c_j(a_i, a_k) = 1 & \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq q_j \end{cases}$$

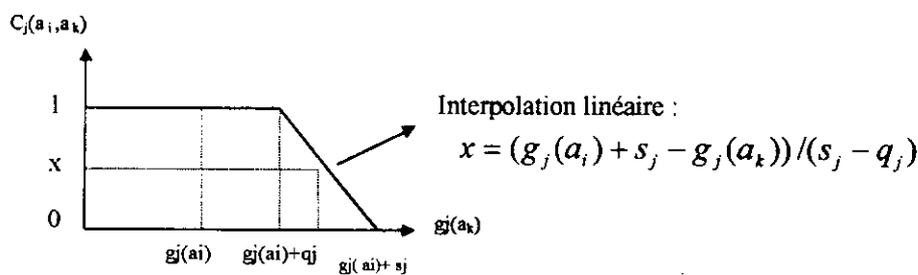


Fig V.7 Construction de l'indice de concordance

#### Exemple

soient  $q_j=15, s_j=30$  les seuils d'indifférence et de préférence pour un critère  $j, g_j(a_1)=35, g_j(a_2)=20, g_j(a_3)=3, g_j(a_4)=47$  les évaluations des actions selon ce critère  $j$ .

$c_j(a_i, a_k)$  l'indice exprimant la concordance du critère  $j$  avec l'hypothèse  $a_i$  surclasse  $a_k$

- $a_2$  S  $a_1$ :  $g_j(a_2) - g_j(a_1) = 15 \leq q_j=15 \Rightarrow c_j(a_2, a_1) = 1$
- $a_2$  S  $a_4$ :  $g_j(a_4) - g_j(a_2) = 27, q_j < 27 \leq s_j=30 \Rightarrow c_j(a_2, a_4) = (g_j(a_2) + s_j - g_j(a_4)) / (s_j - q_j) = 0.2$
- $a_2$  S  $a_3$ :  $g_j(a_4) - g_j(a_3) = 44 \geq s_j=30 \Rightarrow c_j(a_3, a_4) = 0$

**V.6.3 Indices de concordance globale**

Cet indicateur affirme dans quelle mesure il y a concordance globale avec l'hypothèse « l'action  $a_i$  surclasse l'action  $a_k$  ».

Il est défini par la formule:

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m p_j \cdot c_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m p_j}$$

**V.6.4 Indices de discordance**

Il est possible d'apprécier l'intensité de la non-concordance du critère avec l'hypothèse de surclassement, à l'aide de l'indice de discordance, ce dernier est défini comme suit :

$$\begin{cases} d_j(a_i, a_k) = 1 & \Leftrightarrow v_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \\ 0 < d_j(a_i, a_k) < 1 & \Leftrightarrow s_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq v_j \\ d_j(a_i, a_k) = 0 & \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq s_j \end{cases}$$

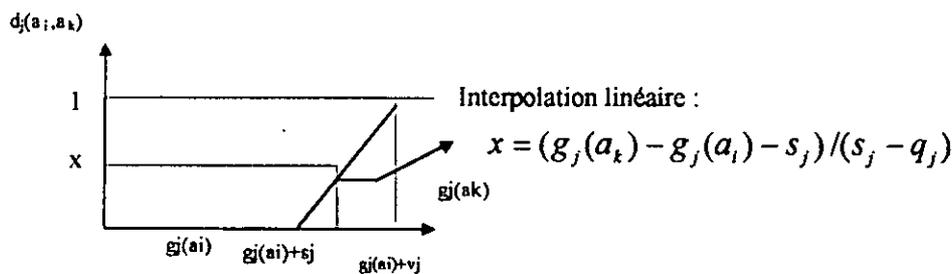


Fig V.8 Construction de l'indice de discordance

- **Seuil de veto :** Le seuil de veto  $v_j$  pour le critère  $j$ , est par définition, la valeur de la différence  $g_j(a_k) - g_j(a_i)$  à partir de laquelle il apparaît prudent de refuser toute crédibilité au surclassement de l'action  $a_k$  par l'action  $a_i$ , même si tous les critères sont en concordance avec ce surclassement.

Ce seuil est une donnée purement volontariste. Il marque la limite au-delà de laquelle, il est estimé que l'opposition du critère  $j$  à l'hypothèse de surclassement est jugée suffisamment « violente. » pour motiver le rejet de cette hypothèse.

**Exemple**

soient  $s_j=30$  et  $v_j=35$  les seuils de préférence et de veto pour un critère  $j$ ,  $g_j(a_1)=35$ ,  $g_j(a_2)=20$ ,  $g_j(a_3)=3$ ,  $g_j(a_4)=47$  les évaluations des actions selon ce critère  $j$ .

$d_j(a_i, a_k)$  l'indice exprimant la discordance du critère  $j$  avec l'hypothèse  $a_i$  surclasse  $a_k$

- $a_2$  S  $a_1$  :  $g_j(a_1) - g_j(a_2) = 15 \leq s_j = 30 \Rightarrow d_j(a_2, a_1) = 0$
- $a_3$  S  $a_1$  :  $g_j(a_1) - g_j(a_3) = 32$ ,  $s_j < 32 \leq v_j = 35 \Rightarrow d_j(a_3, a_1) = (g_j(a_1) - s_j - g_j(a_3)) / (s_j - q_j) = 0.4$
- $a_3$  S  $a_4$  :  $g_j(a_4) - g_j(a_3) = 44 \geq v_j = 35 \Rightarrow d_j(a_3, a_4) = 1$

### V.6.5 Relation de surclassement floue

Dans ELECTRE III, il y a toujours une relation de surclassement qui est établie entre deux actions potentielles, mais cette relation est floue puisqu'il existe des couples où elle paraît indiscutable, alors qu'elle peut être très peu convaincante pour certains d'autres. Cette plausibilité variant d'un couple à l'autre est exprimée par le degré de crédibilité qui leur est associé et qui est défini comme suit :

$$\delta_{ik} = C_{ik} \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a_i, a_k)}{1 - C_{ik}}$$

$$\bar{F} = \{j / j \in F, d_j(a_i, a_k) > C_{ik}\} \text{ et } \bar{F} \subset F$$

Le degré de crédibilité n'est autre que l'indice de concordance  $C_{ik}$  affaibli par les indices de discordance par critère  $d_j(a_i, a_k)$ , mais ce dernier contribue à cette affaiblissement seulement s'il est supérieur à  $C_{ik}$  (indice de concordance globale).

#### Remarques

- S'il existe au moins un critère  $j$  tel que  $d_j(a_i, a_k) = 1$ , alors le degré de crédibilité est nul, quelle que soit l'importance relative du critère :

$$\exists j \in F : d_j(a_i, a_k) = 1 \Leftrightarrow \delta_{ik} = 0$$

- lorsque l'indice de concordance globale est égal à l'unité, alors ceci implique que tous les indices de discordance sont nuls et que le degré de crédibilité est aussi égal à l'unité :

$$C_{ik} = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} \delta_{ik} = 1 \\ d_j(a_i, a_k) = 0, \forall j \in F \end{cases}$$

### V.6.6 Exploitation de la relation de surclassement floue

Dans le but d'aboutir à un classement des actions, il faut distinguer les relations de surclassement qui doivent être prise en compte en se basant sur les degrés de crédibilité.

Or, compte tenu de la part d'arbitraire que recèle la formule définissant ce degré (notamment l'interpolation linéaire), il n'est pas possible d'admettre que dès l'instant où  $\delta_{ik} > \delta_{em}$  l'hypothèse «  $a_i$  surclasse  $a_k$  » est plus crédible que «  $a_e$  surclasse  $a_m$  ». Par conséquent, il est opportun d'introduire un seuil appelé **seuil de discrimination  $S(\lambda)$** .

Le seuil de discrimination est une fonction définie comme suit :

$$\begin{array}{ccc} S : [0,1] & \longrightarrow & \mathbb{R} \\ \lambda & \longrightarrow & S(\lambda) \end{array}$$

Elle vérifie la proposition suivante :

( $\forall \lambda \in [0,1]$ , Si  $\delta_{ik} = \lambda$ , et  $\delta_{em} = \lambda - \eta$ , avec  $\eta > S(\lambda) \Rightarrow$  (l'hypothèse «  $a_i$  surclasse  $a_k$ . » est plus crédible que «  $a_e$  surclasse  $a_m$  ».)

En effet, ce seuil représente l'**écart de crédibilité** à partir duquel, on peut dire que la relation de surclassement entre deux actions est bien fondée.

**Remarque** La fonction seuil de discrimination est souvent choisi comme étant une fonction linéaire **décroissante** avec  $\lambda$  telle que  $(S(\lambda) = w_1 + w_2 \cdot \lambda)$ .

**Exemple** Pour le même écart (0.15), une relation de surclassement d'indice de crédibilité 0.95 peut être plus solidement établie que celle d'indice 0.8, alors que 0.25 et 0.1 peuvent être considéré comme des valeurs de crédibilité non significativement différentes. Ce qui justifie l'opportunité de choisir  $S(\lambda)$  décroissante

### V.6.7 Algorithme de classement

L'objectif visé est de construire deux préordres totaux antagonistes, qui constituent respectivement la distillation descendante et la distillation ascendante. Ces dernières seront exploitées pour déduire le classement final

Les définitions ci-après sont à la base de l'algorithme :

- Puissance d'une action  $a_i$  : c'est le nombre d'actions qu'elle surclasse, elle est notée :  $p(a_i)$
- Faiblesse d'une action  $a_i$  : c'est le nombre d'actions qui la surclassent, elle est notée :  $f(a_i)$
- Qualification d'une action  $a_i$  : c'est la différence entre sa puissance et sa faiblesse. Elle est notée :  $q(a_i) = p(a_i) - f(a_i)$

Il résulte de ces définitions que plus la puissance d'une action est grande (grande qualification) et plus elle doit venir en tête dans le classement. Au contraire, plus sa faiblesse est grande (petite qualification) et plus elle doit venir en queue dans le classement.

Le principe de l'algorithme consiste à rechercher un sous - ensemble d'actions potentielles de plus en plus réduit, ayant des qualification maximale pour des paliers de plus en plus bas, formant ainsi une chaîne de distillation descendante. Quand la progression se fait dans le sens inverse (qualification maximale), nous obtenons une chaîne de distillation ascendante.

### V.6.8 Description de l'algorithme

Soit  $\lambda_0$  la valeur maximale qu'atteint le degré de crédibilité:

$$\lambda_0 = \max(\delta_{ik})$$

L'algorithme procède en abaissant progressivement un seuil  $\lambda$  depuis  $\lambda_0$  jusqu'à 0, en passant par des paliers successifs, la détermination de ces derniers repose sur un concept de **niveau de séparation** défini comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_r = \lambda_0 - S(\lambda_0) \text{ (premier niveau de séparation)} \\ \lambda_{r+1} = \lambda_r - S(\lambda_r) \text{ (1}^{\text{ème}} \text{ niveau de séparation)} \end{array} \right.$$

A partir de la relation de surclassement floue établie pour tous les couples d'actions potentielles, une relation de surclassement **triviale** est construite de la façon suivante:

$$a_i S_A^{\lambda_j} a_k \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \delta_{ik} > \lambda_j \quad (1) \\ \delta_{ik} > \delta_{k_i} + S(\delta_{ik}) \quad (2) \end{array} \right.$$

- Cette relation vise à distinguer les couples  $(a_i, a_k)$  dont la crédibilité du surclassement est supérieur au niveau de séparation. (1)
- Elle traduit aussi, le fait que l'hypothèse " $a_i$  surclasse  $a_k$ " ne sera prise en compte que si elle est significativement plus crédible que l'hypothèse " $a_k$  surclasse  $a_i$ ". (2)

La relation de surclassement triviale est exploitée afin de déterminer la qualification de l'action permettant d'enchaîner la distillation descendante et ascendante. Cette qualification est appelée  $\lambda$ -**qualification** puisqu'elle dépend de  $\lambda_j$ :

La  $\lambda_j$ - qualification de l'action  $a_i$  par rapport à l'ensemble A est :

$$q_A^{\lambda_j}(a_i) = p_A^{\lambda_j}(a_i) - f_A^{\lambda_j}(a_i)$$

tel que

$$p_A^{\lambda_j}(a_i) = \{ a_k \in A / a_i S_A^{\lambda_j} a_k \} \text{ (}\lambda_j\text{- puissance)}$$

$$f_A^{\lambda_j}(a_i) = \{ a_k \in A / a_k S_A^{\lambda_j} a_i \} \text{ (}\lambda_j\text{- faiblesse)}$$

le processus itératif représenté par la figure [Fig V.5] consiste à établir une chaîne de distillation, telle qu'à chaque distillation, une nouvelle classe d'actions est dégagée (par exemple : à la  $n^{\text{ème}}$  distillation, c'est la  $(C_n)^{\text{ème}}$  classe. A l'intérieur de chaque distillation, il existe plusieurs étapes, qui représentent elles même des distillations visant à départager les actions équivalente (ex-aequo) de la même classe.

- L'organigramme [Fig V.9] représente le processus de distillation descendante, où il s'agit de déterminer des classes d'équivalence, allant de la plus prioritaire à la moins prioritaire, puisque les actions retenues à chaque distillation sont celles à **qualification maximale**<sup>2</sup>
- En ce qui concerne la distillation ascendante, le même organigramme est utilisé, sauf que les actions retenues sont celles à **qualification minimale**<sup>3</sup>. Ceci aboutit à des classes d'actions ayant une priorité croissante.

<sup>2</sup>  $q_1 = \max q^{\lambda_{j+1}}(a_i)$

<sup>3</sup>  $q_2 = \min q^{\lambda_{j+1}}(a_i)$

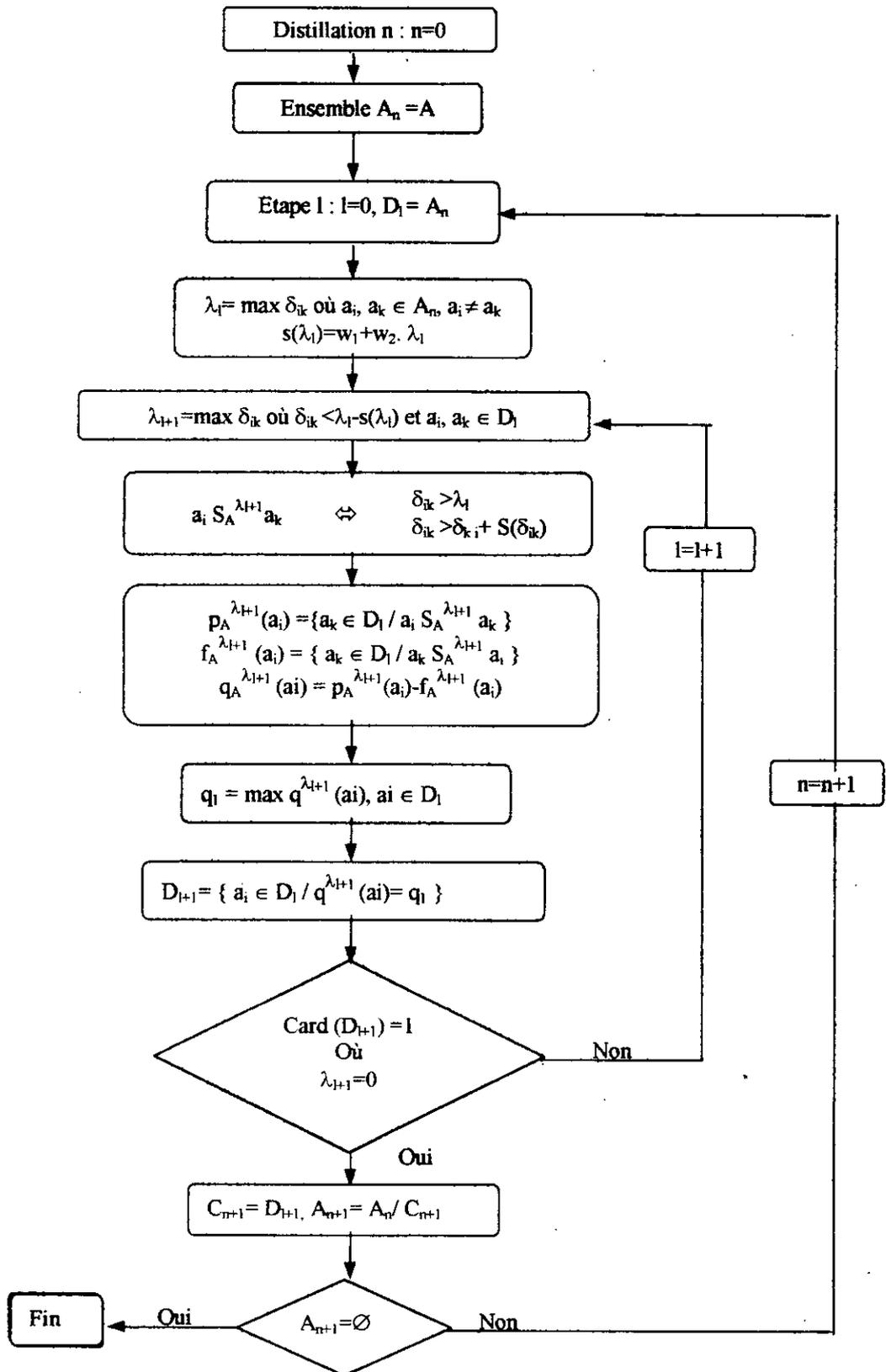


Fig V.9 Organigramme de classement (Distillation descendante)

### V.6.9 Construction des deux préordres totaux et du préordre partiel

On rappelle que

- Le préordre total est un système relationnel de préférence établi par les relations de surclassement (S), sur l'ensemble des actions potentielles.
- Le préordre partiel est un système relationnel de préférence créé par les relations de surclassement (S), et d'incomparabilité (R) sur l'ensemble des actions potentielles.

L'algorithme [Fig V.9] de distillation permet d'élaborer, à partir des relations de surclassement deux préordres totaux (distillation descendante, ascendante). Ces derniers servent à déterminer le préordre partiel final qui sera exploité pour donner une recommandation au décideur.

Le préordre partiel (intersection des deux préordres totaux), est construit de la façon suivante :

- Si l'action  $a_i$  est préférée à l'action  $a_k$  dans les deux préordres totaux, il en sera de même pour le préordre partiel.
- Si l'action  $a_i$  est équivalente à l'action  $a_k$  dans un préordre total, mais si elle lui est préférée dans le deuxième, alors  $a_i$  sera préférée à  $a_k$  au classement final.
- Si dans le premier préordre  $a_i$  est préférée à  $a_k$  et si dans le second  $a_k$  est préférée à  $a_i$ , alors les deux actions seront **incomparables** dans le préordre final.

### V.6.10 Représentation graphique

Elle consiste à positionner les actions sur un plan, en utilisant leurs rangs de classement dans les deux distillations comme coordonnées. Cette représentation offre une grande simplicité de réalisation et d'interprétation:

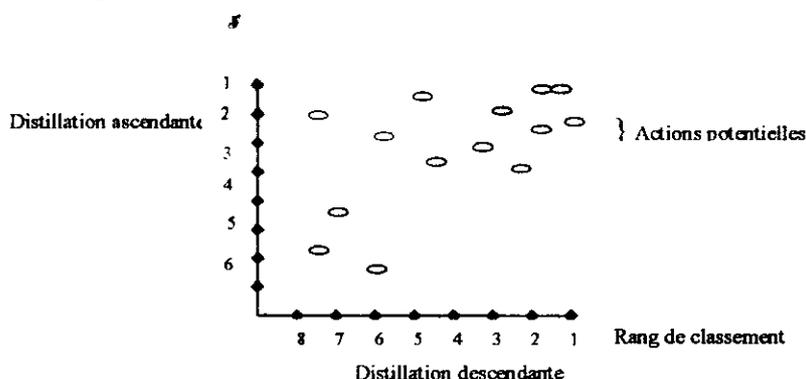


Fig V.10 Représentation graphique des deux distillations

L'interprétation de cette figure peut être facilitée en effectuant une rotation des axes de  $45^\circ$ . On définit ainsi deux nouveaux axes : l'axe médian et l'axe d'incomparabilité. [Voir Fig V.11]

- L'axe médian permet de repérer les actions dont la différence de position dans les deux distillations n'est pas importante. Cela correspond donc à des positions bien établies et qui servent à élaborer la recommandation.

- L'axe d'incomparabilité permet de repérer les actions dont la différence de position dans les deux distillations est grande. Cette différence exprime le fait qu'une action surclasse d'autres actions dans la première distillation, et qu'elle ne les surclasse pas dans la seconde. Ainsi, elle montre clairement son incomparabilité. [Voir Fig V.10]

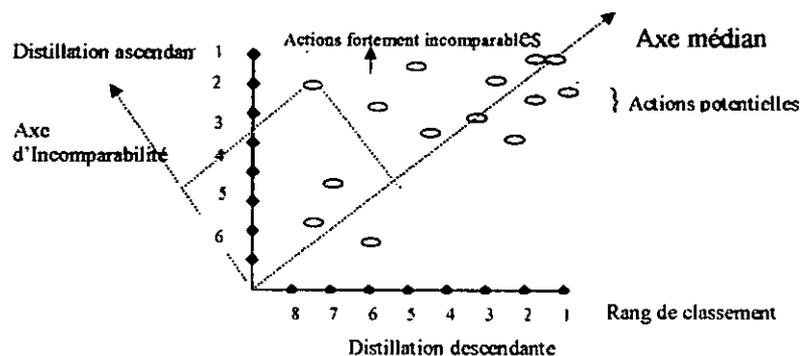


Fig V.11 Représentation graphique des deux distillations

Cette figure permet de constater qu'une forte incomparabilité n'est possible que pour les **rangs moyens** dans le classement **médian**, autrement dit une bonne ou une mauvaise action ne peut être que faiblement incomparables.

Il n'est pas possible d'affirmer à partir du résultat de classement fourni par la méthode, Les positions (rangs) des actions qui présentent une forte incomparabilité. A cet effet, il faut faire recours au décideur afin de recueillir plus d'informations sur ces préférences; qui permettent de trancher dans les situations de forte incomparabilité.

Les coordonnées des actions selon l'axe d'incomparabilité et l'axe médian représentant respectivement l'incomparabilité et le rang médian sont obtenues comme suit :

- Rang médian = (Rang descendant + Rang ascendant) / 2
- Incomparabilité = (Rang descendant - Rang ascendant) / 2

# *CHAPITRE VI*

---

*Application et  
interprétation du résultat*

## CHAPITRE VI

# APPLICATION ET INTERPRETATION DU RESULTAT

### Introduction

Ce présent chapitre est consacré à l'application de la méthode multicritère ELECTRE III, utilisée pour le classement des actions potentielles définies lors de la modélisation, en se basant sur les différents critères considérés.

Nous présenterons dans un premier lieu le logiciel conçu pour la mise en œuvre de la méthode. En second lieu, nous expliciterons notre démarche pour la détermination des valeurs des différents paramètres propres à ELECTRE III, puis nous présenterons les résultats obtenus.

La dernière partie de ce chapitre consiste en l'interprétation de ces résultats.

### VI.1 Présentation du logiciel

Afin d'appliquer la méthode ELECTRE III au problème posé, nous avons conçu un logiciel intitulé [ELECTRE III]. Ce dernier a été programmé en langage DELPHI en utilisant le logiciel **Borland Delphi** [Version 4].

[ELECTRE III] est un logiciel à interface graphique s'exécutant sous environnement Windows. Ainsi, il offre à l'utilisateur la possibilité de faire aisément une analyse de sensibilité des différents paramètres de la méthode, et de tester l'influence de leur variation sur le résultat.

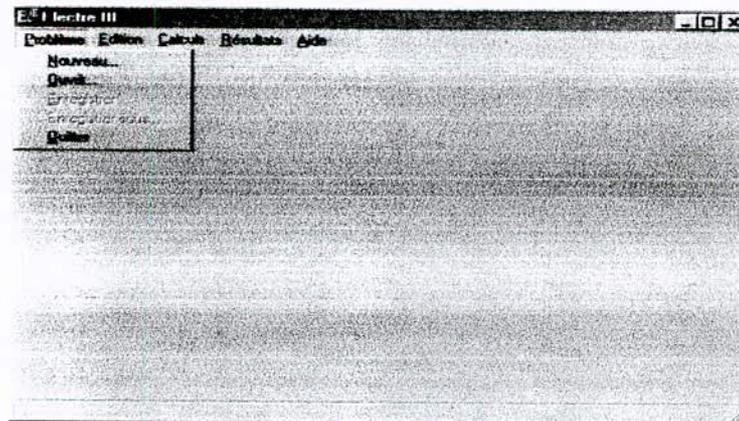


Fig VI.1 Menu principal du logiciel [ELECTRE III]

## VI.2 Structure du logiciel

Nous pouvons représenter la structure de notre logiciel par l'organigramme suivant :

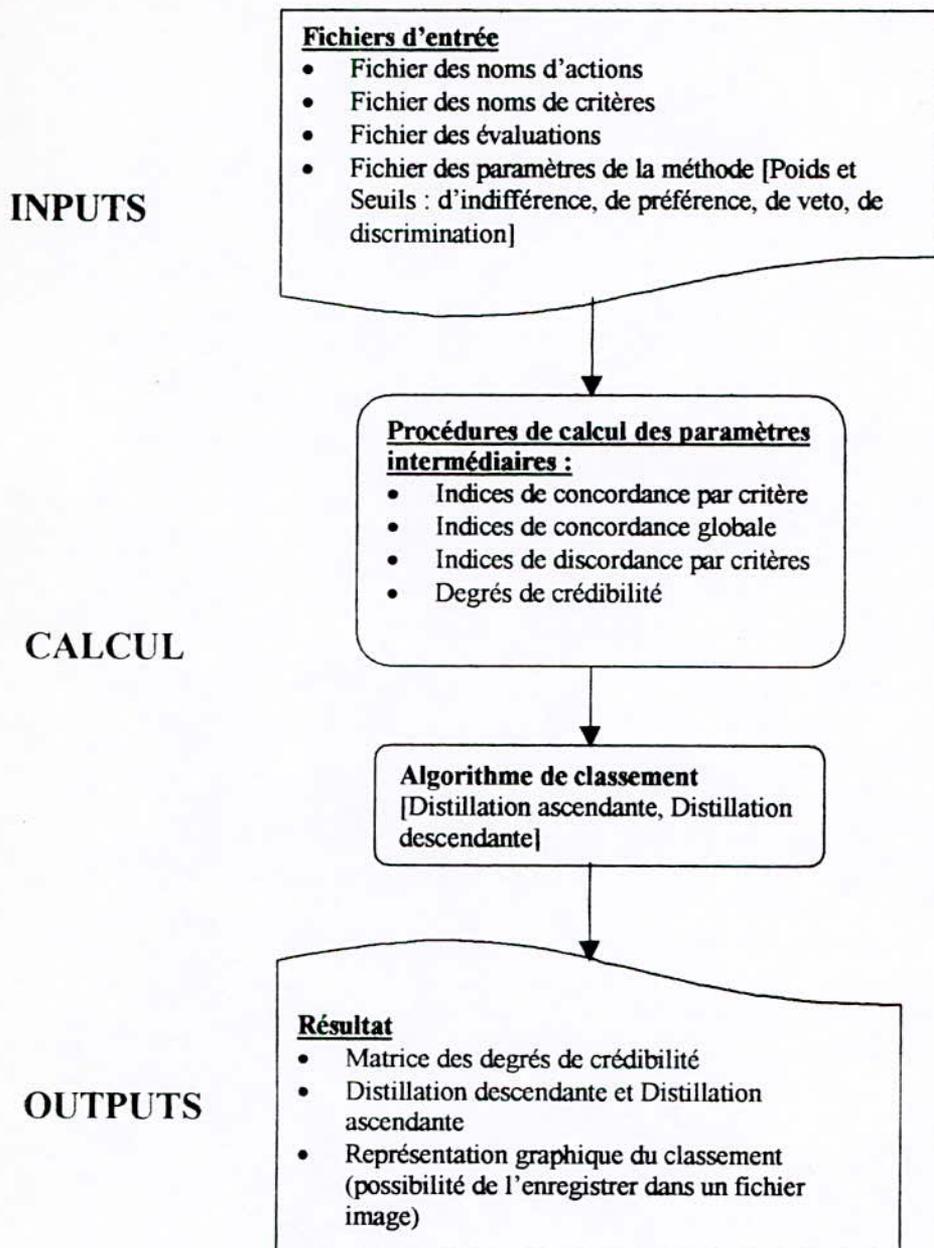


Fig VI.2 structure du logiciel [ELECTRE III]

### A. INPUTS

Les interfaces visuelles permettant de saisir les différentes données d'entrée élaborées lors de la modélisation, sont représentées par la figure suivante :

The figure displays four screenshots of a software interface for data entry, with numbered callouts (1-10) pointing to specific UI elements:

- Top Left:** 'Paramètres' window, 'Actions' tab. Shows a list of actions (1) and a form for 'Action Numéro: 2' (3) with a name field (2). A 'Fermer' button is at the bottom.
- Top Right:** 'Paramètres' window, 'Critères' tab. Shows a list of criteria (5) and a form for 'Critère Numéro: 1' (6) with a name field (7) and weight fields (8).
- Bottom Left:** 'Paramètres' window, 'Seuils' tab. Shows a list of criteria (9) and a form for 'Seuils d'indifférence', 'Seuils de préférence', and 'Seuils de veto' (10) with  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients.
- Bottom Right:** 'Paramètres' window, 'Evaluations' tab. Shows a table of evaluations (9) with columns for criteria and actions.

1 Affichage des noms d'actions  
 2 Zone de saisie des noms d'actions  
 3 Numéro de l'action  
 4 Bouton pour l'enregistrement des données  
 5 Numéro du critère  
 6 Zone de saisie des noms des critères  
 7 Zone de saisie des poids des critères  
 8 Zone de saisie des coefficients de la fonction Seuil de discrimination  
 9 Zone de saisie des évaluations  
 10 Zone de saisie des coefficients des seuils des critères

Fig VI.3 Interfaces visuelles pour la saisie des données d'entrée

**B. CALCUL**

Les procédures de calcul intermédiaires sont représentées au [§ V.6] où nous avons explicité le cheminement de la méthode ELECTRE III. Quant à l'algorithme de distillation, il est développé au [§ V.6.8].

**C. OUTPUTS**

Ils représentent les principales fonctions du logiciel, qui permet donc :

- L'affichage de la matrice des degrés de crédibilité, ainsi que les deux distillations Ascendante et Descendante.
- La représentation graphique du classement des différentes actions.

Ceci est montré lors de la présentation des résultats [§ VI.4].

### VI.3 Détermination des paramètres de la méthode ELECTRE III

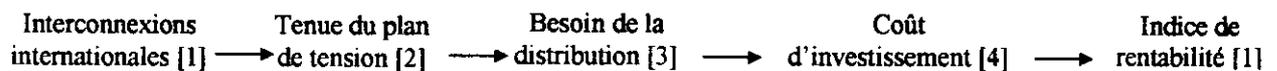
Après la détermination des actions potentielles, des critères, et de la matrice des évaluations, il est nécessaire de déterminer les valeurs des paramètres spécifiques à la méthode :

- **Paramètres intra – critères : [seuil d'indifférence, seuil de préférence]**  
Ces paramètres représentent l'information sur les écarts d'évaluation des actions potentielles, selon le critère considéré.
- **Paramètres inter – critères : [seuil de veto, poids]**  
Ces paramètres représentent l'information relative aux différents critères.
- **Seuil de discrimination** : C'est un paramètre technique, qui permet d'apprécier l'écart entre les degrés de crédibilité des surclassements et de définir des niveaux de séparation afin d'établir les deux chaînes de distillation.

Les différentes valeurs des paramètres sont déterminées dans des intervalles qui serviront à conduire l'analyse de sensibilité. Cependant, la valeur médiane de l'intervalle est attribuée à chaque paramètre, afin d'aboutir à une solution dite **Solution de base**.

#### VI.3.1 Détermination des poids

Nous commençons par déterminer les poids des critères afin de montrer leur importance relative des différents critères. Ceci nous aidera à élaborer les différents seuils pour chacun d'eux. Pour ce faire, nous avons établi avec l'aide du décideur, un ordre d'importance des critères comme suit :



#### Ordre d'importance décroissant des critères

A partir de cet ordre d'importance, nous prendrons les valeurs des poids des critères variant dans les intervalles suivant, sachant que leur somme des poids doit être égale à 1 :

- Critère 1 : Interconnexion internationale  $P_1 \in [0.35, 0.45]$
- Critère 2 : Tenu du plan de tension  $P_2 \in [0.2, 0.3]$
- Critère 3 : Besoin de la distribution  $P_3 \in [0.15, 0.25]$
- Critère 4 : Coût 'investissement  $P_4 \in [0.05, 0.15]$
- Critère 5 : indice de rentabilité  $P_5 \in [0, 0.1]$

### VI.3.2 Détermination des seuils d'indifférence et de préférence

- **Seuil d'indifférence** : Il représente le plus grand écart entre les évaluations, jugé compatible avec une situation d'indifférence. [Voir § III.8].
- **Seuil de préférence** : Il représente le plus grand écart entre les évaluations, jugé non probant d'une situation de préférence stricte.

Dans le programme informatique que nous avons élaboré, nous les avons définis (pour chaque critère) comme étant une fonction linéaire de l'évaluation de l'action la moins préférée du couple considéré (mode direct) :  $[q_j(g_j(a)) = \alpha + \beta g_j(a), s_j(g_j(a)) = \alpha' + \beta' g_j(a)]$  [Voir § III.8.3]. De ce fait, il faudra déterminer les valeurs des coefficients  $\alpha, \alpha'$ , et  $\beta, \beta'$  - en se référant aux évaluations des actions par critère - dans un intervalle permettant de faire une étude de sensibilité.

**Remarque** Afin de considérer des seuils constants, on met  $\beta, \beta' = 0$ .

#### A. LIGNES - [Actions ( $a_i$ )]

##### A.1 Critères techniques

##### Critère 1 : Interconnexions internationales

- Les évaluations des actions selon ce critère sont ordinales. Cependant, nous pouvons considérer que deux évaluations exprime l'équivalence entre deux actions si leur écart (différence de position) est inférieur ou égale à un seuil **constant** ( $\beta=0$ ) dont la valeur est prise dans l'intervalle  $[0, 2]$ .
- Nous pouvons considérer que la préférence stricte est affirmée en faveur d'une action, si l'écart entre son évaluation et l'évaluation de l'action qui lui est comparée est supérieur à un seuil **constant** dont la valeur est prise dans l'intervalle  $[4, 6]$

##### Critère2 : Tenue du plan de tension - Critère 3 : Besoins de la distribution

Nous pouvons considérer que ces deux critères ont la même valeur pour tous les seuils puisque :

D'une part, ils ont quasiment la même importance relative exprimée par leurs poids. D'autres part, les évaluations des actions potentielles sont ordinales (rang de classement) et donc établies dans une même échelle. Alors, les écarts (différences de position) qui expriment l'indifférence, la préférence et même le veto peuvent être pris identiques pour les deux critères.

En conséquence :

- Nous pouvons prendre un seuil d'indifférence constant dont dans l'intervalle  $[0, 2]$  pour ces deux critères.
- Concernant le seuil de préférence, nous pouvons tolérer un seuil inférieur à celui du premier critère puisque celui-ci est plus important que les deux critères considérés. Nous prendrons donc un seuil constant ( $\beta' = 0$ ) dans l'intervalle  $[3, 5]$ , pour les deux critères.

## A.2 Critères économiques

### Critère 4 : Coût d'investissement

Pour élaborer des seuils d'indifférence et de préférence représentatifs de l'information apportée par les évaluations selon ce critère, nous classons ces dernières par ordre de priorité. Ce qui nous permet d'explicitier et d'interpréter leurs caractéristiques de la manière suivante:

Sens de préférence  
→

Actions $a_i$	$a_{14}$	$a_5$	$a_{10}$	$a_6$	$a_8$	$a_2, a_{11}, a_{12}$
Coût (-) (MDA)	-1320	-965,84	-579,7	-282,52	-272,8	-201,8
Actions $a_i$	$a_4, a_7$	$a_3$	$a_{13}$	$a_9$	$a_1$	$a_{15}$
Coût (-) (MDA)	-161,44	-154,46	-121,08	-100,9	-60,356	-27,030

**Tableau 1 : Classement des actions  $a_i$  par ordre de priorité selon le critère « Coût d'investissement »**

L'évaluation minimale est : -1320 (MDA)

L'évaluation maximale est -27,030 (MDA)

L'écart minimal<sup>1</sup> entre deux évaluations est 6.98 (MDA)

- D'après les évaluations précédentes, nous pouvons prendre un seuil d'indifférence constant ( $\beta=0$ ) et fixé dans l'intervalle [5, 10].
- Nous pouvons remarquer dans le tableau précédent que la différence entre les évaluations des actions **non – prioritaires** est très importante par rapport à celle des actions prioritaires. Ainsi pour affirmer la préférence stricte entre deux actions, il est adéquat de prendre le seuil de préférence comme étant une fonction **décroissante avec l'évaluation** [ $\alpha + \beta \cdot g_j(a_i)$ ]:
  - On peut fixer la valeur du coefficient  $\alpha'$  dans l'intervalle [10, 50].
  - Pour fixer la valeur du coefficient  $\beta'$  et sachant que le seuil est défini en mode **direct**, on dit que l'action  $a_i$  est préférée à l'action  $a_j$  si l'évaluation de  $a_i$  surpasse celle de  $a_j$  de 10 à 20 %. Ceci se traduit par  $\beta' \in [-0.1, -0.2]$ .

#### Exemple

$$g_j(a_8) = -272.8, g_j(a_{10}) = -579.7.$$

L'action la moins préférée du couple est l'action  $a_{10}$ , donc le seuil de préférence est  $[30 + (-0.15) \cdot (-579.7) = 116.955]$

$g_j(a_8) - g_j(a_{10}) = 306.9 > 116.955 \Rightarrow$  l'action  $a_8$  est strictement préférée à l'action  $a_{10}$  selon le critère « Coût d'investissement ».

<sup>1</sup> Cet écart aide à définir le seuil d'indifférence

**Critère 5 : Indice de rentabilité**

Afin d'élaborer les seuils d'indifférence et de préférence par rapport à ce critère, nous adoptons la même démarche que pour le critère précédent, en disposant les évaluations selon un ordre de priorité croissant.

Actions $a_i$	$a_{14}$	$a_6$	$a_2, a_{12}, a_{11}$	$a_4, a_7$	$a_{10}$	$a_3$
Indice de rentabilité	-1,139	-0,887	-0,58	-0,311	-0,288	0,012
Action $a_i$	$a_5$	$a_{13}$	$a_9$	$a_8$	$a_{15}$	$a_1$
Indice de rentabilité	0,106	0,138	0,497	1,471	6,651	25,565

**Tableau 2 : Classement des actions  $a_i$  par ordre de priorité selon le critère « Indice de rentabilité »**

L'évaluation minimale est : -1,139

L'évaluation maximale est : 25,565

L'écart minimal entre deux évaluations est : 0,023

- En s'appuyant sur les évaluations du Tableau 2, nous prenons un seuil d'indifférence constant, qui sera sensibilisé dans l'intervalle  $[0, 0.2]$
- En remarquant que la différence entre les actions **prioritaires** est plus grande que celle entre les actions **non – prioritaires**, nous pouvons expliciter le seuil de préférence à l'aide d'une fonction **croissante** avec l'évaluation de l'action considérée :
  - La valeur du coefficient  $\alpha'$  est fixée dans l'intervalle  $[0.2, 0.5]$ .
  - $\beta'$  est pris dans l'intervalle  $[0.25, 0.35]$ . C'est à dire, pour que l'action  $a_i$  soit strictement préférée à l'action  $a_j$ , il faut que l'évaluation de  $a_i$  dépasse celle de  $a_j$  de 25 à 35 %.

**Exemple**

$$g_j(a_8) = 1,471, g_j(a_{15}) = 6,651$$

L'action la moins préférée du couple est l'action  $a_8$ , donc le seuil de préférence est  $[0.35 + (0.3) \cdot (1,471) = 0,7913]$

$g_j(a_{15}) - g_j(a_8) = 5,18 > 0,7913 \Rightarrow$  l'action  $a_{15}$  est strictement préférée à l'action  $a_8$  selon le critère « Indice de rentabilité ».

**B. POSTES – [action (b<sub>j</sub>)]****B.1 Critères techniques**

Les valeurs des seuils exprimant l'indifférence et la préférence stricte entre les postes électriques selon chaque critère technique, sont élaborées à partir de leurs évaluations ordinales, qui représentent leurs rangs de classement. Celles-ci sont établies en se référant aux évaluations des lignes électriques, afin de garder la cohérence dans le classement des deux types d'actions. [Voir § IV.4.1 –B].

Par conséquent, il est possible de prendre les valeurs des seuils d'indifférence et de préférence dans les mêmes intervalles de référence pour les lignes et les postes. Ces valeurs sont résumées dans le tableau suivant :

Critères ---->	Interconnexions internationales	Tenue du plan de tension	Besoins de la distribution
Seuil d'indifférence [Constant]	$\alpha \in [0,2]$ $\beta = 0$	$\alpha \in [0,2]$ $\beta = 0$	$\alpha \in [0,2]$ $\beta = 0$
Seuil de préférence [Constant]	$\alpha' \in [4,6]$ $\beta' = 0$	$\alpha' \in [3,5]$ $\beta' = 0$	$\alpha' \in [3,5]$ $\beta' = 0$

**Tableau 3 :** Valeurs des coefficients des seuils d'indifférence et de préférence pour les critères techniques

**B.2 Critères économiques**

La même démarche que nous avons suivi pour l'évaluation des seuils concernant les lignes, est adoptée pour les postes:

**Critère 4 : coût d'investissement**

Les postes sont classés par ordre de priorité croissant.

N° du poste	b <sub>1</sub>	b <sub>3</sub> , b <sub>4</sub> , b <sub>9</sub>	b <sub>2</sub> , b <sub>5</sub> , b <sub>6</sub> , b <sub>8</sub>	b <sub>7</sub>
Coût (MDA)	-1840	-1823	-731,8	-85

**Tableau 4 :** Classement des postes par ordre de priorité selon le critère « Coût d'investissement »

L'évaluation minimale est :-1840 (MDA)

L'évaluation maximale est :-85 (MDA)

L'écart minimal entre deux évaluations est : 17 (MDA)

- On prend un seuil d'indifférence constant tel que  $\alpha \in [10, 20]$ .
- On prend le seuil de préférence comme une fonction croissante avec l'évaluation considérée [ $\alpha' + \beta' g_j(a_i)$ ]:

$$\alpha' \in [750, 850]$$

$$\beta' \in [0.2, 0.4]$$

**Remarque** Sachant que la valeur des seuils doit être toujours **positive**<sup>2</sup> et que les évaluations selon le critère coût sont **négatives**, nous avons établi les coefficients ( $\alpha'$ ,  $\beta'$ ) de façon à ce que la fonction croissante soit toujours positive, quelque soit l'évaluation.

### **Critère 5 : Indice de rentabilité.**

Les postes sont classés par rapport à ce critère, selon un ordre de priorité croissant :

N° du poste	$b_3, b_4, b_9$	$b_2, b_5, b_6, b_8$	$b_1$	$b_7$
Indice de rentabilité	-1,372	-0,992	-0,868	1,134

**Tableau 5 :** Classement des postes par ordre de priorité selon le critère « Coût d'investissement »

L'évaluation minimale est :-1,372

L'évaluation maximale est :-0,992

L'écart minimal entre deux évaluations est :0,124

- Le seuil d'indifférence est pris constant, en considérant que  $\alpha \in [0.1, 0.3]$
- Le seuil de préférence est considéré comme étant une fonction croissante de l'évaluation tel que :

$$\alpha' \in [0.4, 0.5]$$

$$\beta' \in [0.1, 0.2]$$

### **VI.3.3 Détermination du seuil de veto**

C'est un paramètre qui caractérise certains critères, il permet à ces derniers d'exercer leur veto, et donc de modifier leur importance vis à vis des autres critères. [Voir § V.6.4]

Dans notre programme informatique, ce seuil est défini à l'aide d'une fonction linéaire similaire à celle définie pour les seuils d'indifférence et de préférence (mode direct) [ $v_j(g_j(a) = \alpha'' + \beta'' g_j(a))$ ]. Toutefois, si le critère est jugé pas assez important pour exercer un veto, nous pouvons attribuer à son seuil une grande valeur de façon à ce que l'écart entre les deux évaluations ne puisse eut lui être supérieur.

#### **A. LIGNES [actions (ai)]**

##### **A.1 Critères techniques**

#### **Critère 1 : Interconnexion internationale**

Sachant que ce critère est le plus important parmi les autres et que les évaluations des actions potentielles sont des évaluations ordinales, l'effet de veto lui est attribué, en considérant la valeur **constante** du seuil de veto ( $\beta''=0$ ), et fixée dans l'intervalle [8,10].

<sup>2</sup> Il exprime un écart référentiel entre deux évaluations

**Exemple**

$$g_j(a_1) = 13, g_j(a_{11}) = 2$$

On veut tester l'hypothèse [(ligne 11) surclasse (ligne 1) au niveau global] (1)

$g_j(a_1) - g_j(a_{11}) = 11 > 9$  (seuil de veto). Alors, l'hypothèse (1) n'est pas acceptée même si la ligne 11 surclasse la ligne 1 par rapport à tous les autres critères.

**Critère 2 : Tenue du plan de tension - Critère 3 : Besoins de la distribution**

De façon similaire, nous prenons un seuil de veto constant pour les deux autres critères techniques, mais avec une valeur plus grande pour montrer qu'ils sont moins importants que le précédent. Donc, nous considérons  $\alpha'' \in [11, 13]$

**A.2 Critères économiques****Critère 4 : Coût d'investissement - Critère 5 : Indice de rentabilité**

Les poids attribués à ces critères montrent qu'ils sont moins prioritaires par rapport aux critères techniques. Par ce fait, nous supprimons leur effet de veto en donnant une grande valeur au coefficient  $\alpha''$ .

$$\text{Critère 4 : } \alpha'' = 10000$$

$$\text{Critère 5 : } \alpha'' = 50$$

**B. POSTES - [actions ( $b_j$ )]****B.1 Critères techniques****Critère 1 : Interconnexions internationales**

Nous considérons un seuil de veto constant ( $\beta'' = 0$ ) pour ce critère, tel que  $\alpha'' \in [6, 8]$ .

**Critère 2 : Tenue du plan de tension - Critère 3 : Besoins de la distribution**

Comme ces deux critères sont moins importants que le précédent, nous pouvons leur attribuer un seuil de veto (constant) plus grand, qui prend sa valeur dans l'intervalle [7, 9].

**B.2 Critères économiques****Critère 4 : Coût d'investissement - Critère 5 : Indice de rentabilité**

Nous attribuons de grandes valeurs aux seuils de ces deux critères, afin de supprimer leur effet de veto, vu qu'ils n'ont pas une grande importance relativement aux critères techniques

### VI.3.4 détermination du seuil de discrimination

Ce seuil est déterminé à partir d'une fonction décroissante en  $\lambda$  [ $S(\lambda) = w_1 + w_2 \cdot \lambda$  (Voir § V.6.6)].

Après plusieurs simulation, et en se basant sur la matrice des degrés de crédibilité, nous avons fixé les valeurs des coefficients :  $w_1 = 0,3$ ,  $w_2 = -0,15$ . Ces valeurs ne doivent être modifiées qu'avec beaucoup de prudence, puisqu'elles constituent la base du processus de distillation.

Les valeurs moyennes dans les intervalles contenant les différents paramètres pour les lignes et les postes, peuvent être représentés par le tableau suivant :

Critères > Paramètres	Critère 1 Interconnexion internationale		Critère 2 Tenu du plan de tension		Critère 3 Besoins de la distribution		Critère 4 Coût		Critère 5 Indice de rentabilité	
	Lignes	Postes	Lignes	Postes	Lignes	Postes	Lignes	Postes	Lignes	Postes
ponds	$P_1=0,4$	$P_1=0,4$	$P_1=0,25$	$P_1=0,25$	$P_1=0,2$	$P_1=0,2$	$P_1=0,1$	$P_1=0,1$	$P_1=0,05$	$P_1=0,05$
Seuils d'indifférence $\alpha + \beta \cdot g_j(a_i)$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=1$ $\beta=0$	$\alpha=7,5$ $\beta=0$	$\alpha=15$ $\beta=0$	$\alpha=0,1$ $\beta=0$	$\alpha=0,2$ $\beta=0$
Seuils de préférence $\alpha' + \beta' \cdot g_j(a_i)$	$\alpha'=5$ $\beta'=0$	$\alpha'=5$ $\beta'=0$	$\alpha'=4$ $\beta'=0$	$\alpha'=4$ $\beta'=0$	$\alpha'=4$ $\beta'=0$	$\alpha'=4$ $\beta'=0$	$\alpha'=30$ $\beta'=-0,15$	$\alpha'=800$ $\beta'=0,3$	$\alpha'=0,35$ $\beta'=0,3$	$\alpha'=0,35$ $\beta'=0,15$
Seuils de veto $\alpha'' + \beta'' \cdot g_j(a_i)$	$\alpha''=9$ $\beta''=0$	$\alpha''=7$ $\beta''=0$	$\alpha''=12$ $\beta''=0$	$\alpha''=8$ $\beta''=0$	$\alpha''=12$ $\beta''=0$	$\alpha''=8$ $\beta''=0$	$\alpha''=10000$ $\beta''=0$	$\alpha''=10000$ $\beta''=0$	$\alpha''=50$ $\beta''=0$	$\alpha''=50$ $\beta''=0$

**Tableau 6 : Valeurs moyennes attribuées aux différents paramètres**

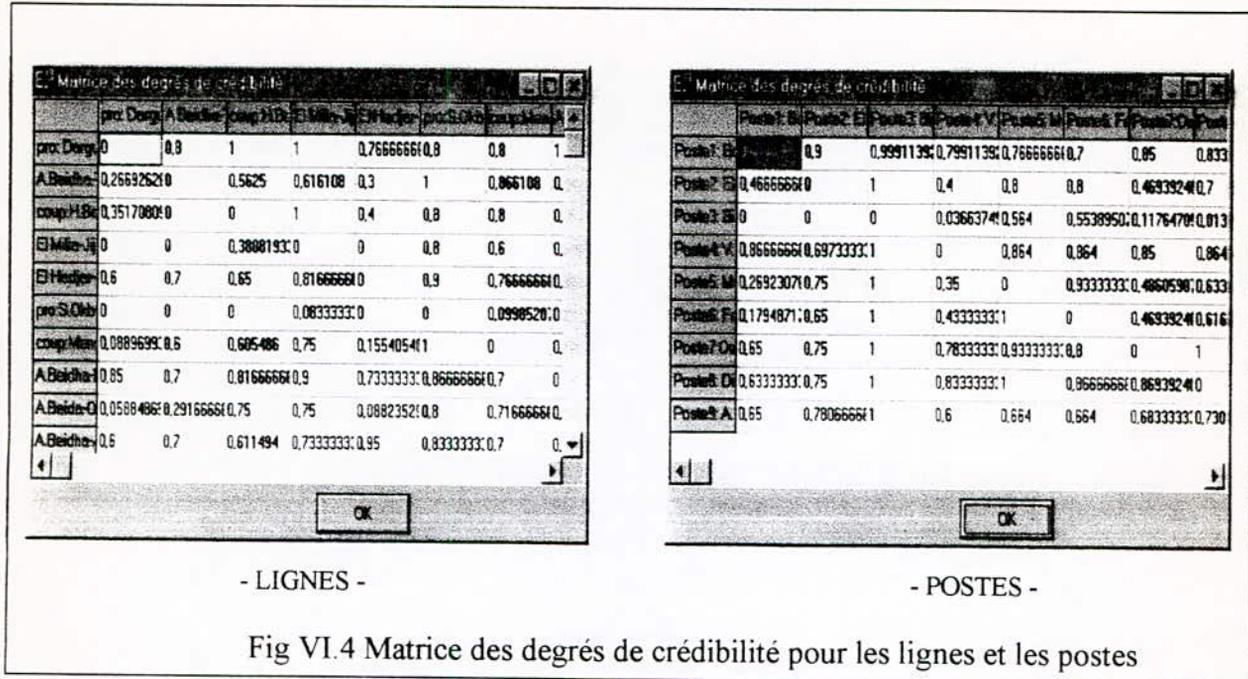
Après la détermination des différents paramètres de la méthode, nous pouvons exécuter le logiciel pour trouver une **solution de base**.

## VI.4 Présentation des résultats

Le logiciel nous a permis d'avoir les résultats suivants qui représentent la solution de base :

### VI.4.1 Matrice des degrés de crédibilité

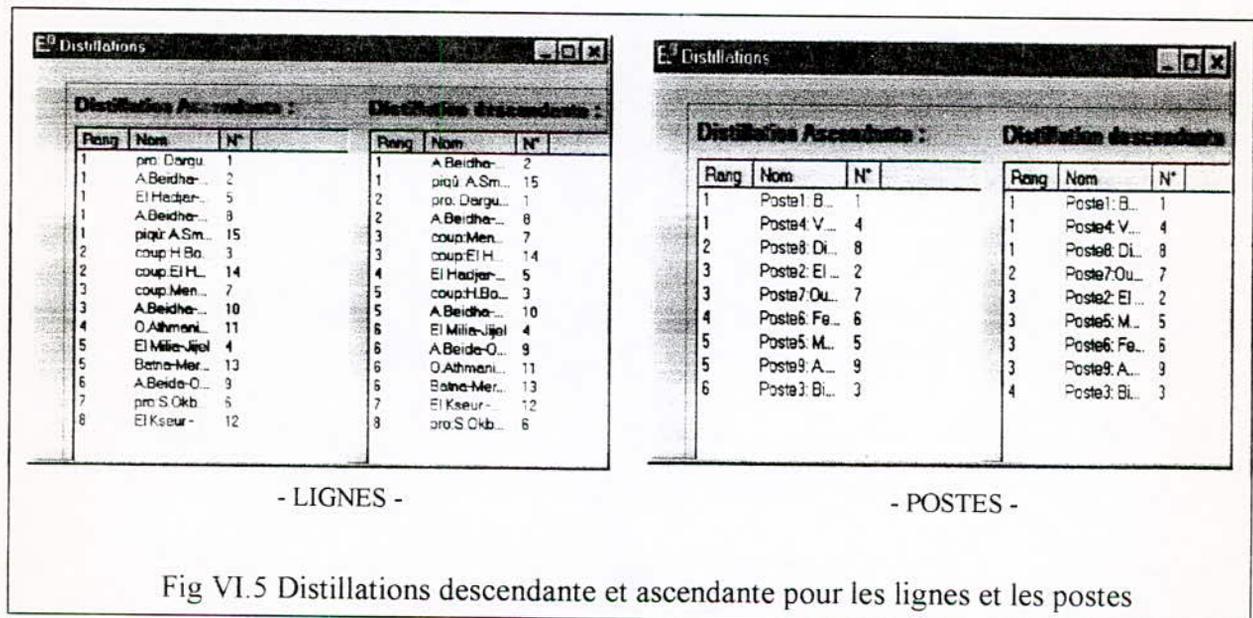
C'est une matrice carrée  $[\delta_{ij}]$  dont les lignes représentent les actions potentielles  $a_i$  et les colonnes représentent les actions qui leurs sont comparées  $a_j$ , tel que les valeurs des degrés de crédibilité  $\delta_{ij}$  expriment la crédibilité de l'hypothèse «  $a_i$  surclasse  $a_j$  » [Voir Fig, VI.4]



### VI.4.2 Distillations

Deux préordres totaux sont élaborés qui représentent respectivement la distillation descendante et la distillation ascendante. Chaque distillation est constituée de classes d'équivalence qui contiennent des actions indifférentes (ex-aequo)

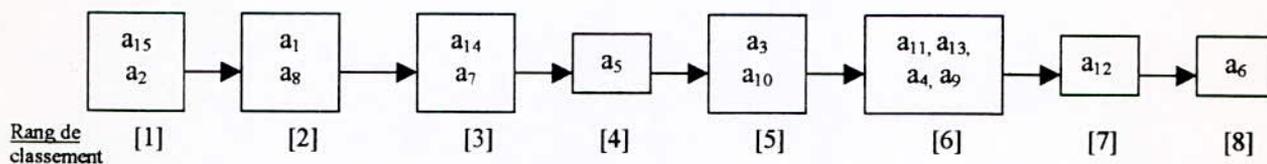
L'interface suivante permet de représenter les deux distillations :



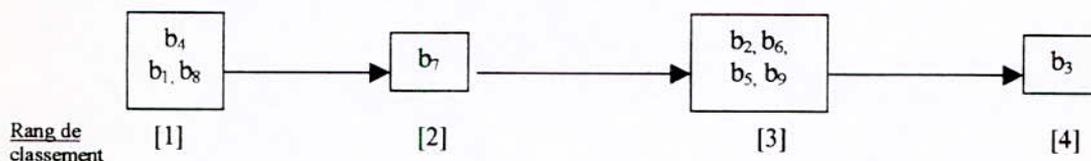
**A. Distillation descendante**

Les actions sont distillées depuis la meilleure jusqu'à la plus mauvaise.

**A.1 Lignes**



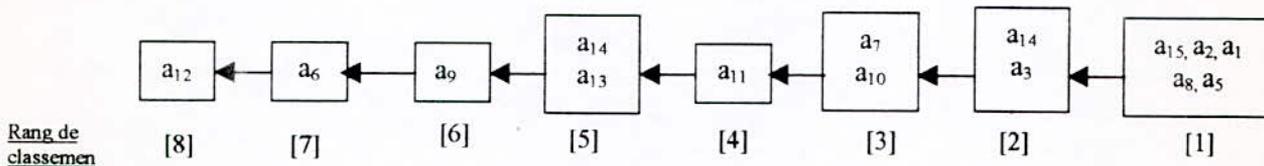
**A.2 Postes**



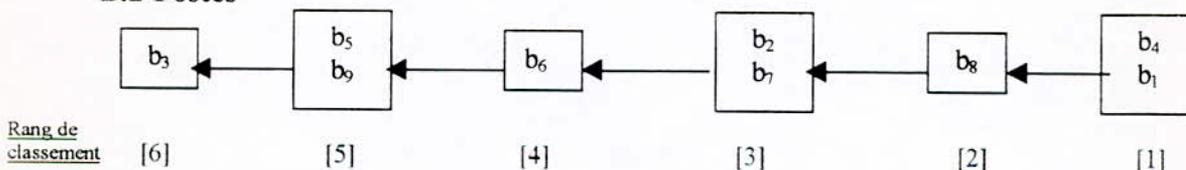
**B. Distillation ascendante**

Les actions sont distillées depuis la plus mauvaise jusqu'à la meilleure

**B.1 Lignes**



**B.2 Postes**



**C. Synthèse des deux distillations**

A partir des deux préordres totaux, il est possible de construire un préordre partiel qui les regroupe, la démarche de construction est présentée au [§ V.6.9]

**C.1 Lignes**

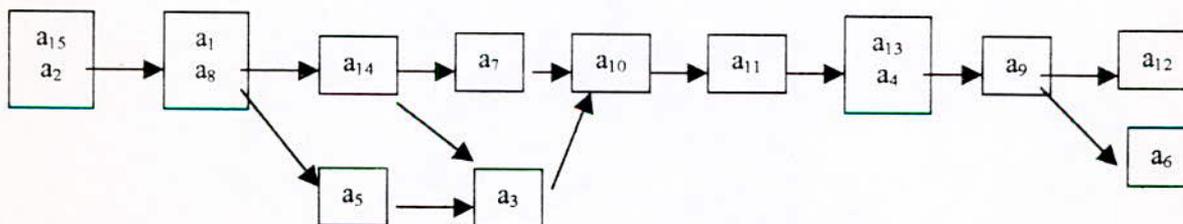
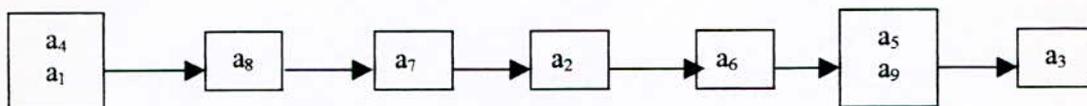


Fig VI.6 Graphe représentant le préordre partiel des lignes

Les arcs expriment les relations de surclassement entre deux actions. On peut remarquer l'incomparabilité entre les actions (a<sub>5</sub> et a<sub>14</sub>), (a<sub>5</sub>, a<sub>7</sub>), (a<sub>3</sub>, a<sub>7</sub>).et (a<sub>12</sub>, a<sub>6</sub>).

**C.2 Postes**



**VI.4.3 Représentation graphique**

Les résultats peuvent être représentés graphiquement comme suit :

**A. Lignes**

N ° de l'action	LIGNES
1	Prolongement vers Darguinah (poste) de Jijel - Darguinah
2	Ain Beida - Tamelouka
3	Coupure Hamma Bouziane -R Djamel (ancien) vers R Djamel (nouveau)
4	El Milia - Jijel
5	El Hadjar - Djendouba
6	Prolongement de la ligne Biskra - S Okba jusqu'à Z. Ahmed
7	Coupure a Didouche mourad de mensouriah -H Bouziane
8	Ain Beida -Khenchela
9	Ain Beida - O El Bouaghi
10	Ain Beida - Ain M'lila
11	O Athmania - Ferdjioua
12	El Kseur - Bejaia
13	Batna - Merouana
14	Coupure a V Mascort de El Hadjar- Annaba
15	Piqûre a A Bey sur A Smara

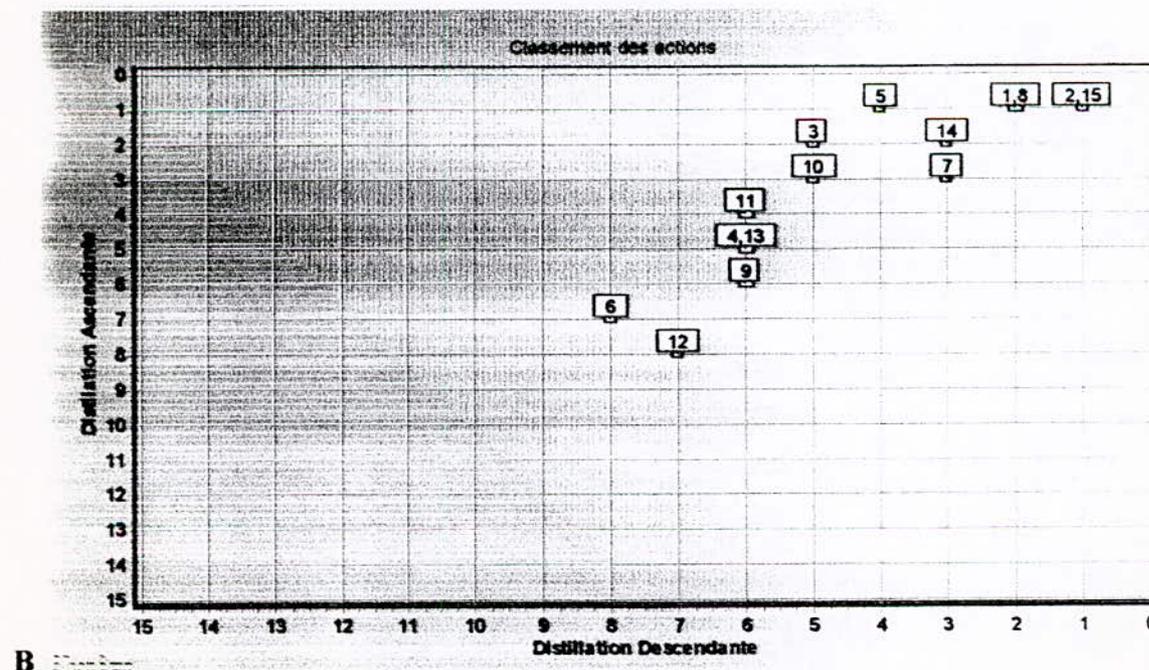


Fig VI.8 Représentation graphique du classement des lignes électriques

N° de l'action	1	2	3	4	5	6	7	8	9
postes	B.Bou Ariridj	El Milia	Biskra (Ville)	Val Mascort	Merouana	Ferdjioua	Oum El Bouaghi	Didouche Mourad	Ain Bey

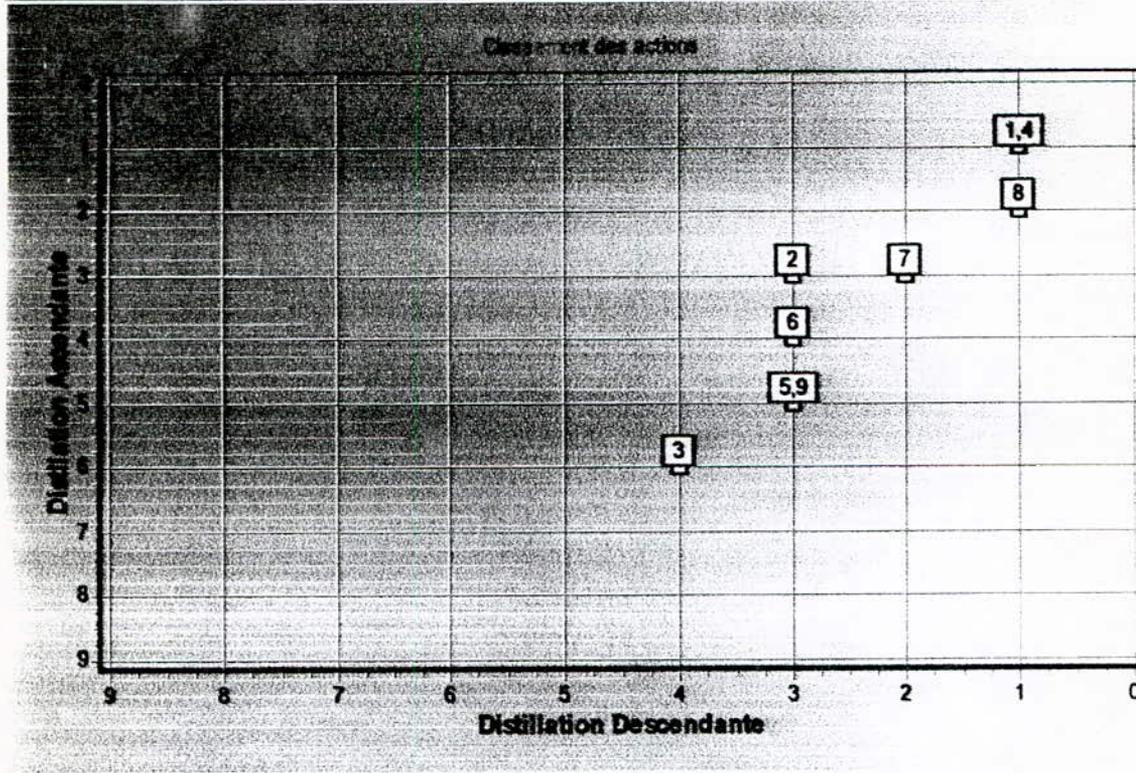


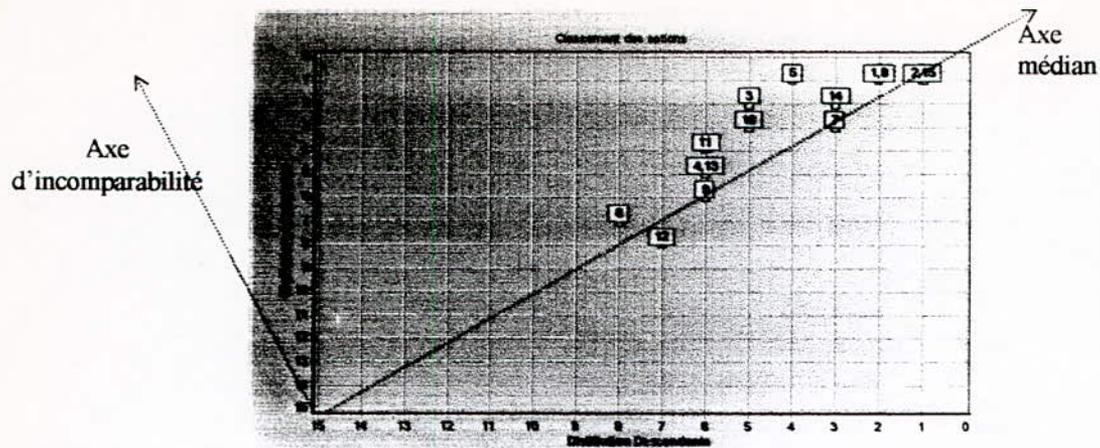
Fig VI.9 Représentation graphique du classement des postes électriques

### VI.5 Interprétation du résultat

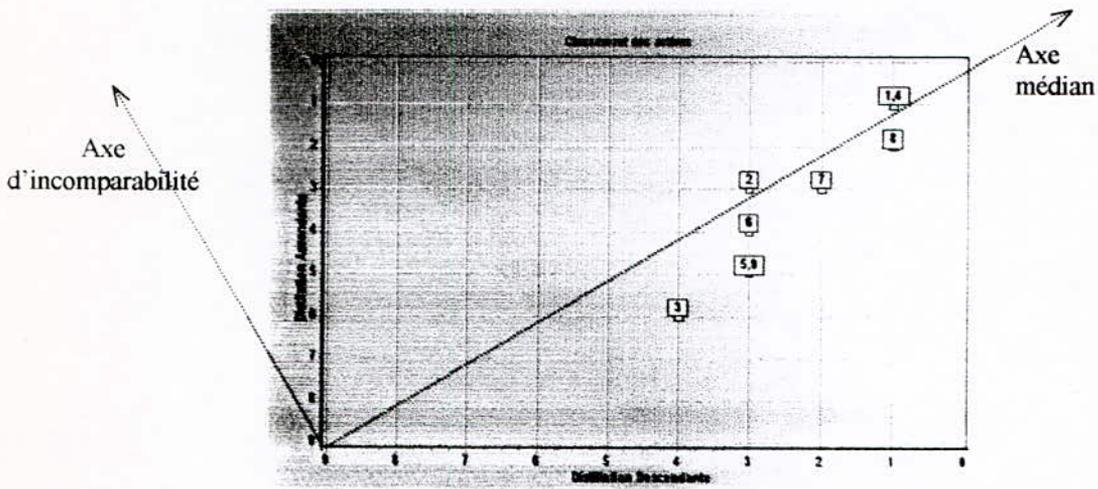
Nous allons procéder à l'interprétation du résultat obtenu qui représente la solution de base.

La méthode ELECTRE III permet à travers deux distillations, de comparer entre deux classements antagonistes (Ascendant, Descendant), afin de déduire les positions bien établies des différentes actions. Ces positions sont repérées sur l'axe médian.

Les actions caractérisées par une grande différence de rang dans le classement ascendant et descendant présente une incomparabilité aux autres actions. Elles peuvent donc être repérées sur l'axe d'incomparabilité.



- LIGNES -



- POSTES -

Fig VI.10 Représentation de l'axe médian et de l'axe d'incomparabilité

Les coordonnées des deux types d'actions sur les différents axes sont représentées par les tableaux [Tableau 7, Tableau 8] :

**A. lignes**

Actions $a_i$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$
Rang descendant	2	1	5	6	4	8	3	2	6	5	6	7	6	3	1
Rang ascendant	1	1	2	5	1	7	3	1	6	3	4	8	5	3	1
Rang médian	1.5	1	3.5	5.5	2.5	7.5	3	1.5	6	4	5	7.5	5.5	2.5	1
Incomparabilité	0.5	0	<u>1.5</u>	0.5	<u>1.5</u>	0.5	0	0.5	0	0	1	-0.5	0.5	0.5	0

Tableau 7 : Coordonnées des actions  $a_i$  selon les différents axes

- Le milieu du classement est formé par les actions  $b_7, b_2, b_6$
- Les actions formant la queue du classement sont les actions  $b_5, b_9, b_3$

### C. Synthèse du classement des postes et des lignes

Nous allons procéder à l'interprétation du résultat en synthétisant les deux classements :

Nous constatons la cohérence du classement des lignes et des postes représentés dans le tableau suivant :

Ligne électrique	Poste auquel elle sera raccordée	Actions $[a_i - b_j]$	Position de la ligne et du poste dans le classement
Prolongement de la ligne Biskra - S Okba jusqu'à Z. Ahmed	Biskra (ville)	$[a_6 - b_3]$	En fin de classement
Coupure à Didouche Mourad de Mensouriah - H. Bouziane	Val Mascort	$[a_{14} - b_4]$	Au début du classement
O. Athmania - Ferdjioua	Merouana	$[a_{13} - b_5]$	En fin de classement
Batna - Merouana	Ferdjioua	$[a_{11} - b_6]$	Au milieu du classement
Coupure de Val Mascort de El Hadjar - Djendouba	Didouche Mourad	$[a_7 - b_8]$	Au milieu du classement

- Nous remarquons que le poste  $b_7$  (Oum El Bouaghi) est situé au milieu du classement, alors que la ligne  $a_4$  qui lui sera raccordé est située en fin de classement. En effet, le poste  $b_7$  représente une cabine mobile [Voir ANNEXE 3] dont le coût est moins important relativement aux coûts des autres postes. Donc, la priorité de  $b_7$  selon le critère « Coût d'investissement » a tendance à le positionner aux premiers rangs du classement
- Nous remarquons que le poste  $b_2$  (El Milia) se positionne au milieu du classement, or la ligne  $a_4$  qui lui sera raccordée est située en fin de classement. Cela peut être interprété comme suit :  
Le fonctionnement de la ligne  $a_4$  est conditionné par le poste  $b_2$ , mais les études faites par l'entreprise révèlent l'importance de ce dernier en montrant que son installation limite les surcharges des autres postes de la région causées par les forts transits de puissance. Donc, ce poste augmente la sécurité du réseau et la qualité de service. Cela peut se voir dans les évaluations par rapport aux critères « Tenue du plan de tension, Interconnexions internationales », qui font que le poste a tendance à se positionner aux premiers rangs du classement.
- Nous remarquons que le poste  $b_9$  est situé en fin de classement, alors que la ligne qui lui est raccordé  $a_{15}$  est première du classement. Cela peut être interprété comme suit:

Bien que les études de l'entreprise ressortent la ligne  $a_{15}$  prioritaire par rapport au critère « Besoins de la distribution, Tenue du plan de tension », la priorité du poste  $b_9$  ne se justifie pas suite à ces études, il est envisagé donc d'adopter une solution provisoire en première phase en le remplaçant par un injecteur.

Aussi, nous constatons la non - priorité du poste  $b_9$  par rapport au critères économiques « Coût d'investissement, Indice de rentabilité », qui contribuent donc à le positionner en queue de classement. [Voir § IV.5.3] (Tableau des évaluations).

# *CHAPITRE VII*

---

*Analyse de sensibilité et  
élaboration de la  
recommandation*

## CHAPITRE VII

# ANALYSE DE SENSIBILITE ET ÉLABORATION DE LA RECOMMANDATION

### Introduction

L'analyse de sensibilité consiste à faire varier les valeurs attribuées aux paramètres de la méthode multicritère, utilisée pour déterminer une **solution de base**, dans des intervalles de référence préétablis. Cela vise à tester la stabilité et la robustesse du résultat face à ces variations, afin de cerner l'incertitude et l'imprécision dans l'élaboration du modèle.

L'analyse de sensibilité permet aussi de distinguer les paramètres qui conditionnent très étroitement la solution obtenue, c'est à dire, où il suffit d'une faible modification pour que cette solution soit changée significativement.

Dans ce présent chapitre, nous conduirons une analyse de sensibilité sur les différents paramètres de la méthode ELECTRE III appliquée pour classer les lignes électriques et les postes. Ensuite, et sur la base des résultats de cette analyse nous donnerons une recommandation au décideur. Celle-ci représente la finalité du processus multicritère d'aide à la décision.

### VII.1 Démarche de l'analyse de sensibilité

Dans notre étude, les paramètres d'ELECTRE III susceptibles de faire l'objet d'une analyse de sensibilité sont : les poids ( $P_j$ ), les seuils d'indifférence ( $q_j$ ), les seuils de préférence ( $s_j$ ) et les seuils de veto ( $v_j$ ).

Donc, pour conduire cette analyse, nous adoptons la démarche suivante pour les lignes et les postes :

- D'abord repérer la « **solution de base**. » qui correspond aux valeurs initiales attribuées aux paramètres de la méthode, et qui constituent donc les valeurs de référence.
- Ensuite distinguer toutes les solutions qui présentent **les traits communs** suivants :

#### Lignes

- Les actions [ $a_{15}, a_2, a_1, a_8$ ] sont les mieux classées dans cet ordre.
- Le groupe du milieu est constitué par les actions [ $a_{14}, a_7, a_{10}, a_{11}$ ].
- Le groupe de la fin du classement est constitué par les actions [ $a_6, a_{12}, a_9, a_{13}$ ].

#### Postes

- Les actions [ $b_1, b_4, b_8$ ] sont les mieux classées dans cet ordre.
- Le groupe du milieu est constitué par les actions [ $b_2, b_6$ ].
- Le groupe de la fin du classement est constitué par les actions [ $b_9, b_5, b_3$ ].

Ces solutions sont appelées « **famille de la solution de base** ».

- La solution obtenue sera dite stable, si les variations apportées aux valeurs de référence donnent une solution de base ou une famille de solutions de base. Si par contre, de petites variations dans les valeurs d'un paramètre entraînent une modification importante dans le résultat. Une discussion sera engagée avec le décideur, quant à la manière de modéliser ce paramètre et la pertinence du nouveau résultat par rapport à l'ancien.

Nous allons procéder à une analyse de sensibilité pour chaque paramètre **individuellement**, pour éviter la complexité d'une analyse multiparamètre (où nous devons sensibiliser plusieurs paramètres à la fois) et aussi, pour montrer l'influence de chaque paramètre sur la stabilité du résultat.

### VII.2 Variation des poids

Pour tester la stabilité du résultat face aux variations des poids, nous sensibilisons le poids de chaque critère dans son intervalle de référence [Voir § VI.3.1], tout en respectant les contraintes suivantes :

- La somme des poids doit être égale à 1.
- Les valeurs des poids doivent exprimer l'ordre d'importance des critères élaboré précédemment.

**Remarque** Si on sensibilise le poids d'un critère, les valeurs attribuées aux poids des autres critères changeront aussi car la somme être égale à 1. Donc, pour que l'analyse de sensibilité cible le poids du critère considéré, on suppose qu'une petite variation sera compensée par le cumul de très petites variations des autres poids. Celles-ci auront donc un effet négligeable relativement à ce critère.

#### Exemple

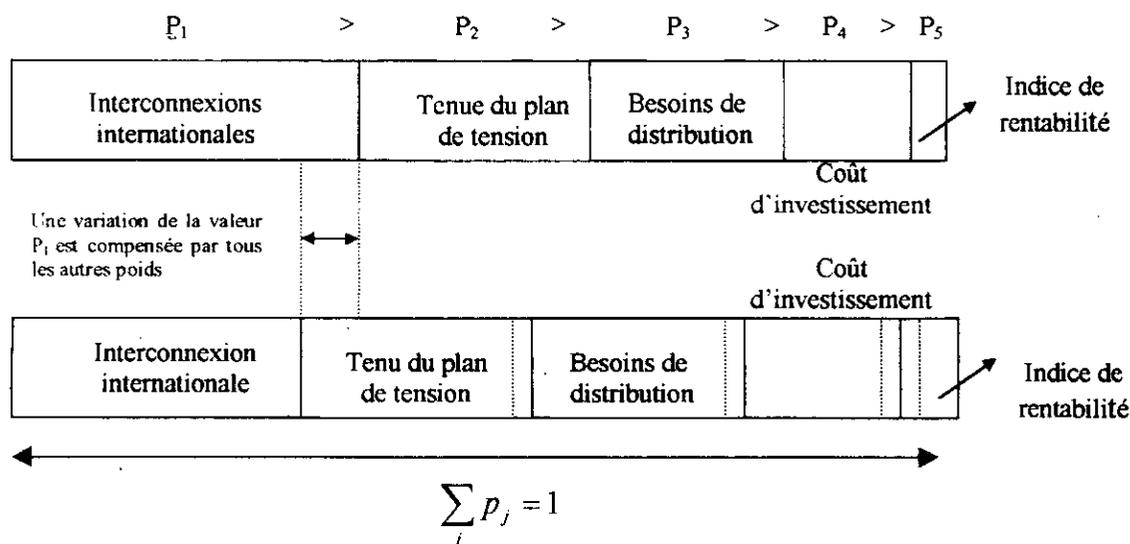


Fig VII.1 Démarche de l'analyse de sensibilité du poids ( $P_1$ ) du critère « Interconnexions internationales »

Les résultats des simulations obtenus pour les valeurs respectives de  $p_1$  (0.35, 0.375, 0.4, 0.425, 0.45), sont présentés ci-dessous :

**A. LIGNES**

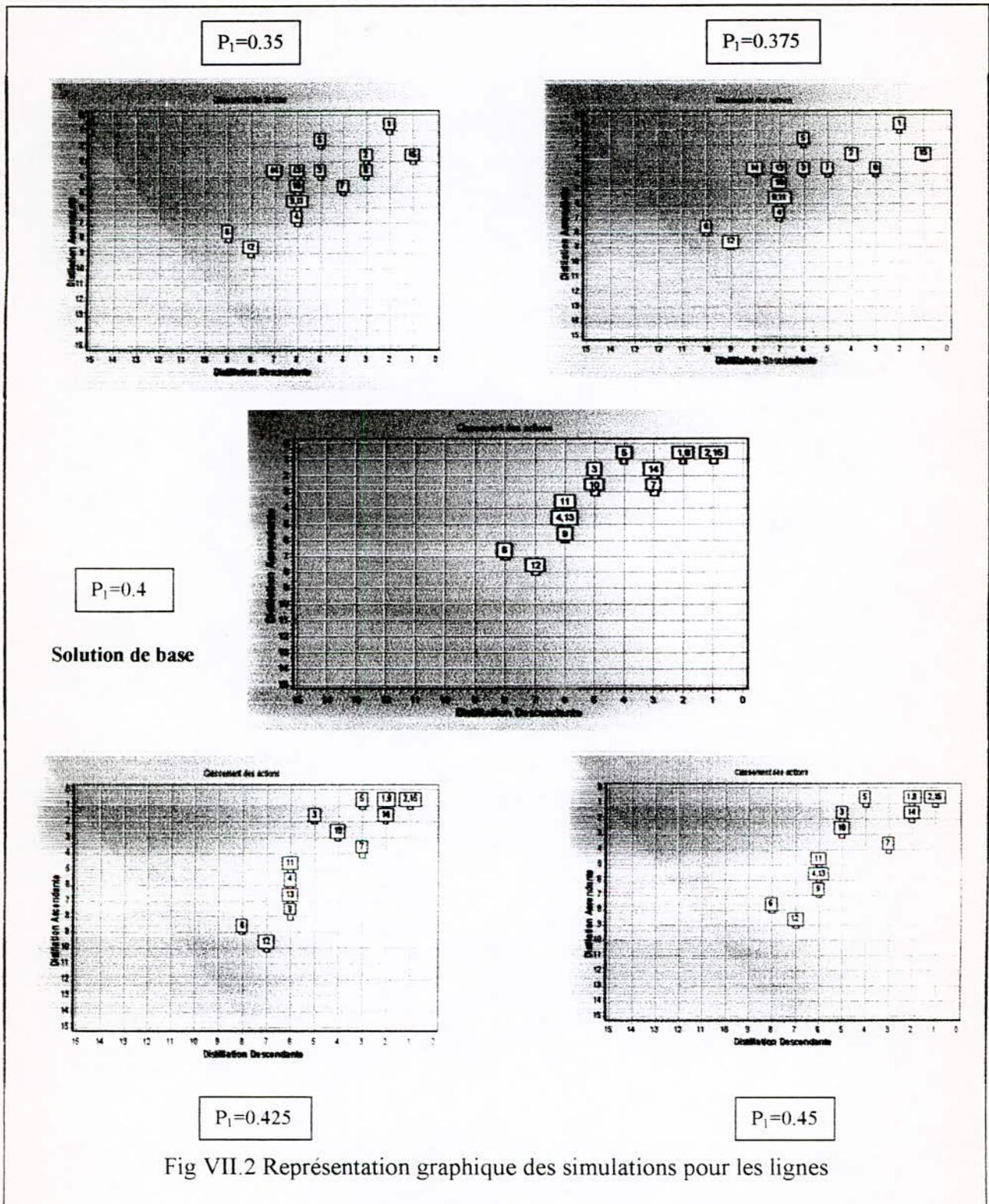


Fig VII.2 Représentation graphique des simulations pour les lignes

B. POSTES

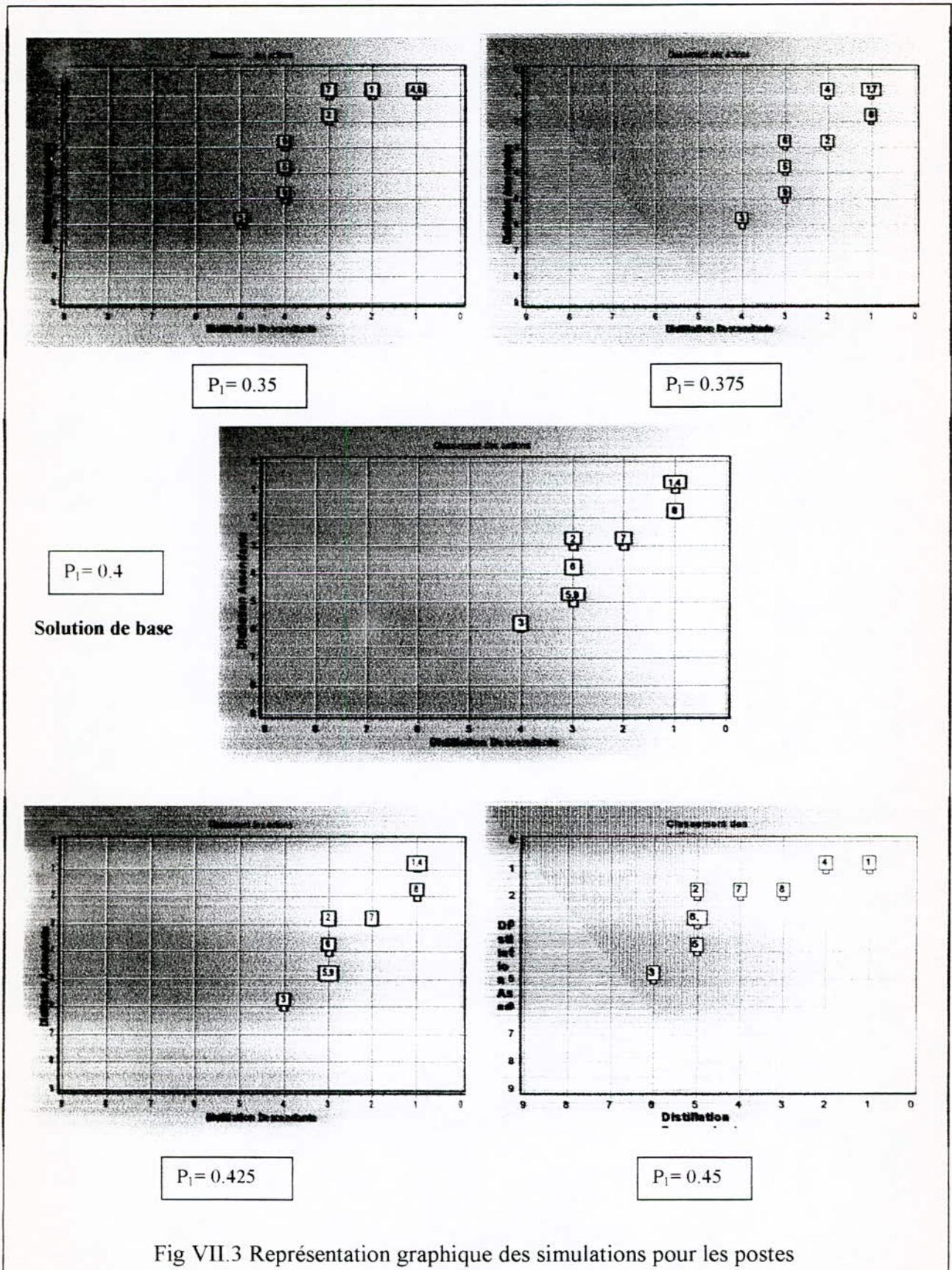
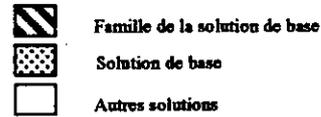
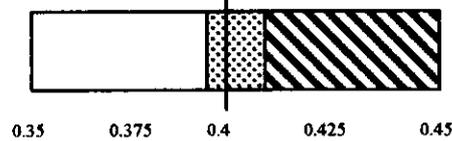


Fig VII.3 Représentation graphique des simulations pour les postes

Ces résultats peuvent être représentés comme suit :

a). Lignes

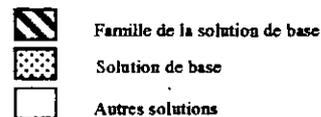
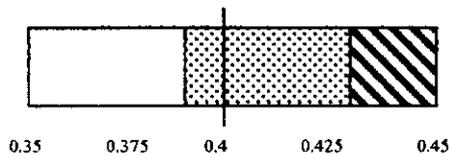
Critère 1 : Interconnexions internationales



On peut remarquer qu'une petite diminution de la valeur de  $p_1$  par rapport à la référence, engendre une solution différente de la solution de base. Par conséquent, on peut dire que le fait de réduire l'importance du critère « **Interconnexions internationales** » déstabilise le résultat obtenu. Par contre, ce même résultat présente une certaine robustesse quand on augmente la valeur du poids  $p_1$ , et donc l'importance du critère 1.

b). Postes

Critère 1 : Interconnexions internationales

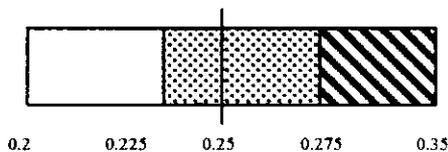


Nous pouvons remarquer qu'une diminution du poids  $p_1$  entraîne une modification de la solution de base. Cette dernière présente une grande stabilité - relativement au résultat obtenu pour les lignes - quand la valeur du poids est augmentée par rapport à la valeur de référence

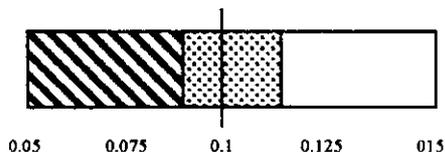
L'analyse de sensibilité des poids des autres critères est conduite de façon similaire que celle du poids  $P_1$ . Nous présentons ci-dessous les résultats de cette analyse :

a). Lignes

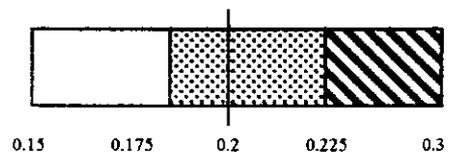
Critère 2 : Tenue du plan de



Critère 4 : Coût d'investissement



Critère 3 : Besoins de distribution



Critère 5 : Indice de rentabilité

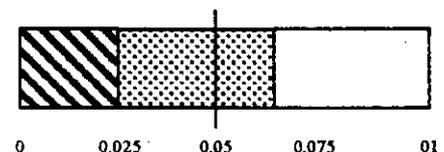


Fig VII. 4 Résultat des analyses de sensibilité des poids des critères pour les lignes électriques

Nous pouvons remarquer que les poids du critère 2 et 3 ( $P_2, P_3$ ) ont quasiment le même effet sur le résultat. Ce dernier est stable lorsqu'on augmente leurs valeurs par rapport aux valeurs de référence, mais une diminution de ces mêmes valeurs entraîne une modification significative de la solution de base.

Pour les deux critères économiques (Coût d'investissement, Indice de rentabilité), on remarque qu'une petite augmentation de leurs poids et donc de leur importance relative, provoque un changement du résultat, ce dernier présente une certaine robustesse face à une diminution des poids.

**b). Postes**

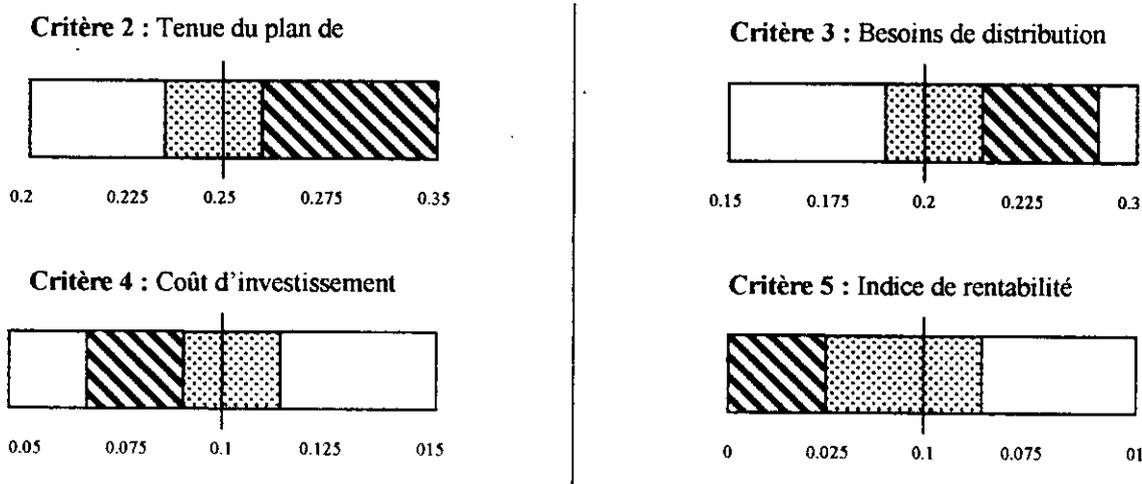


Fig VII. 5 Résultat des analyses de sensibilité des poids des critères pour les postes électriques

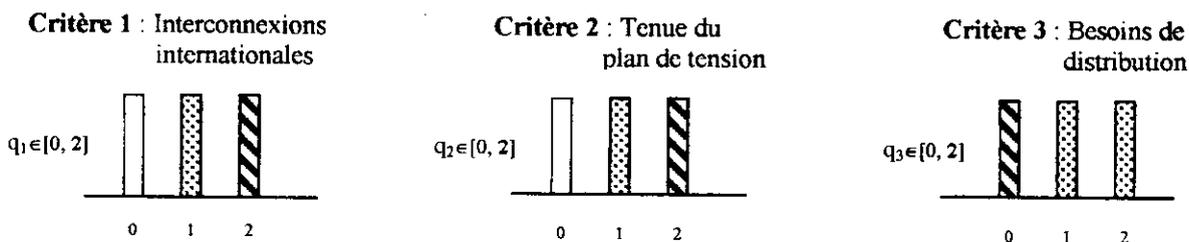
Le résultat du classement des postes présente une sensibilité aux variations du poids  $P_2$  et  $P_3$  analogue à celle du classement des lignes.

Nous remarquons aussi que la variation des poids  $P_3$  et  $P_4$  réduit le domaine de stabilité du résultat (solution de base ou famille de la solution de base).

**VII.3 Variation des seuils d'indifférence**

En sensibilisant les valeurs attribuées aux seuils d'indifférence dans leurs intervalles de référence, on a pu obtenir les résultats représentés ci-dessous :

**a). Lignes**



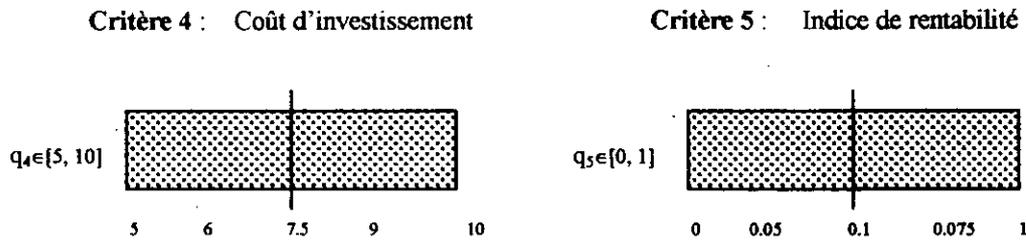


Fig VII. 5 Résultat des analyses de sensibilité des seuils d'indifférence pour les lignes électriques

**Remarque** Puisque les évaluations selon les critères techniques sont ordinales, donc les intervalles où les seuils sont sensibilisés sont discrets

Nous constatons que le fait d'annuler les seuils d'indifférence  $q_1, q_2$  des critères [Interconnexions internationales, Tenue du plan de tension] influence significativement la solution de base, celle-ci ne subit pas le même changement si le seuil  $q_3$  est annulé, puisque le résultat obtenu appartiendra à la famille de la solution de base.

Pour les deux critères économiques, la solution de base n'est pas modifiée lorsque leurs seuils d'indifférence sont sensibilisés. Ceci confirme donc sa stabilité.

**b). Postes**

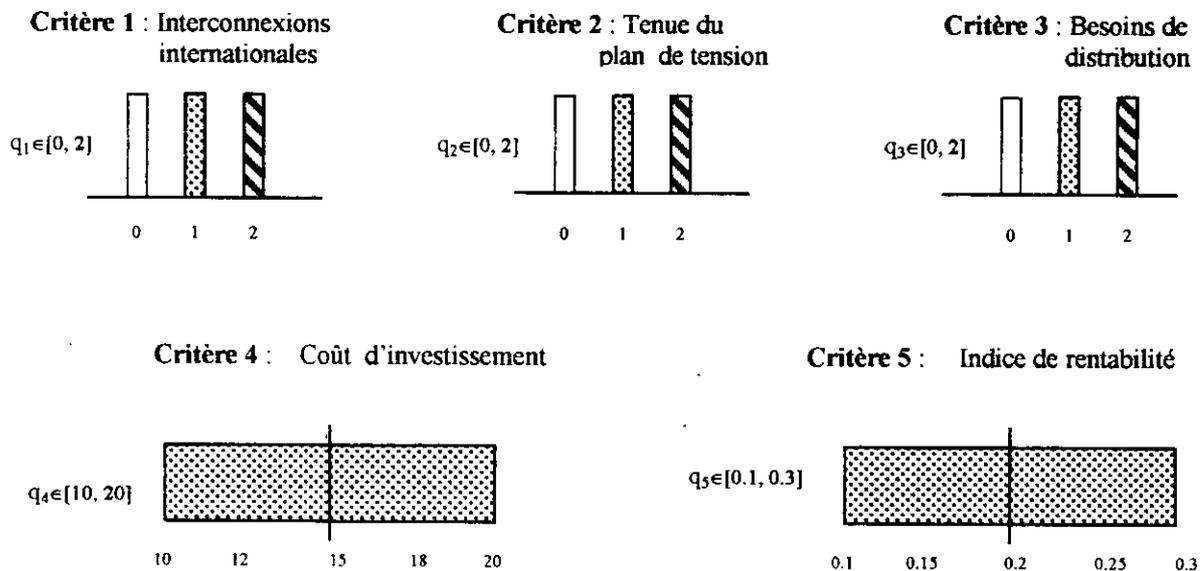


Fig VII. 6 Résultat des analyses de sensibilité des seuils d'indifférence pour les postes électriques

Nous remarquons que les variations des seuils  $q_1, q_2$  ont le même effet sur le résultat pour les lignes et les postes.

La variation du seuil  $q_3$  réduit la stabilité du résultat du classement des postes par rapport aux lignes.

La variation des seuils  $q_4, q_5$  montre une grande stabilité de la solution de base.

### VII.4 Variation des seuils de préférence

Les différentes valeurs des seuils de préférence testées dans les intervalles de référence, ont donné les résultats représentés ci-dessous :

#### a). Lignes

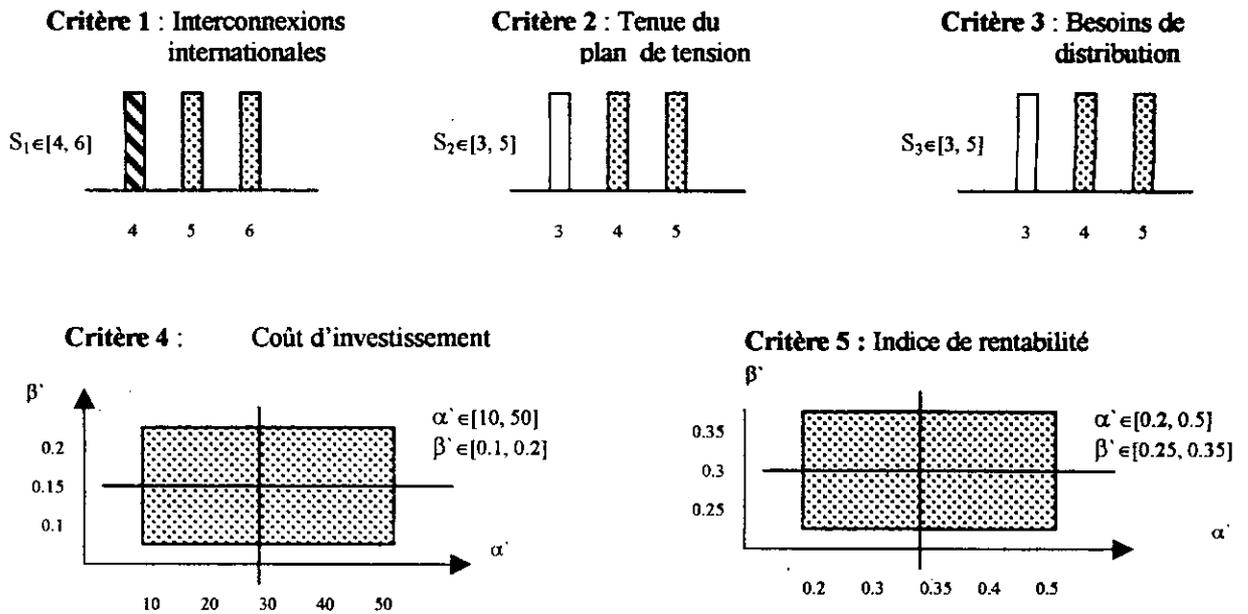


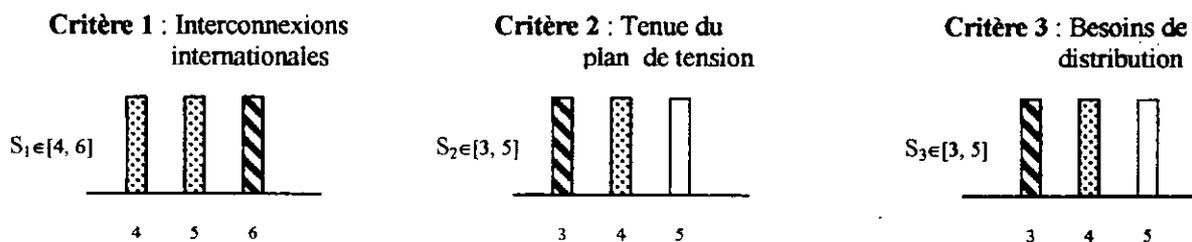
Fig VII. 7 Résultat des analyses de sensibilité des seuils de préférence pour les lignes électriques

**Remarque** Les seuils de préférence selon les critères 4 et 5, sont définis à partir d'une fonction linéaire  $[\alpha' + \beta' g_i(a), \alpha', \beta' \neq 0]$ , alors l'analyse de sensibilité doit être faite sur les deux coefficients simultanément, d'où la représentation bidimensionnelle.

L'étude de sensibilité sur les seuils de préférence, montre une stabilité du résultat par rapport à la variation du seuil  $s_1$  du critère 1. Cependant, une diminution des seuils  $s_2$  et  $s_3$  engendre un changement de la solution de base.

Pour les critères économiques, nous pouvons remarquer la stabilité de la solution de base face aux variations de leurs seuils de préférence.

#### b). Postes



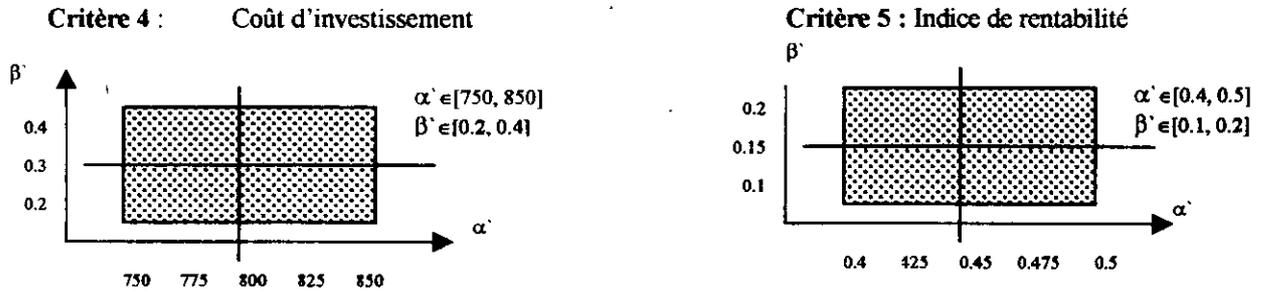


Fig VII. 8 Résultat des analyses de sensibilité des seuils de préférence pour les postes électriques

Nous pouvons constater la stabilité de la solution de base suite à la variation du seuil  $s_1$ .

Cette solution est modifiée significativement lorsqu'on augmente les seuils de préférence  $s_2$  et  $s_3$  par rapport à leurs valeurs de référence, par contre la diminution de ces seuils montre sa stabilité.

La variation des seuils de préférence pour les critères économiques [ $s_4$  et  $s_5$ ] ne provoquent pas de changement dans la solution de base.

**VII.5 Variation des seuils de veto**

L'étude de sensibilité porte sur les critères techniques uniquement, puisque nous n'avons pas attribuer l'effet de veto aux critères économiques.

**a). Lignes**

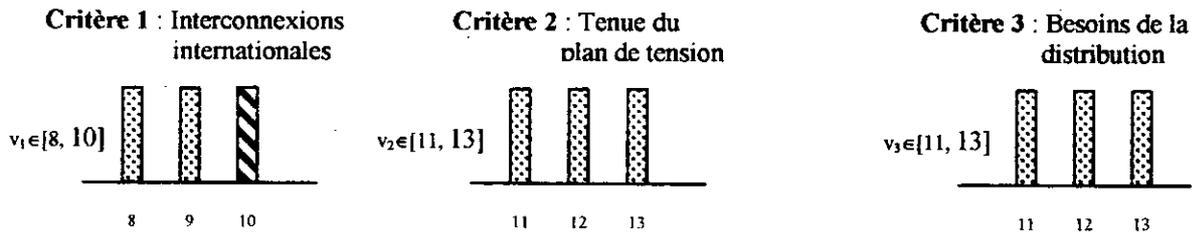


Fig VII. 9 Résultats des analyses de sensibilité des seuils de veto pour les lignes électriques

**b). Postes**

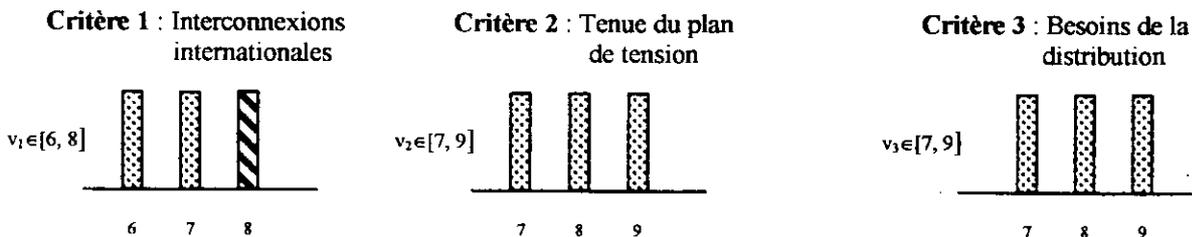


Fig VII. 10 Résultats des analyses de sensibilité des seuils de veto pour les postes électriques

La sensibilisation des seuils de veto dans leurs intervalles de référence, influence le résultat du classement des lignes et des postes de la même façon

## VII.6 Interprétation des analyses de sensibilité

### A. Lignes

La solution de base présente une stabilité modérée par rapport à la variation des différents seuils et très discutable par rapport à la variation des poids, notamment les poids des critères techniques. Ces derniers conditionnent donc étroitement cette solution de base. Néanmoins nous avons pu constater que toutes les solutions<sup>1</sup> obtenues suite aux différentes simulations présentent les traits communs suivant :

- Les lignes  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_{15}$ ,  $a_8$  se partagent, selon plusieurs combinaisons les meilleures positions.
- Les lignes  $a_7$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{11}$ ,  $a_9$  se positionnent toujours dans cet ordre au milieu du classement.
- Les lignes  $a_6$  et  $a_{12}$  sont toujours reléguées en queue de classement.

En outre, il apparaît le plus souvent l'incomparabilité des lignes  $a_5$  et  $a_3$  aux autres lignes, sachant que celle-ci se traduit par une grande différence de position dans les deux distillations (descendante, ascendante).

Les diverses simulations correspondant aux valeurs testées des différents paramètres ont montré que les positions des lignes  $a_4$ ,  $a_{13}$ ,  $a_{14}$  dans le classement présentent une instabilité remarquable. Toutefois, il apparaît dans la plus part des cas la non-priorité des lignes  $a_4$  et  $a_{13}$  et la priorité de la ligne  $a_{14}$ .

### B. Postes

La solution de base obtenue dans le classement des postes présente des caractéristiques de robustesse analogue à celle des lignes. Donc, elle est sensible aux variations des poids des critères, et montre une certaine stabilité quant à la variation des différents seuils. Toutefois, nous avons pu constater que toutes les solutions présentent les traits communs suivants :

- Les postes  $b_1$ ,  $b_4$  et  $b_8$  se partagent selon plusieurs combinaisons la tête du classement
- Les postes  $b_2$ ,  $b_6$  se positionnent au milieu du classement,
- Les postes  $b_9$ ,  $b_5$  et  $b_3$  se situent à la queue du classement

Nous constatons que le poste  $b_7$  change beaucoup de position dans le classement, notamment, suite à la sensibilisation des poids. En outre, plusieurs simulations montrent son incomparabilité aux autres actions. Ceci ne nous permet donc pas de faire une conclusion robuste sur sa position, cependant nous le déclarons prioritaire après avoir fait appel aux préférences du décideur.

---

<sup>1</sup> Même les solutions qui n'appartiennent pas à la famille de la solution de base

## VII. 7 Elaboration de la recommandation

L'analyse de sensibilité nous permet de déduire des éléments d'information bien établis, dans le classement obtenu. Ceci vise à élaborer une recommandation robuste, qui constituera un bon support pour le décideur dans la préparation de la décision finale.

En se basant sur cette analyse, nous pouvons donner au décideur la recommandation suivante, selon les différents types de projets :

- **Type 1** : Nouvelle ligne raccordée à un poste existant

Les lignes prioritaires et qui peuvent être réalisées dans la période délimitée par le plan moyen terme sont :

- a<sub>2</sub>: Ain Beida - Tamelouka
- a<sub>8</sub>: Ain Beida -Khenchela
- a<sub>1</sub>: Prolongement vers Darguinah (poste) de Jijel - Darguinah
- a<sub>10</sub>: Ain Beida – Ain M'lila
- a<sub>5</sub>: El Hadjar -Djendouba
- a<sub>3</sub>: Coupure Hamma Bouziane – Ramdane Djamel (ancien) vers Ramdane Djamel (nouveau)

Bien que le résultat nous montre l'incomparabilité des lignes a<sub>5</sub> et a<sub>3</sub>, le décideur nous a affirmé leur priorité.

La ligne a<sub>12</sub> est non prioritaire et donc sa réalisation sera reportée sur d'autres plans d'investissement.

a<sub>12</sub> : El Kseur-Bejaia

- **Type 2** : Nouvelle ligne raccordée à un nouveau poste

La ligne a<sub>7</sub> et le poste b<sub>8</sub> auquel elle sera raccordée sont prioritaires et peuvent être réalisés dans le moyen terme

- a<sub>7</sub> : Coupure à Didouche Mourad de Mensouriah – H. Bouziane
- b<sub>8</sub> : poste de Didouche Mourad

La réalisation de la ligne a<sub>6</sub> et le poste b<sub>3</sub> auquel elle sera raccordée, sera reportée sur d'autres plans puisqu'ils sont tous les deux non – prioritaires.

- a<sub>6</sub> : Prolongement de la ligne Biskra – S. Okba jusqu'à Z. Ahmed
- b<sub>3</sub> : Poste de Biskra (Ville)

La réalisation de la ligne a<sub>11</sub> et le poste b<sub>6</sub> auquel elle sera raccordée, sera reportée sur d'autres plans à cause de la non-priorité de ces ouvrages.

- a<sub>11</sub> : O.Athmania - Ferdjioua
- b<sub>6</sub> : Poste de Ferdjioua

La ligne a<sub>4</sub> est non- prioritaire dans la plus part des simulations faites lors de l'analyse de sensibilité, alors que le poste b<sub>2</sub> auquel elle sera raccordée est prioritaire. Par ce fait, nous pouvons recommander de réaliser le poste b<sub>2</sub> dans le moyen terme, et de reporter la réalisation de la ligne a<sub>4</sub> sur d'autres plans de développement.

- a<sub>4</sub> : El Milia -Jijel
- b<sub>2</sub> : Poste d'El Milia

La ligne a<sub>13</sub> présente les mêmes caractéristiques que la ligne a<sub>4</sub>, or le poste b<sub>5</sub> auquel elle sera raccordée est non - prioritaire. Par conséquent, nous recommandons de reporter la réalisation des deux ouvrages sur d'autres plans.

- a<sub>13</sub> : Batna - Merouana
- b<sub>5</sub> : Poste de Merouana

Malgré l'instabilité de la position de la ligne a<sub>14</sub> révélée par l'analyse de sensibilité, nous avons constaté sa priorité dans plusieurs simulations, de plus, le poste b<sub>4</sub> qui lui sera raccordé est le premier du classement. Par ce fait, nous recommandons la réalisation de ces deux ouvrages dans le moyen terme.

- a<sub>14</sub> : Coupure a V Mascort – d'El Hadjar – Annaba
- b<sub>4</sub> : Poste de V Mascort

La ligne a<sub>9</sub> est non- prioritaire, alors que le poste b<sub>7</sub> qui lui sera raccordé est considéré prioritaire, malgré la grande instabilité de sa position dans le classement, qui est constatée lors de l'analyse de sensibilité. Par ce fait, nous recommandons de réaliser le poste dans le moyen terme et de reporter la réalisation de la ligne sur d'autres plans.

- a<sub>9</sub> : Ain Beida – Oum El Bouaghi
- b<sub>7</sub> : Poste de Oum El Bouaghi

La ligne a<sub>15</sub> est la première dans le classement, alors que le poste b<sub>9</sub> auquel elle sera raccordée est non- prioritaire. Nous recommandons donc de réaliser la ligne a<sub>15</sub> dans le moyen terme, de reporter la réalisation du poste b<sub>9</sub> sur d'autres plans et d'adopter une solution provisoire (réalisation d'une cabine mobile ou d'un injecteur) qui assure le fonctionnement de la ligne.

- a<sub>15</sub> : Piqûre a Ain Bey sur Ain S'mara
- b<sub>9</sub> : Poste de Ain Bey

**Remarque** Cette recommandation vient confirmer ce qui a été envisagé par l'entreprise : la solution provisoire sera l'installation d'un injecteur en première phase pour remplacer le poste b<sub>9</sub>.

- **Type 3** : Réalisation d'un nouveau poste pour remplacer une solution provisoire ou pour limiter les surcharges des autres postes.

Le poste b<sub>1</sub> de Bordj Bou Ariridj est le premier dans le classement des postes. Par ce fait, nous recommandons de réaliser ce poste dans le moyen terme.

Il est à noter que ce poste vient remplacer une solution provisoire, qui est un injecteur 220/60 Kv mis en service le 17/11/97.

## *Conclusion générale*

---

---

A travers cette étude, nous avons explicité les différentes étapes de la démarche multicritère que nous avons adopté, dans le but d'apporter une aide à la décision d'investissement, pour la réalisation des ouvrages électriques haute tension et très haute tension du réseau national.

L'élaboration d'un modèle multicritère nous a permis de prendre en considération la complexité caractérisant le réseau de transport électrique. Celle-ci apparaît lors de la prise d'une décision d'investissement dans le but de renforcer ce réseau, puisque ce dernier doit permettre l'évacuation des puissances installées en satisfaisant simultanément des conditions d'économie, de qualité de service et de sécurité requises. Cela se traduit donc par plusieurs critères techniques et économiques.

Ainsi, la considération de multiples critères, aussi différents qu'ils puissent être, pour résoudre ce problème décisionnel, permet de cerner les objectifs correspondants aux orientations stratégiques de l'entreprise en faisant intervenir le plus d'éléments d'informations caractérisant ce problème.

En outre, le modèle multicritère élaboré offre une grande simplicité de mise en œuvre, puisqu'il retrace les étapes d'un processus interactif, mettant en évidence les préférences du décideur, dans l'évaluation des performances des différentes actions envisagées, et ce en se référant à des critères approuvés et jugés représentatifs des objectifs de la décision.

Après avoir élaboré le modèle et explicité les préférences du décideur à partir des évaluations par rapport à chaque critère, nous avons appliqué la méthode multicritère de rangement ELECTRE III, que nous avons jugé la plus adaptée au problème qui nous est posé, afin de synthétiser ces préférences sur l'ensemble des critères. L'application de cette méthode nous a permis d'obtenir un classement représentatif de la réalité, du fait qu'il synthétise l'ensemble des informations intra-critères et inter-critères recueillies au cours du processus d'aide à la décision, tout en distinguant les actions incomparables dont les informations précédentes ne peuvent confirmer leurs positions dans ce classement.

La méthode ELECTRE III nous a permis aussi de cerner l'imprécision qui caractérise les évaluations des actions potentielles et ce en introduisant des seuils d'indifférence, de préférence faisant l'objet d'une analyse de sensibilité. Ces seuils constituent un écart référentiel entre les évaluations tolérant plus ou moins d'incertitude pour affirmer une préférence ou une indifférence entre deux actions.

Avec l'introduction du seuil de veto par la méthode ELECTRE III, il nous a été possible de consolider l'importance des critères techniques considérés, relativement aux autres critères, dans la prise d'une décision pour le renforcement du réseau électrique, en leur permettant de mettre leur veto pour décider de la crédibilité ou la non-crédibilité de l'hypothèse de surclassement entre deux actions qui est à la base de la méthode.

L'analyse de sensibilité que nous avons effectué sur les différents paramètres de la méthode, nous a permis de tirer à partir du résultat obtenu, les conclusions robustes sur la priorité des ouvrages électriques, qui traduisent les positions d'actions dans le classement, présentant une certaine stabilité suite à la sensibilisation de ces paramètres. A partir de ces conclusions, il nous a été possible d'élaborer une recommandation pouvant constituer un support pour la préparation de la décision finale.

L'analyse de sensibilité nous a montré aussi que le résultat est conditionné très étroitement par les valeurs attribuées aux poids des critères. A cet effet, les critères doivent être pondérés de façon à représenter le mieux possible leur importance relative.

Pour mettre en évidence cette démarche multicritère, nous avons développé un logiciel interactif permettant d'appliquer la méthode ELECTRE III. L'objectif de la conception de ce logiciel est la mise au point d'un outil qui permet de conduire le processus d'aide multicritère à la décision de manière simple et efficace, sachant que les méthodes multicritères, tout juste naissantes, connaissent aujourd'hui de multiples applications dans divers domaines. Cela est dû principalement aux résultats satisfaisants qu'elles ont donné dans plusieurs études. Dans cet optique, nous souhaitons que notre travail constitue une ouverture pour le développement d'autres travaux faisant appel à l'approche multicritère.

Nous suggérons en ce sens de faire une étude comparative entre plusieurs méthodes multicritères, à partir d'un même modèle en vue d'en distinguer les similarités et les différences dans les procédures d'agregation et voir si les résultats obtenus par les différentes méthodes convergent vers des constantes représentant les bonnes décisions.

## Références bibliographiques

[And, 95] A. Andennmatten : *Evaluation du risque de défaillance des émetteurs d'obligation. Une approche par l'aide multicritère à la décision.* Presse Polytechnique et Universitaire Romandes (1995).

[Ass, 94] P. Assailly : *Postes à haute et très haute tension. Installation de conduite et de contrôle.* Techniques de l'ingénieur . Vol D . 4576 (1994).

[Bar, 89] O. Barda : *Recherche d'une méthode appropriée pour l'étude des problèmes de choix de sites pour l'implantation de centrales thermiques.* Document du LAMSADE N° 54 . Université Paris- Dauphine (1989).

[Bia, 83] A. Biancioto : *La Technologie en Electrotechnique.* Delagrave (1983).

[Bouyssou & Roy , 93] D. Bouyssou et B. Roy: *Aide multicritère à la décision : Méthode et Cas.* Economica (1993).

[Del, 93] J. Delbarre : *Postes à haute et très haute tension. Rôle et structure.* Techniques de l'ingénieur . Vol D . 4570 (1993).

[Dor, 81] C. Dorval : *Choix des investissements .* Techniques de l'ingénieur . Vol A . 4450 (1981).

[Haf & Nog, 94] M. Hafner et E. Nogaret : *Etudes des coûts de transport de l'électricité et du gaz naturel dans la région méditerranéenne.* Observatoire méditerranéen de l'énergie (1994).

[Mar, 84] J. Margerin : *Choix des investissements. Présélection - Choix - Contrôle.* Les éditions d'organisation (1984).

[Mas, 68] P. Masse : *Le choix des investissements.* Dunod (1968).

[May, 94] L. May : *Méthodes multicritères ELECTRE . Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale.* Presses polytechniques et universitaires romandes

[Mes, 89] F. Messlier : *Réseaux de transport et d'interconnexion de l'énergie électrique. Développement et planification.* Techniques de l'ingénieur . Vol D . 4070 (1989).

[Mou, 93] V. Mousseau : *Problème liés à l'évaluation de l'importance relative des critères en aide multicritère à la décision.* Thèse de doctorat, UER Science de l'organisation, Université Paris - Dauphine (1993).

[Par, 88] E. Parent : *Le choix d'un aménagement aquacole. Exemple d'utilisation de la méthode ELECTRE III et comparaison avec d'autres méthodes muticritères d'aide à la décision .* Document du LAMSADE N° 47. Université Paris- Dauphine (1988).

[Por, 92] Y. Porcheron : *Lignes aériennes . Introduction*. Techniques de l'ingénieur . Vol D 4420 (1992).

[Roy, 85] B. Roy : *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica (1985).

[Sch, 85] A. Scharlig : *Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère* . Presses Polytechniques Romandes (1985).

[Sim, 90] J. Simos : *Evaluer l'impact sur l'environnement. Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation* . Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (1990).

[Sis, 83] J. Siskos : *Multicriteria analysis of the impact of energy alternatives. A survey and new comparative approach*. European Journal of operational research (1983).

[Vin, 89] P. Vinke : *L'aide multicritère à la décision*. Ed. de l'Université de Bruxelles et Ed. Ellipses (1989).

[Wil, 78] T. Wildi : *Electrotechnique*. Les presses de l'université LAVAL (1978).

# *ANNEXES*

---

## - ANNEXE 1 -

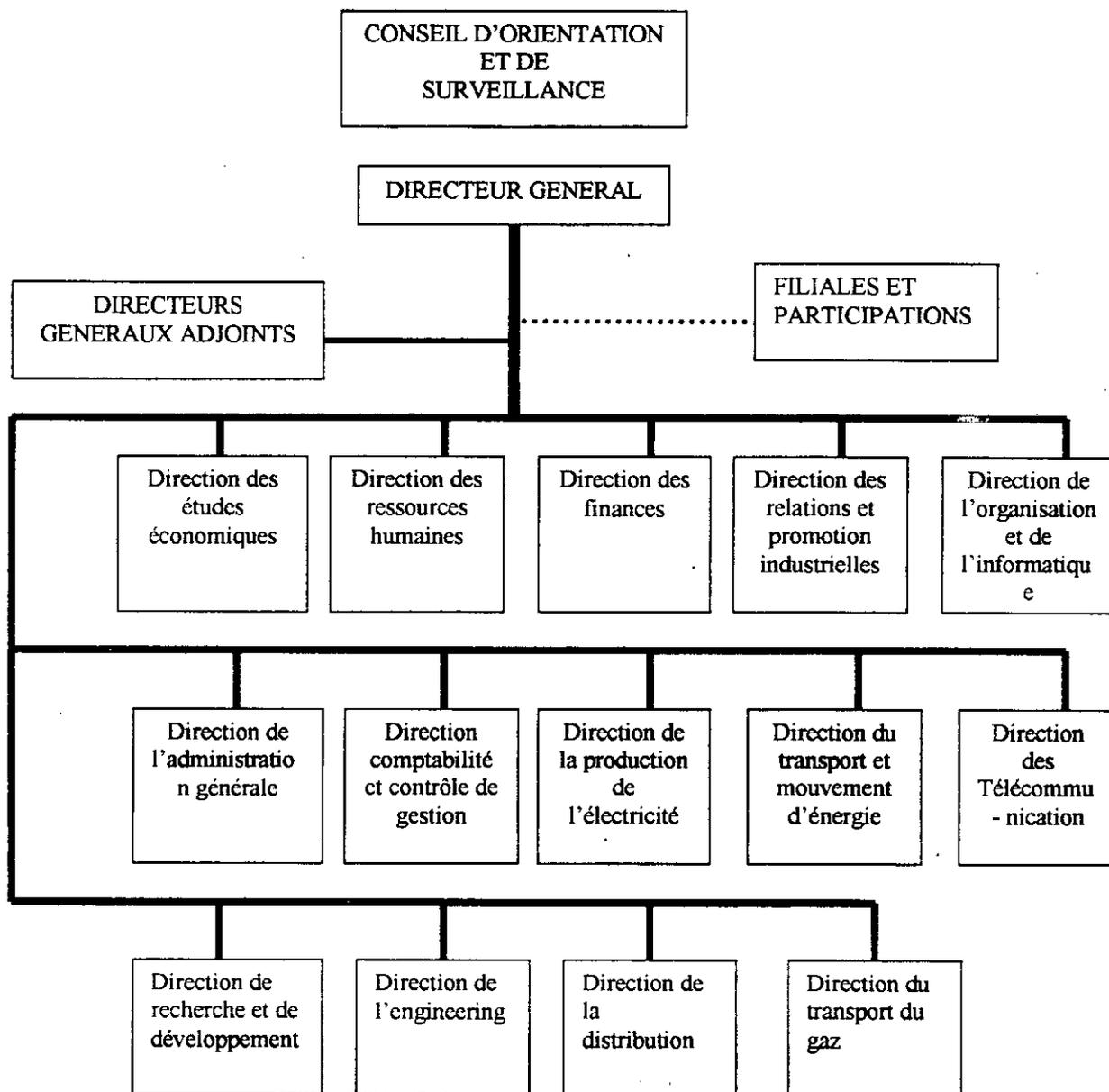


Fig 1.1 Organigramme de l'entreprise SONELGAZ

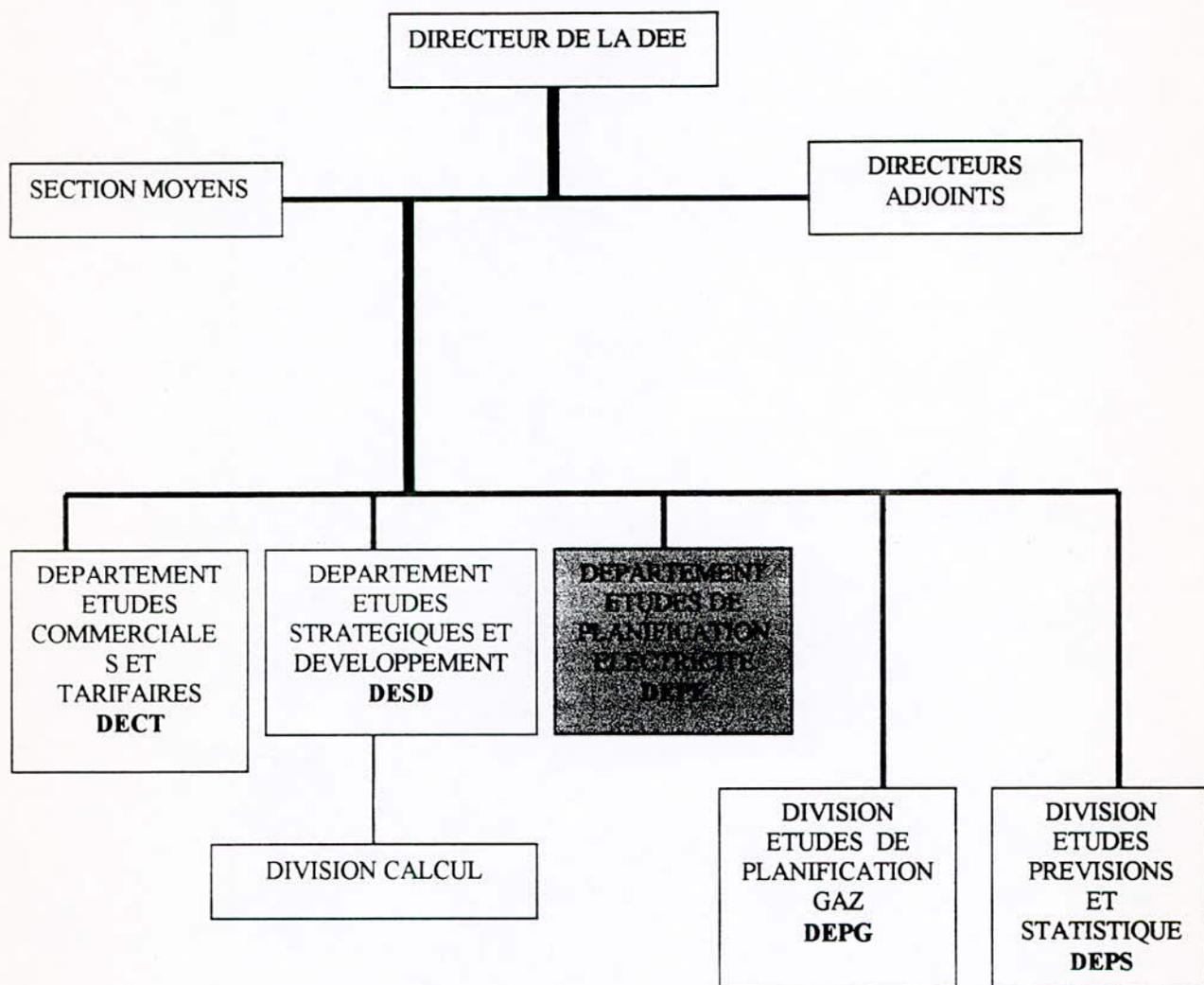


Fig 1.2 Organigramme de Direction des Etudes Economiques

## - ANNEXE 2 -

### 2.1 Courbe de charge

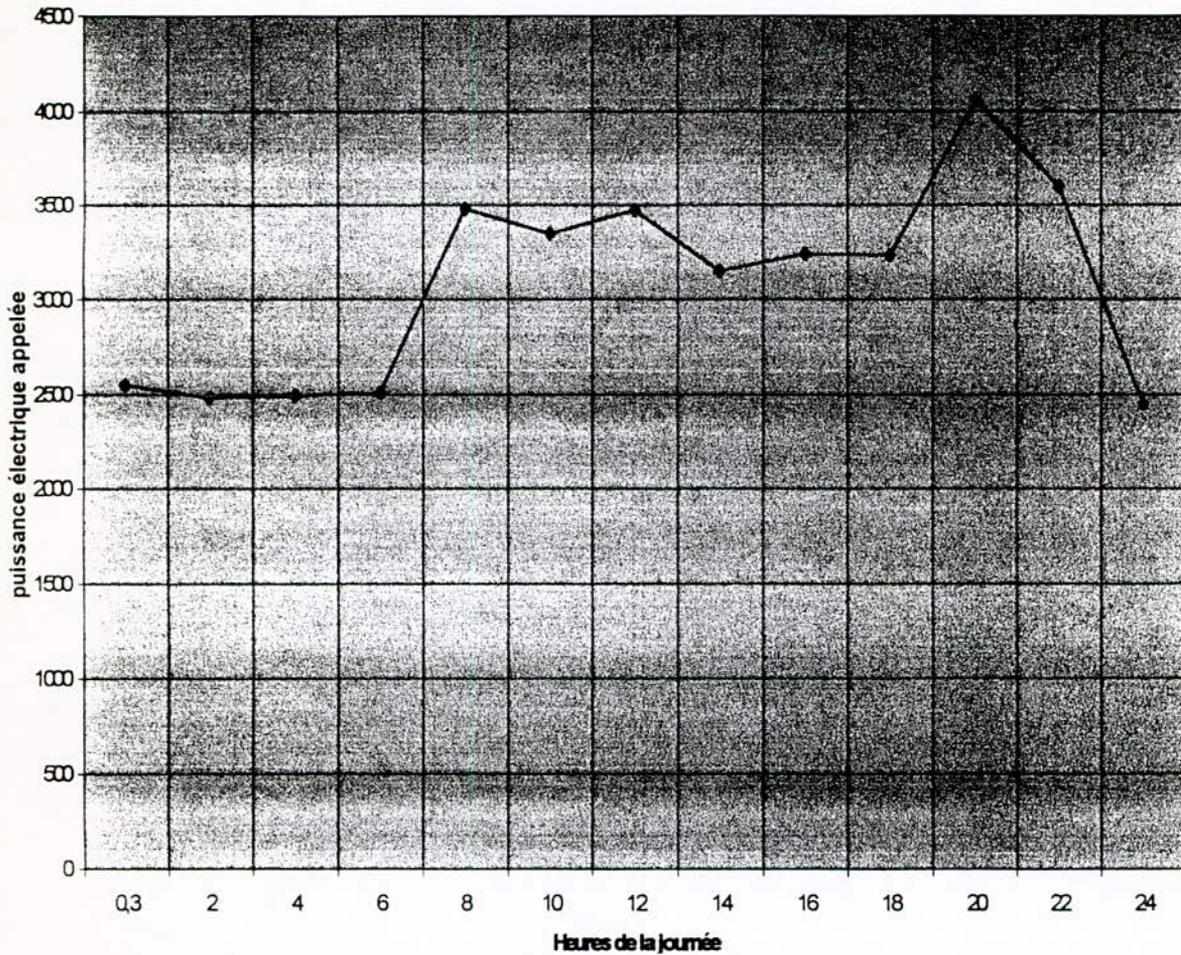


Fig 2.1 Courbe de charge de la journée la plus chargée [05 /10/ 1998]

### 2.2 Définitions

#### 2.2.1 Coupure d'une ligne électrique

Une coupure est souvent réalisée pour alimenter un nouveau consommateur, se trouvant à proximité d'une ligne existante et relativement éloigné d'un point d'injection de puissance. Pour cette consommation, la ligne est coupée au niveau du point le plus proche, la nouvelle charge est raccordée de part et d'autre à chaque tronçon de la ligne.

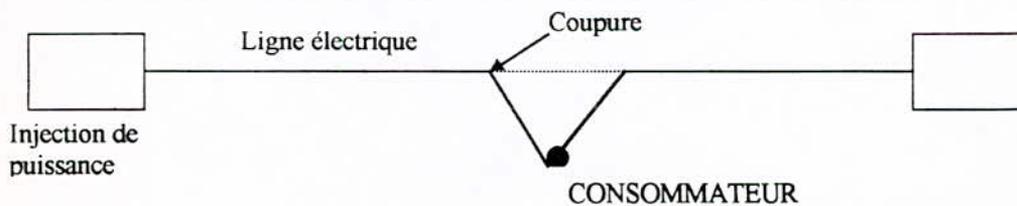


Fig 2.2 Schéma d'une coupure d'une ligne électrique

### 2.2.2 Piqûre d'une ligne électrique

Une piqûre est réalisée dans les mêmes situations que le cas précédent, cependant, la ligne n'est pas coupée et la charge lui est directement raccordée au niveau du point le plus proche. Ceci constitue généralement une solution provisoire dans l'attente de la réalisation de nouveaux équipements.

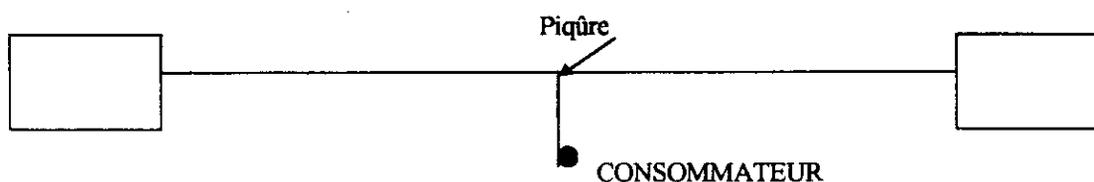


Fig 2.3 Schéma d'une piqûre électrique

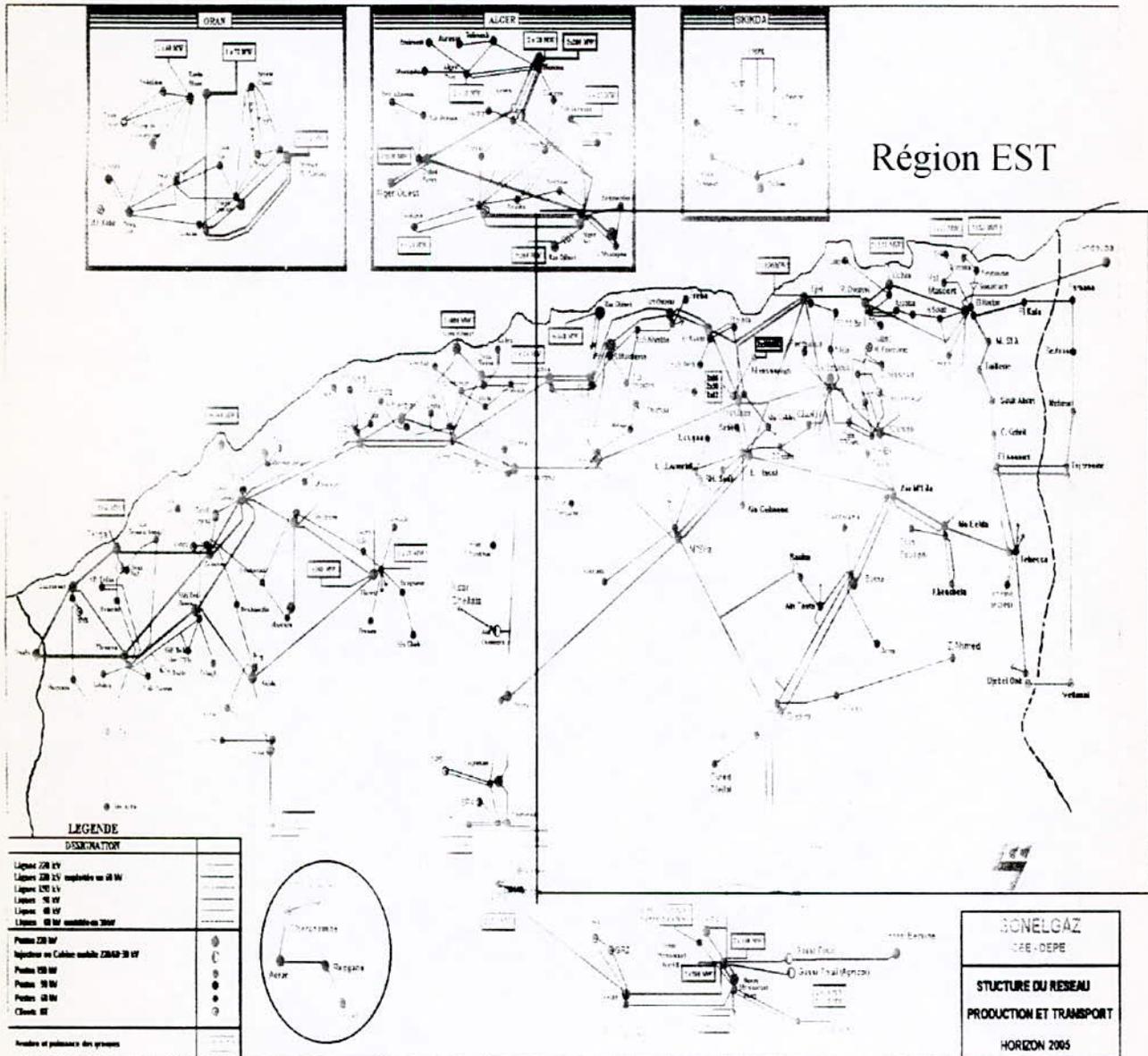
### 2.2.3 Cabine mobile

Une cabine mobile est une source d'injection qui est utilisée provisoirement pour renforcer l'alimentation d'un centre de consommation (alimenter des charges) et qui peut être déplacé en un autre lieu dès qu'un poste fixe est mis en service.

### 2.2.4 Injecteur

Un injecteur représente la source la plus simple, il est constitué d'un simple transformateur et des équipements de sécurité.

## - ANNEXE 3 -



Carte du réseau national [HORIZON 2005]

[DEE/ 99. SONELGAZ]

## - ANNEXE 4 -

TABLEAU 1: Coûts moyens unitaires des différents types de lignes aériennes [Réseau nord].

Tension (Kvolt)	Type	Coût moyen d'investissement		Total (KDA/Km)	Total (KS/Km)
		Devises	Dinars		
THT : 220	ST. 1x411mm <sup>2</sup>	372.0	6448.0	6820.0	116.7
THT : 220	DT. 1x411mm <sup>2</sup>	769.0	10853.0	11622.0	198.9
THT : 220	ST. 2x411mm <sup>2</sup>	694.0	11379.0	12073.0	206.7
THT : 220	DT. 2x411mm <sup>2</sup>	1412.8	16908.0	18321.7	313.6
THT : 220	DT. 1x288 mm <sup>2</sup>	950.0	13256	14206.0	166.8
HT : 60	ST. 1x288mm <sup>2</sup>	153.0	3882.0	4036.0	69.08
HT : 60	DT. 1x288mm <sup>2</sup>	289.0	7434.0	7723.0	132.2
HT : 60	DT. 2x288mm <sup>2</sup>	383.0	12581.0	12964.0	221.9

Source: Plan d'équipement production – Transport 1998 – 2003

TABLEAU 2: Coûts moyens unitaires des câbles électriques (60 Kv)

Tension (Kvolt)	Type	Coût moyen d'investissement		Total (KDA/Km)	Total (KS/Km)
		Devises	Dinars		
THT : 220	ST. 1x411mm <sup>2</sup>	372.0	6448.0	6820.0	116.7
THT : 220	DT. 1x411mm <sup>2</sup>	769.0	10853.0	11622.0	198.9
THT : 220	ST. 2x411mm <sup>2</sup>	694.0	11379.0	12073.0	206.7
THT : 220	DT. 2x411mm <sup>2</sup>	1412.8	16908.0	18321.7	313.6
THT : 220	DT. 1x288 mm <sup>2</sup>	950.0	13256	14206.0	166.8
HT : 60	ST. 1x288mm <sup>2</sup>	153.0	3882.0	4036.0	69.08
HT : 60	DT. 1x288mm <sup>2</sup>	289.0	7434.0	7723.0	132.2
HT : 60	DT. 2x288mm <sup>2</sup>	383.0	12581.0	12964.0	221.9

Source: Plan d'équipement production – Transport 1998 – 2003

TABLEAU 2: Coûts moyens des différents types de postes

Tension (Kvolt)	Type	Coût moyen d'investissement (MDA)	
THT/HT : 220/60	Poste externe	2316	
	Poste blindé	3748	
	Poste simplifié	1840	
	Injecteur	348.1	
	Cabine mobile		
HT/MT : 60/30	Poste externe	1029	
	Poste simplifié	731.8	
HT/MT : 60/10	Poste blindé	Variante. I	1823
		Variante. II	1508

Source: Plan d'équipement production – Transport 1998 – 2003

TABLEAU 3 : Coût moyen des cabines mobiles

Tension (Kvolt)	Puissance	Coût moyen
220/60-30	(40 MVA)	233.9 (MDA)
60/30	(20 MVA)	85.0 (MDA)

Source: Plan d'équipement production – Transport 1998 – 2003

\* MVA : Unité de la puissance électrique nominale [ Méga Volt Ampère]

## - ANNEXE 5 -

### 5.1 Formules de calcul

$$\text{Indice de rentabilité} = \frac{VAN}{I_0}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} VAN : \text{Valeur actuelle nette} \\ I_0 : \text{Investissement initial} \end{array} \right.$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\text{Cash-Flow}_i}{(1+i)^i}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n : \text{Durée de vie de l'investissement} \\ i : \text{Taux d'actualisation} \end{array} \right.$$

$\text{Cash-Flow} = \text{Encaissement annuel} - \text{Décaissement annuel}$

$\text{Encaissement annuel} = \text{Energie moyenne annuelle vendue}$

$\text{Décaissement annuel} = \text{Frais d'exploitation et de maintenance} + \text{Coûts des pertes d'énergie par effet joule} + \text{Coûts de défaillance} + \text{Coûts de production} + \text{Frais financiers.}$

- **Energie moyenne annuelle vendue ( $E_v$ )**

Elle représente la quantité d'énergie que l'ouvrage transite selon les différentes tranches d'heures dans la journée\*, multipliée par le tarif unitaire moyen. Nous l'avons estimée à partir de la formule suivante :

$$E_v = \left[ \sum_{\substack{\text{Hpo int e, Hpleine} \\ \text{Hcreuses}}} (T_i \times N_{\text{heure}_i} \times T_{\text{um}_i}) \right] \times P_n$$

- $T_i$  : Taux de charge de l'ouvrage selon la tranche d'heures  $i$ .
- $N_{\text{heure}_i}$  : Nombre d'heures annuelle dans la tranche d'heures considérée.
- $P_n$  : Puissance nominale de l'ouvrage électrique considéré.
- $T_{\text{um}_i}$  : prix moyen d'un Kilo watt heure d'énergie vendue.

- **Frais généraux d'exploitation et de maintenance ( $C_{\text{exp}}$ )**

Ils sont estimés à partir de la formule suivante :

$$\begin{array}{l} \text{Lignes 220 et 60 Kvolts : } (0.5\%) \times I_0 \\ \text{Postes de transformation : } (4\%) \times I_0 \end{array}$$

- $I_0$  : Investissement initial

---

\* Heures de pointe, Heures pleines, Heures creuses

### 5.2.1 Hypothèses économiques

- Coût du Kwh défaillant : 520 DA/Kwh
- Coût unitaire de production : 1.968 DA/Kwh.
- Durée de vie des investissements n=25 ans
- Taux d'actualisation : 10%.

Les données pour le calcul de l'énergie moyenne vendue sont représentées par les tableaux 1 et 2 suivants :

**Tableau 1** : Valeurs des taux de charges des ouvrages électriques

Tranche d'heures - >		Heures de pointe	Heures pleines	Heures creuses
Nombre d'heures annuelles [Heures]		1825	4380	2555
Taux de charge par rapport à la puissance nominale	Lignes 220 Kv	$T_1 \in [0.6, 1]$	$T_2 \in [0.4, 0.6]$	$T_3 \in [0.1, 0.4]$
	Lignes 60 Kv	$T_1 \in [0.6, 1]$	$T_2 \in [0.4, 0.6]$	$T_3 \in [0.1, 0.4]$
	Transformateurs des postes électriques	$T_1 \in [0.8, 1]$	$T_2 \in [0.4, 0.8]$	$T_3 \in [0.2, 0.4]$

Source : DEE / 99

L'énergie électrique peut être vendue sous trois formes : Haute tension, Moyenne tension et Basse tension. Pour prendre cela en considération, les tarifs sont pondérés par des coefficients représentant le taux de contribution de chaque forme d'énergie vendue dans les recettes de vente d'électricité de l'entreprise.

$$\text{Tarif unitaire moyen}_i = \sum_{\substack{j=HT, \\ MT, BT}} \text{coefficient}_j \times \text{tarif}_{ij}$$

Tarif  $ij$  : Il dépend de la tranche d'heure  $i$  considérée et la forme  $j$  de l'énergie vendue [voir Tableau 2]

**Tableau 2** : Tarifs unitaire d'électricité selon la tranche d'heure et le type de tension

Tarif $ij$ (C.DA /Kwh)	Haute. Tension (1)	Moyenne. Tension (2)	Basse tension (3)	
coefficient	0.2	0.4	0.4	
H.pointe (1)	367.7	460.6	535.0	471.78
H.pleine (2)	76.0	102.0	142.6	112.64
H.creuse (3)	32.9	54.1	79.4	60

Source : DEE / 99

- **Coût de production d'électricité ( $C_{prod}$ )**

$$C_{prod} = E_{trans} \times C_{prod.u}$$

- $E_{trans}$  : Energie transitée par l'ouvrage.
- $C_{prod.u}$  : Coût de production unitaire d'électricité.

- **Coût de la défaillance ( $C_{def}$ )**

$$C_{def} = N_{heure\ def} \times E_{trans} \times C_{def.u} \times (5\%)$$

- $N_{heure\ def}$  : nombre d'heure annuel de défaillance de l'ouvrage.
- $C_{def.u}$  : Coût unitaire de la défaillance de l'ouvrage

- **Frais financiers ( $F_{fin}$ )**

$$F_{fin} = (i\%) \times (I_{devise}) + (i'\%) \times (1 - P_{auto}) \times (I_{dinars})$$

- $i$  : Taux d'intérêt moyen pour un emprunt extérieur (en devise)
- $i'$  : Taux d'intérêt moyen pour un emprunt intérieur
- $I_{devise}$  : Part de devise dans l'investissement considéré.
- $P_{auto}$  : Pourcentage relatif à l'autofinancement.

- **Coût des pertes par effet joule dans les lignes ( $C_{perte}$ )**

$$\text{Ligne 220 Kv : } C_{perte} = (2.5\%) \times E_v \times (l/100) \times (411/S)$$

$$\text{Ligne 60Kv : } C_{perte} = (4\%) \times E_v \times (l/100) \times (288/S)$$

## 5.2 Hypothèses de calcul

### 5.2.1 Hypothèses techniques

L'énergie transitée est calculée à partir du taux de charge de l'ouvrage (ligne, poste) par rapport à sa capacité nominale de transit et donc sa puissance nominale.

Dans les postes électriques, le transit de puissance se fait à travers les transformateurs. Donc, la capacité de transit d'un poste représente la puissance nominale du transformateur.

Dans le calcul du coût de la défaillance, il est estimé que 5% de l'énergie transitée est perdue (ne sera pas desservie) lors de la défaillance d'un ouvrage puisque la charge sera répartit sur d'autres ouvrages du réseau.

Dans le calcul du coût des pertes par effet joule dans la ligne électrique, il est estimé que : 2.5% de l'énergie vendue sera perdue à cause des pertes par effet joule, pour une ligne 220 Kv de longueur 100 Km et de section 411 mm<sup>2</sup>, et 4% pour une ligne 60 Kv de longueur 100 Km.

## - ANNEXE 6 -

Sujet	Pays	Méthode	Référence
<b>Transports</b>			
- Choix d'un tracé autoroutier	France	UTA	[Marchet, 1979]
- Choix d'un tracé autoroutier	France	UTA	[Siskos, 1989]
- Amélioration de l'infrastructure routière	Brésil	TODIM	[Gmes, 1992]
<b>Energie</b>			
- Stratégies de développement énergétique	France	ELECTRE III	[Siskos, 1983]
- Implantation de centrales nucléaires	USA	MAUT	[Keeney, 1980]
- Implantation de centrales nucléaires	USA	ELECTRE III	[Roy, Bouyssou, 1983]
- Implantation d'une centrale thermique	Algérie	ELECTRE IS et ELECTRE III, AHP, PREFCALC	[Barda, 1989]
- Implantation d'une centrale hydro-électrique	USA	MAUT	[Keeney, 1979]
- Impact des lignes à haute tension	Québec	ELECTRE III modifiée	[Rousseau, 1986]
- Gestion des déchets nucléaire	USA	MAUT	[Lathorp, 1982]
- Gestion des déchets nucléaire	USA	MAUT	[Merkhofer, 1987]
- Gestion des déchets nucléaire	CEE	PROMETHEE I et II	[Briggs, 1990]
- Mesure de radio protection	France	ELECTRE II et ELECTRE III	[Siskos, 1984]
<b>Gestion d'espaces naturels</b>			
- Gestion forestière	France	Réduction progressive des incomparabilités	[Bertier, 1974]
- Gestion forestière	France	ELECTRE II	[Brunet, 1976]
- Gestion forestière	Suède	PLM interactives	[Hallefjord, 1986]
- Gestion des ressources en poissons	Afrique du Sud	STEM	[Steward, 1988]
- Pollution urbaine et côtière	Croatie	PROMETHEE	[Miladeno, 1992]
<b>Divers</b>			
- Approvisionnement en eau potable	Pologne	ELECTRE III et PREFCALC	[Roy, 1992]
- Gestion des bassins versants	USA	ELECTRE I et ELECTRE II	[Yeclé, 1988]
- Contrôle de la qualité de l'air ambiant	USA	MAUT	[Keeney, 1992]
- Contrôle des pluies acide	USA	MAUT	[Anandalingam, 1989]
- Qualité des eaux de cours d'eaux	Italie	PRAGMA	[Funtowicz, 1993]
- Gestion des eaux souterraines	Ile (non-précisée)	ELECTRE III, MAUT, UTA	[Duckstein, 1993]
- Tracé d'un canal	Pay - Bas	REGIME	[Hinloopen, 1983]
- Aménagement piscicole	France	ELECTRE III	[Parent, 1988]
- Gestion des risques naturels (éboulement, glissement)	Grèce	MINORA	[Hadzinakos, 1991].
- Planification sanitaire	A. du Sud	ELECTRE I	[Roy, 92]
- Contrôle de la pollution thermique	France	ELECTRE III	[Le Galès, 1982]
- Gestion des déchets urbains	Finlande	ELECTRE III	[Siskos, 1986]
			[Hokkanen, 1993]

Etudes ayant utilisées les méthodes multicritères d'aide à la décision [May, 94]