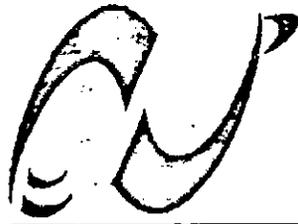


6/01

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المهنية
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE
INDUSTRIEL

Sujet :

**CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION
POUR LE CHOIX D'INVESTISSEMENT BASE SUR
L'ANALYSE MULTICRITERE
APPLICATION AU PROJET HELIUM (SONATRACH)**

Proposé par :

Mr M.AIB

Etudié par :

O.OULAD DAOUD
M.SMATI

Dirigé par :

Mme BELMOKHTAR
Mr M.AIB

PROMOTION 2000

ملخص

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في اتخاذ قرار للاستثمار من أجل إنجاز مشروع استخراج الهليوم من الغاز الطبيعي. يتم ذلك على أساس استعمال تحليل متعدد المعايير.

Résumé

L'objectif de ce travail est d'apporter une aide à décision d'investissement pour la réalisation d'une unité d'extraction d'hélium à partir du gaz naturel.

Ceci s'effectuera sur la base du développement d'une méthode d'analyse multicritère.

Mots clefs : aide à la décision multicritère, investissement, choix.

Abstract

The objective of this work is to bring an assistance to decision of investment for the realization of a unit of helium extraction from natural gas.

This will be made on the basis of development of a multicriteria analysis method.

Dédicaces

- *A mes très chers parents pour les sacrifices et les encouragements qu'ils n'ont cessé de me conférer.*
- *A mes frères et mes sœurs particulièrement Ghania pour sa collaboration culinaire et Dalila pour ses éternelles inquiétudes.*
- *A mes neveux et mes nièces.*
- *A tous mes amis en particulier Mourad, Abdelhak, Sidali, Rafik, Fahed, Abderrazak..*
- *A toute la promo génie industriel 2000.*
- *Une profonde révérence, je la dois à Omar qui fût un frère, ami, et collaborateur de ce travail, qui sans ses encouragements n'y sera, probablement, pas.*

Mabrouk

Dédicaces

A :
Mes parents,
Mes sœurs,
Mes frères,
Ma grande famille
OULAD·DAOUD,
Laâsakeur (studio),
La famille SMATI,
Mon binôme Mabrouk
La famille MERABTENE,
Tous mes amis.

Omar

Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

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

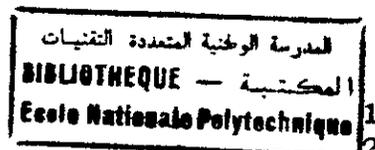
Nous tenons à exprimer notre très grande reconnaissance à Madame BELMOKHTAR, Madame ABOUN et Monsieur AIB, dont les conseils nous ont été extrêmement précieux.

Nous remercions également Monsieur BOUDENE et Monsieur SAIDI, responsables des ressources humaines, pour leurs coopérations.

De plus, nous tenons à exprimer notre dévouement à tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation, ainsi qu'à nos amis - anciens étudiants, Génie industriel - : monsieur, HELLAL, HAMDANI, HOUARI et MECHAI pour leur aide et leur soutien et à qui nous leur devons une profonde gratitude.

Nous adressons nos remerciements les plus profonds et les plus distingués à tous ceux qui ont contribué de proche ou de loin à ce modeste travail.

Table des matières



Introduction générale	1
Organisation du document	2
Chapitre I : Position du problème	3
I. Généralités concernant l'hélium	4
1. Définition de l'hélium	4
2. Extraction de l'hélium du gaz naturel	4
3. Les applications de l'hélium	6
II. Le marché mondial de l'hélium	7
1. La demande mondiale en hélium	7
a) la demande des Etats-Unis	8
b) La demande européenne	8
2. L'offre mondiale d'hélium	9
a) Capacités d'offre d'hélium brut	9
- aux Etats-Unis	9
- En Europe	9
b) Capacités de purification et de liquéfaction de l'hélium	11
3. La balance entre l'offre et la demande d'hélium	11
a) Dans Le monde	11
b) En Europe	12
III. Les échanges de l'hélium dans les marchés internationaux	12
IV. Le transport et distribution de l'hélium	14
V. Problématique	15
Chapitre II : Aide à la décision multicritère	16
I. L'aide multicritère à la décision	17
Définition	17
II. Eléments d'aide multicritères à la décision	17
1. Acteurs	17
a) Les intervenants	17
b) Les hommes d'études (Analystes)	17
2. Actions	18
a) Définition des actions	18
b) Actions réelles et actions fictives	18
c) Actions réalistes et action irréalistes	18
d) Actions potentielles	18
3. Critères d'évaluations	19
a) Définition	19
b) Echelle d'un critère	20
1. Echelle d'état	20
2. Echelle de préférence	20
c) Poids des critères	21
d) Famille cohérente de critères	21
1. Exhaustivité	21
2. Cohérence	21
3. Non-redondance	22
III. Les problématiques d'aide à la décision multicritère	22
Définition	22
1. Problème de choix (p.alpha)	22
2. Problématique de tri (P.bêta)	23
3. Problématique de rangement (P.gamma)	23

IV. Démarche multicritère d'aide à la décision	24
1. Elaboration du modèle	24
2. Choix d'une méthode d'analyse multicritère	24
3. Application de la méthode et interprétation des résultats	24
4. Elaboration de la recommandation	24
V. Structure de préférence dans les problèmes d'aide multicritère à la décision multicritère	25
1. Préférence stricte (P)	25
2. Indifférence (I)	25
3. Préférence faible (Q)	25
4. Incomparabilité (R)	25
5. Relation de non - préférence	25
6. Relation de préférence au sens large	25
7. Relation de surclassement	26
8. L'ordre total (complet)	26
9. Le préordre total (complet)	26
10. Le préordre partiel	26
VI. Modélisation de préférence dans un problème multicritère	26
1. Modèle du vrai critère	26
2. Modèle du quasi-critère	27
3. Modèle pseudo-critères	27
VII. Tableau des évaluations	28
VIII. Problème d'agrégation	28
1. Approches d'agrégation	29
a) Approche du critère unique de synthèse	29
b) Approche du surclassement de synthèse	30
c) Approche du jugement local interactif	31
2. Choix d'une approche d'agrégation	32
a) L'approche d'agrégation totale	32
b) L'approche d'agrégation partielle	32
c) L'approche d'agrégation locale interactive	32
Chapitre III : Modélisation du problème	35
I. Description de l'objet de la décision	36
II. Définition de l'ensemble des actions potentielles	38
III. Définition des critères	41
1. Axe stratégique (Pénétration du marché)	41
a) Part du partenaire	43
b) Evaluation du partenaire	43
2. Axes économiques	43
a) Rentabilité économique	43
- Taux de rentabilité interne	43
b) Contrainte économique de réalisation du projet	43
- Coût d'investissement	43
IV. Evaluation des actions sur chaque critère	45
1. Taux de rentabilité interne	45
2. Coût d'investissement	45
3. part prise par le partenaire	46
4. Evaluation du partenaire	47
Chapitre IV : Choix et présentation de la méthode multicritère (PROMETHEE)	48
I. Choix d'une problématique	49
II. Choix d'une approche d'agrégation	49
III. Choix de la méthode	50
1. Problématique	51
2. Vrai-critères ou pseudo-critères	51

3. Détermination des poids	52
4. Relation de surclassement net ou flou	52
IV. Présentation des méthode PROMETHEE	54
1. Informations complémentaires	54
a) information inter-critère (poids)	54
b) Information intra-critère (notion de critères généralisés)	54
c) Critères généralisés et intensité de préférence	55
2. PROMETHEE I et II	57
- Flux de surclassement	58
- Le rangement partiel (PROMETHEE I)	58
- Le rangement complet (PROMETHEE II)	59
V. Représentation géométrique des problèmes multicritères	60
Chapitre V : Application et interprétation des résultats	63
I. Présentation du logiciel	64
II. Utilisation du logiciel	66
1. Les données et paramètres du problème	66
2. Obtentions des résultats	67
III. Déterminations des paramètres de la méthode PROMETHEE	68
1. Détermination des poids	68
2. Détermination de type de critères, seuils d'indifférences et de préférences	69
a) Critère TRI	69
b) Critère évaluation partenaire	70
c) Critère part partenaire	71
d) Critère coût d'investissement	72
IV. Présentation des résultats	73
1. PROMETHEE I	73
2. Matrice des préférence	75
3. Matrice des surclssements	76
4. PROMETHEE II	76
V. Interprétation des résultats	78
1. PROMETHEE I	78
2. PROMETHEE II	78
3. GAIA	79
Chapitre VI : Analyse de sensibilité et élaboration de la recommandation	81
I. Définitions	82
1. Analyse de robustesse	82
2. Analyse de sensibilité	82
II. Démarche de l'analyse de sensibilité	82
PROMETHEE I	82
PROMETHEE II	83
1. Variation des poids	83
a) PROMETHEE I	84
b) PROMETHEE II	86
2. Variation des seuils d'indifférence	88
a) PROMETHEE I	88
b) PROMETHEE II	89
3. Variation des seuils de préférence	90
PROMETHEE I	90
PROMETHEE II	91
4. Elaboration de la recommandation	93
Conclusion générale	94
Bibliographie	96
Annexes	98

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie, pays pionnier dans l'industrie de la liquéfaction du gaz naturel, s'efforce constamment à le valoriser par la récupération de ses sous produits (méthane, propane, propylène, MTBE...). Cependant, la valorisation de l'hélium - très sollicité dans les domaines de la recherche scientifique et du développement technologique- ne s'est concrétisée par la SONATRACH que depuis 1994 en collaboration avec les compagnies (Air Liquide, Air Products) en donnant naissance à la société Helios, qui a mis en service une unité de production à Arzew d'une capacité de 16 millions m³/an ; ces deux compagnies assurent la commercialisation du produit.

La SONATRACH ne tirait pas grand profit de cette collaboration car elle ne participait pas à la commercialisation - vente en détail - où se fait la plus grande marge de bénéfice. La SONATRACH a envisagé, avec un partenaire, la réalisation d'une unité grâce à laquelle, elle pénétrera le marché international et accompagnera son produit jusqu'à la vente en détail.

Afin de mieux atteindre ces objectifs, la SONATRACH devra tenir compte de la nouvelle configuration du marché mondial et de ses capacités de liquéfaction existantes.

Le choix d'une configuration de ce projet d'investissement, qui est dans notre cas la combinaison entre les différentes variantes du projet (site pour la localisation de l'unité, dimensionnement de l'unité, la technologie adoptée et enfin le partenaire), doit répondre aux contraintes du marché et aux objectifs de l'entreprise.

C'est dans ce cadre que viendra s'insérer notre contribution dans laquelle il s'agira d'apporter une aide à la décision pour le choix du projet.

Organisation du document

Notre travail est divisé en six chapitres :

Premier chapitre : Position du problème

Au cours de ce chapitre on présentera l'hélium, ses utilisations, son processus d'extraction à partir du gaz naturel, ainsi que les caractéristiques de son marché et on terminera par la formulation de la problématique.

Deuxième chapitre : Théorie de l'aide multicritère à la décision

Au cours de ce chapitre, on introduira les concepts relatifs à la théorie d'aide à la décision basés sur l'analyse multicritère.

Troisième chapitre : Modélisation du problème

Ce chapitre est consacré à la modélisation du problème, où nous définirons l'ensemble des actions potentielles qui constituent les différentes configurations que peut prendre ce projet, ainsi que les critères d'évaluation retenus.

Enfin, nous terminerons ce chapitre par la détermination d'un tableau qui résume les évaluations des actions selon chaque critère.

Quatrième chapitre : choix et présentation de la méthode multicritère

Après la détermination du tableau des évaluations, on sera amené à choisir une méthode d'aide multicritère pour le traitement de ce dernier. Ainsi dans ce chapitre, nous aurons à justifier le choix de la méthode utilisée et nous présenterons les concepts généraux de cette méthode.

Cinquième chapitre : Application et interprétation des résultats

Nous commencerons, dans ce chapitre, par présenter le logiciel réalisé sur la base de la méthode de résolution décrite au cours du chapitre précédent. Après quoi, nous interpréterons les résultats obtenus par ce logiciel.

Sixième chapitre : Analyse de sensibilité et élaboration de la recommandation

Dans ce dernier chapitre, nous examinerons la robustesse des résultats obtenus et interprétés dans le chapitre précédent. Cette procédure visera à déterminer le domaine de variation de certains paramètres dans lequel une recommandation reste stable.

Chapitre I

Position du problème

INTRODUCTION :

Au cours de ce chapitre on présentera l'hélium, ses utilisations, son processus d'extraction à partir du gaz naturel, ainsi que les caractéristiques de son marché et on terminera par la formulation de la problématique.

I. Généralités concernant l'hélium

1. Définition de l'hélium [Ham.84]

L'hélium fait partie du groupe des gaz rares, avec le néon, l'argon, le krypton, le xénon et le radon. Il est le deuxième élément abondant dans l'univers après l'hydrogène. Sur terre, il existe en très petite quantité dans l'air et dans le gaz naturel.

Symbole	He
Nombre atomique	2
Masse atomique	4.0026 g/mole
Point d'ébullition	-268.9 °C
Point de fusion	-269.7°C
Masse volumique	0.178 kg/m ³
Densité	0.126

Tab.I.1 *Caractéristiques de l'hélium*

L'hélium est un gaz inerte, chimiquement, non inflammable, son poids spécifique est très faible, sa section moléculaire est la plus petite existante. Tout en étant facile à détecter. Il a, aussi, une très bonne solubilité dans le sang et ne peut en aucun cas devenir radioactif (stabilité).

A l'état liquide l'hélium est incolore, très léger et possède des propriétés chimiques exceptionnelles.

2. Extraction de l'hélium du gaz naturel [Ham.84]

L'extraction de l'hélium à partir du gaz naturel requiert 3 ou 4 étapes fondamentales dans son processus :

1. Le **traitement du gaz** par l'élimination de l'eau, du CO₂ et des composés soufrés. C'est une étape classique dans les traitements des gaz.

2. La **séparation de l'hélium** consiste en l'élimination des hydrocarbures par liquéfaction et distillation. L'hélium se retrouve concentré à environ 70%.

3. La **purification de l'hélium brut** par le froid, ce dernier est obtenu par échange avec l'azote liquide. Cette opération élimine l'azote en le liquéfiant. Les autres gaz (l'argon, le néon et l'hydrogène) sont extraits par adsorption.

On obtient alors de l'hélium gazeux de pureté supérieure à 99.99%.

4. La **liquéfaction de l'hélium** par détente qui se trouve alors liquide à -269°C et 1.3 bar environ.

On résume ceci dans un schéma simplifié de la Fig.I.1

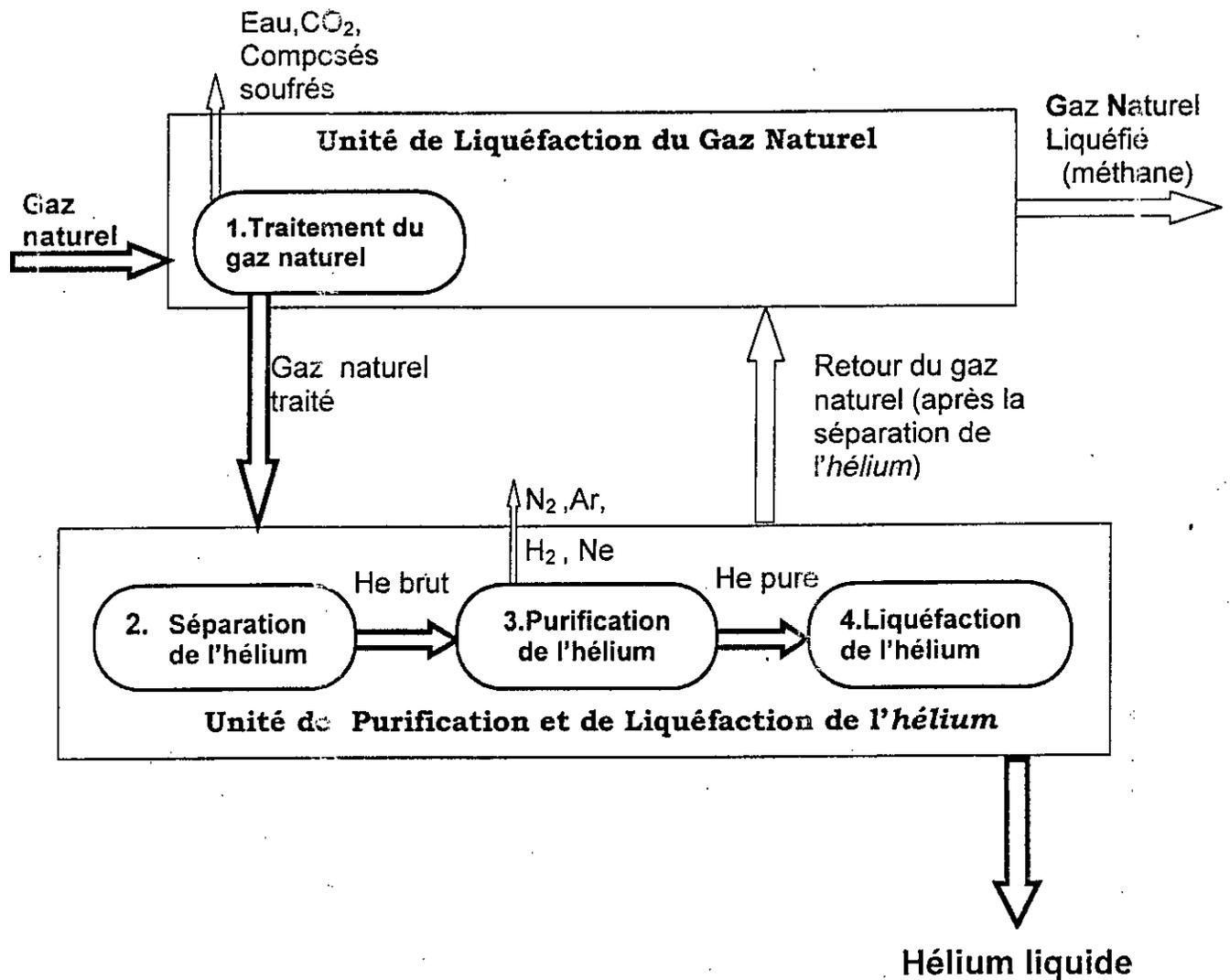


Fig.I.1 Schéma simplifié du processus d'extraction de l'hélium

3. Les applications de l'hélium [Cam.98]

les applications de l'hélium sont généralement catégorisées comme suit :

- Celles de l'hélium liquide qui nécessitent une très basse température : ainsi, l'hélium est livré aux utilisateurs finaux à sa basse température. Utilisé dans les applications de réfrigération, il est livré dans des récipients "Dewards" de tailles allant de 5 à 5000 litres.

Parmi les utilisations de l'hélium en son état liquide, on trouve :

- Le refroidissement des supraconducteurs utilisés dans la recherche magnétique ;
- Le refroidissement des supraconducteurs magnétiques utilisés dans les installations médicales;
- Le refroidissement d'autres composants électroniques.

- Celles qui nécessitent l'hélium dans son état gazeux : Pour servir ces applications, l'hélium est livré dans des cylindres et des camions citernes de très haute pression. La distribution se fait par échange de cylindres pleins contre d'autres vides ou par remplissage citerne /citerne.

On résume les applications qui nécessitent l'utilisation de l'hélium dans son état gazeux comme suit :

- Soudure en mixture avec l'argon, CO₂, O₂, N₂.
- Les technologies de soudure au laser.
- Gaz de purgeage et de pressurisation dans l'aérospatiale.
- Contrôle atmosphérique.
- Gaz de respiration utilisés dans la plongée sous-marine en profondeur.
- Refroidissement lors du filetage des fibres optiques.

La Fig.I.2 montre les proportions de consommation de l'hélium sous ses deux états dans le monde.

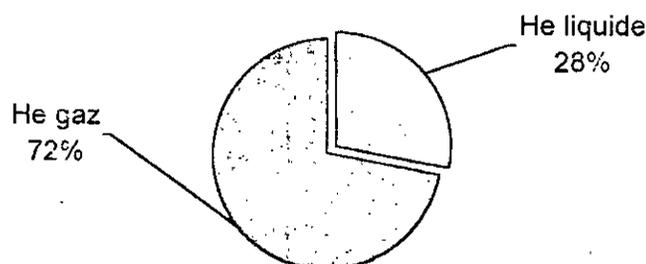


Fig.I.2 Profil d'utilisation de l'hélium sous états liquide et gazeux dans le monde (%)

II. Le marché mondial de l'hélium

1. La demande mondiale en hélium [Cam.98]

Le tableau ci-dessous, explicite les estimations des volumes (en millions m³) et pourcentages d'augmentation annuelle de la demande d'hélium aux E.U¹, Canada/Mexique, Europe, Japon, Chine, Moyen Orient, Inde, Afrique et Amérique du sud pour la période (1993 - 2010).

Région	Année	1993	1997	2000	2005	2010	TAA ² % de 1997 à 2010)
E.U.		69	73	80	92	105	2.9%
Can. / Mex.		3	4	4	5	6	3.6%
Amérique du Nord		72	77	84	97	111	3.0%
Japon		9	12	15	19	24	5.4%
Chine		2	3	5	8	14	11.8%
Indonésie/Afrique/ Moyen-Orient		1	1	1	2	3	7.9%
Amérique de sud		2	3	3	5	7	8.0%
Europe		20	24	28	35	42	4.5%
Demande totale		106	120	136	166	201	4%

Tab.I.2 la demande mondiale en hélium par régions (en millions de m³)

La demande mondiale d'hélium a augmenté de 106 millions m³ en 1993 à 120 millions de m³ en 1997, soit un pourcentage d'augmentation annuel de 4% depuis 1993. D'après les prévisions, la demande mondiale va passer de 136 millions m³ en 2000, à 166 millions m³ en 2005 et à 201 millions m³ en 2010, soit un taux de 4% pour la période (1997-2010).

Le marché des E.U représente environ 60% de cette demande mondiale, environ 20% pour l'Europe, 10% pour le Japon, et 10% pour le reste du monde.

¹ E.U : Etats Unis

² TAA : Taux d'augmentation annuel

La fig.I.3 illustre les parts de demande en *hélium* pour chaque région.

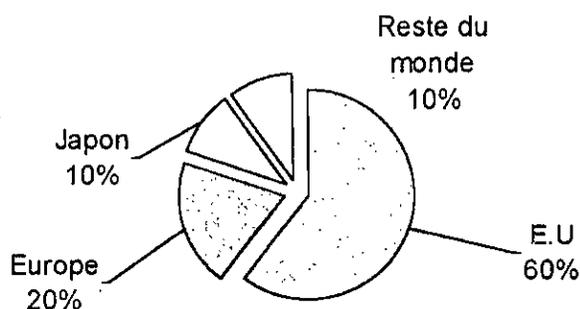


Fig.I.3 Demande mondiale en hélium par région

a) La demande des Etats-Unis

La demande en *hélium* aux E.U est passée de 72 millions m³ en 1993 à 77 millions m³ en 1997, actuellement elle est de 84 millions m³, soit un pourcentage d'augmentation annuel de 3% pour la période (1993-2000).

Il est prévu que cette demande atteindra les 97 millions m³ en 2005 et 111 millions m³ en 2010.(Tab.I.2)

b) La demande européenne

Le volume de la demande européenne totale en *hélium* a passé de 20 millions m³ en 1993 à 24 millions m³ en 1997, pour atteindre en 2000 près de 28 millions m³ (soit 4.5% taux d'augmentation annuellement).

Il est prévu que cette demande atteindra jusqu'à 35 millions m³ en 2005 et 42 millions m³ en 2010, soit un pourcentage d'augmentation de 4.4% pour la période (1997-2010).(Tab.I.2).

2. L'offre mondiale d'Hélium [Cam.98]

Les E.U s'imposent de très loin comme le principal producteur mondial de l'hélium à partir du gaz naturel exploité avec une teneur minimale de 0.3%. Les autres producteurs sont actuellement la Pologne, la Russie en Europe et l'Algérie.

Le tableau ci-dessous montre les capacités estimées pour l'extraction de l'hélium brut, sa purification et sa liquéfaction en millions de m³/an :

Hélium	1997			2000			2005			2010		
	brut	pure	liquide	brut	pure	liquide	brut	pure	liquide	brut	pure	liquide
E.U	190	142	117	192	158	139	207	176	162	226	195	180
Algérie	28	17	17	28	17	17	40	25.5	25.5	40	34	27
Russie	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Pologne	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-
Total	223	166	141	225	182	163	248	209	195	271	232	217

Tab.I.3 Capacités mondiales et perspectives globales d'offre de l'hélium brut, pur et liquide (en millions de m³)

a) Capacités d'offre d'hélium brut

La disponibilité de l'hélium brut reste la principale contrainte d'offre de l'hélium. Actuellement, la disponibilité mondiale de l'hélium brut est estimée à 225 millions m³, elle est appelée à augmenter jusqu'au moins 2010.

Les facteurs intervenant dans ce scénario sont :

- **Aux Etats-Unis**

- Les E.U possèdent environ 6 milliards de m³ de réserves prouvées récupérables d'hélium. La pression du gaz de ses champs va diminuer, mais cette baisse ne sera pas importante avant 2010.
- Les E.U ont environ 870 millions m³ d'hélium brut en stock. C'est l'équivalent d'au moins 5 ans de demande internationale.

- **En Europe**

- Les pressions des puits de gaz naturel polonais sont en baisse. Ainsi, la Pologne ne pourra t-elle être une source viable pour fournir assez d'hélium brut au-delà de 2005. (Dans ce modèle, la production de la Pologne après 2001 n'étant pas incluse).

- Le niveau du brut d'hélium, quant à lui, russe restera le même que celui enregistré actuellement. Cependant, il est improbable que la Russie augmente sa capacité du brut (par la réalisation de nouvelles unités) vu la faible teneur, 0.05% en hélium, de son gaz naturel.
- **En Algérie**
 - Au début des années 1990, l'Algérie a vu la mise en place, par la société Helios, d'une unité de production d'hélium d'une capacité de 17 millions m³. Aussi les importantes ressources en gaz naturel (3000 milliards m³), avec une teneur en hélium (0.2%) ainsi que la proximité géographique du marché européen, laissent-elles entrevoir d'intéressantes perspectives d'augmentation de la production et de pénétration du marché, et ce par la réalisation de nouvelles unités.

Remarque :

On a pris comme hypothèse, pour le cas algérien, qu'il y aura une augmentation de la capacité de production de 8.5 millions m³ en 2005 et une autre de même capacité pour 2010.

Les Etats-Unis présentent actuellement à eux seuls, près de 85% de l'offre mondiale du brut, l'Algérie vient en 2ème position avec 12%. puis suivent la Russie avec 2.6% et enfin la Pologne avec 0.8% (voir la figure ci-dessous).

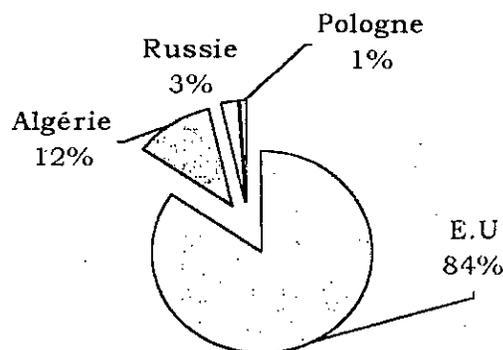


Fig.I.4 les capacités d'offre mondiales du brut en l'an 2000 (en %)

b) Capacités de purification et de liquéfaction de l'hélium

Actuellement les capacités de liquéfaction mondiales sont réparties comme suit (fig.I.6) :

Les E.U détiennent environ 83% de la capacité totale, l'Algérie détient 12%, la Russie 4% et enfin la Pologne ne dépasse pas le 1%.

Les E.U et l'Algérie sont les sources potentielles les plus viables qui peuvent répondre à l'augmentation de la demande. Leur gaz naturel a une teneur en *hélium* importante (0.3% et 0.2% pour les E.U et l'Algérie respectivement), et assez de brut pour alimenter des capacités de purification et de liquéfaction additionnelles.

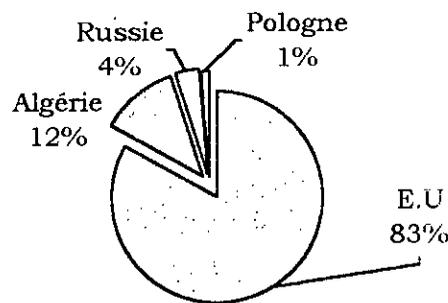


Fig.I.5 Capacités mondiales de liquéfaction de l'hélium en 2000

3. La balance entre l'offre et la demande d'Hélium [Cam.98]

La balance entre les capacités d'extraction et l'offre de l'hélium dans :

a) Le monde

La fig.I.7 résume la situation de la demande mondiale d'hélium, ainsi que les capacités installées avant l'an 2000 et celles qui sont prévues pour les prochaines années (2000-2010) afin de répondre à cette évolution.

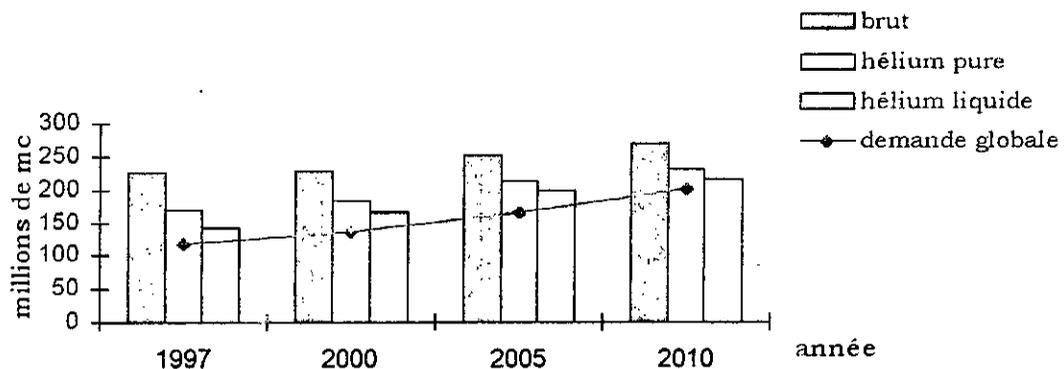


Fig.I.6 La balance mondiale entre capacité et demande d'hélium

b) L'Europe

Pour ce marché, qui connaîtra un déficit de l'offre d'hélium, par rapport à la demande de l'ordre de 3 millions m³ pour 2000, 12 millions m³ pour 2005 et 18 millions m³ en 2010, et ce sans tenir compte des augmentations probables de la capacité en Algérie.

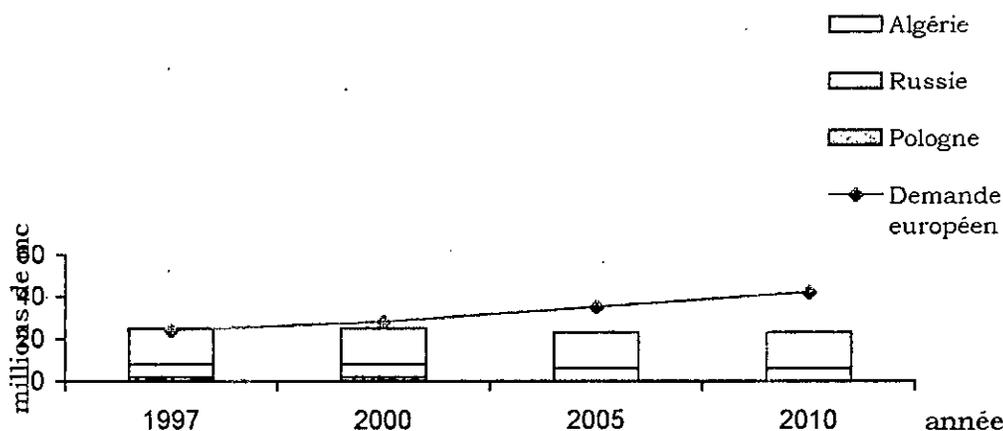


Fig.I.7 La balance européenne entre capacité et demande d'hélium

III. Les échanges de l'hélium dans les marchés internationaux [Cam.98]

Les figures I.9 et I.10, montrent l'évolution de la géographie de l'offre de l'hélium pour les années 1993 et 2000.

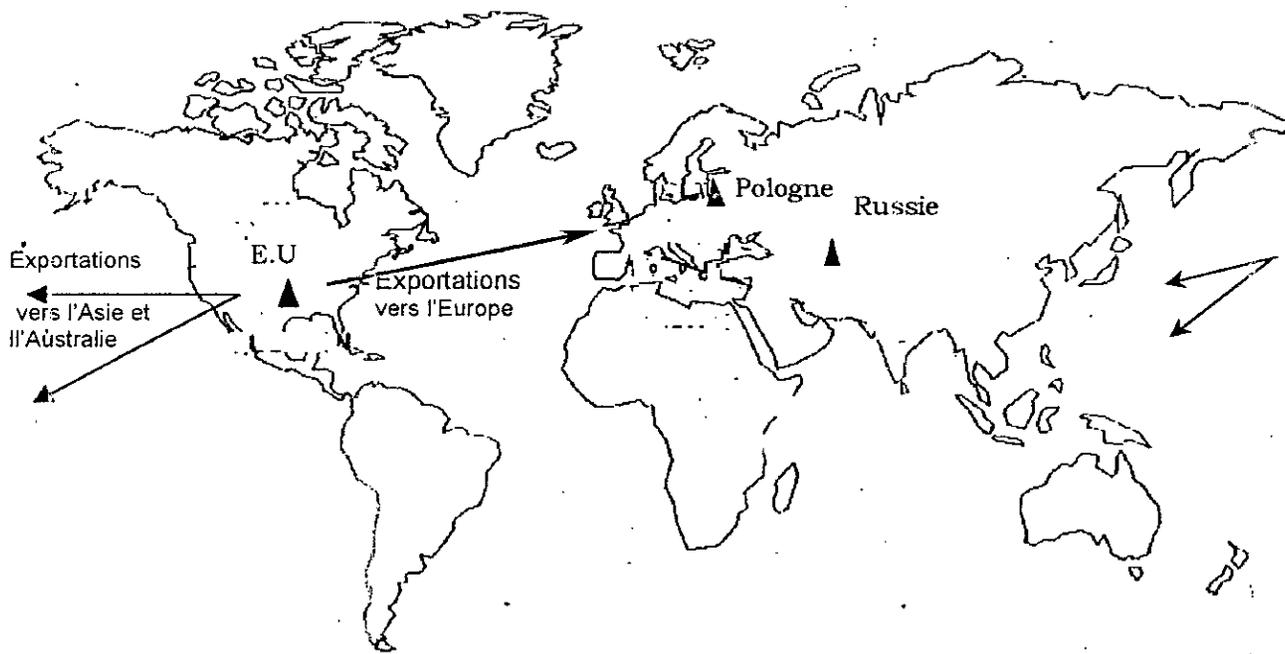


Fig.I.8 Le profil d'offre internationale d'hélium en 1993

En 1993, seuls les E.U, la Russie et la Pologne produisaient de l'hélium, les E.U restant le principal fournisseur pour le monde et plus particulièrement pour l'Europe.

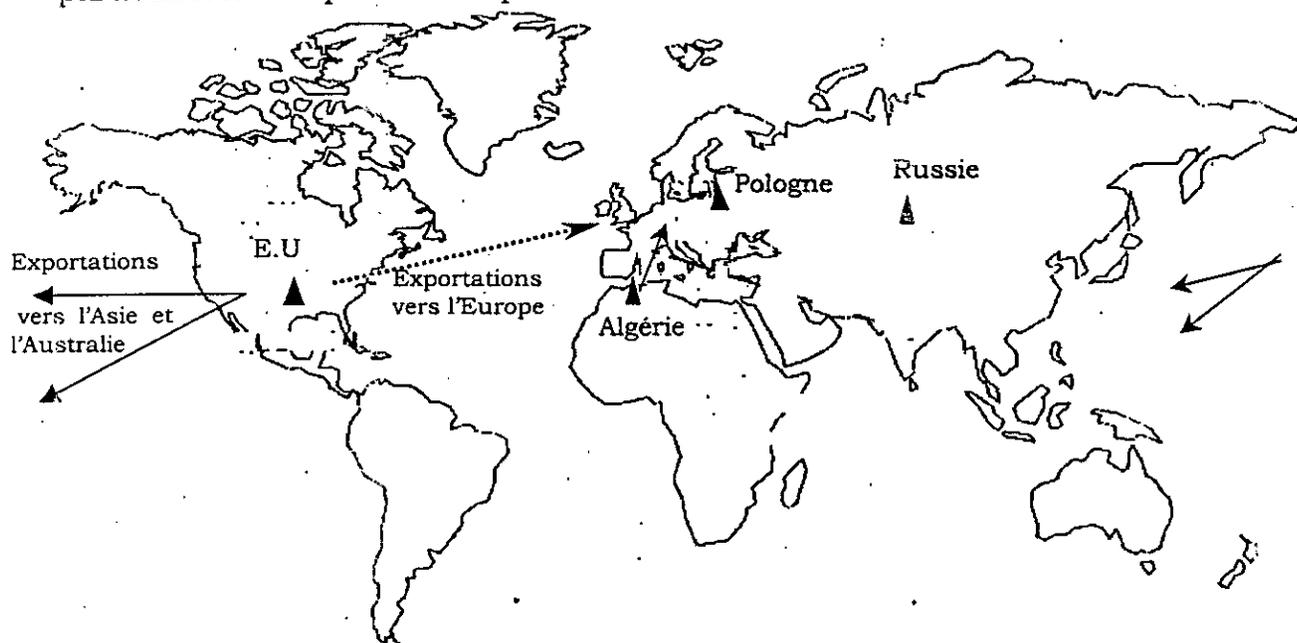


Fig.I.9 Le profil d'offre internationale d'hélium en 2000

L'entrée sur le marché international de l'Algérie en 1994 avec une capacité de production de 17 millions de m³/an a permis d'équilibrer l'offre sur le marché européen (Fig.I.9).

Il faut noter que 94% de la production algérienne est destinée au marché européen et les 6% pour le marché asiatique (Singapour, Inde) et l'Afrique de l'Est.

Le tableau suivant donne un aperçu sur l'évolution des volumes d'hélium échangés dans les marchés internationaux.

	1993	1997	2000	2005	2010
Consommation d'hélium et exportations des E.U	97.6	98.5	109.6	133.1	164.4
Marché local des E.U	69.0	73.0	79.7	92.0	105.4
Exportations des E.U vers l'Europe	11.0	3.3	1.4	1.7	3.1
Exportations des E.U vers le reste du monde	17.5	22.2	28.5	39.4	52.0
Le marché européen(demande totale)	18.9	24.3	28	34.6	42.5
Exportations de l'Algérie vers le marché européen	-	13.1	17	25.5	34
Production en Europe	7.9	7.9	7.9	5.9	5.9
Déficit de l'offre pour le marché européen (Demande - Production locale de l'Europe)	11	16.4	20.1	28.7	36.6
La consommation mondiale	105.5	119.4	136.3	166.0	199.8

Tab.I.4 Echanges internationaux de l'hélium avant et après l'entrée en scène de l'Algérie (Helios) (en million m³)

La production de l'Europe n'a guère dépassé les 8 millions m³/an, le déficit offre/demande (pour ce marché) a atteint en 1993 les 11 millions m³/an ; qui a été couvert par les exportations des E.U.

Le déficit a atteint 16.4 millions m³/an en 1997, dont 80% de ce dernière été couvert par les exportations de l'Algérie et 20% restantes par les E.U.

Actuellement, le déficit de l'offre pour le marché européen a atteint 20.1 millions m³/an, 93% couvert par l'Algérie et les 7% par les E.U.

A partir de l'an 2000, la demande européenne atteindra des niveaux (Le déficit offre/demande en 2005 est estimé à 28.7 millions m³) justifiant l'addition de capacités nouvelles (8.5 millions m³ en 2005 et 17 millions m³ en 2010) par l'Algérie (Sonatrach) ; profitant ainsi de la disponibilité de brut et les offres de prix qui pourront concurrencer les exportations des E.U.

IV. Le transport et distribution de l'hélium [Cam.98]

Le produit est livré pour les clients finaux sous forme : récipient Dewar, remorque liquide, conteneurs, camions-citerne, bouteille-tubes sous haute pression et camions citerne, dans différentes capacités.

Il existe dans le monde 160 dépôts pour le stockage et la distribution de l'hélium pour les clients finaux qui sont détenus par les producteurs et distributeurs suivants :

Air Product	: 43
BOC	: 42
PRAXAIR	: 31
Air Liquide	: 14
MG	: 8
AGA	: 5
Linde	: 5
NSC	: 5
Autres	: 7

Total : 160

Cinq majeurs producteurs internationaux des gaz industriels dominent la production et la distribution de l'hélium dans le monde, il s'agit de : Air Products (AP), Praxair (Prax), BOC, Air Liquide (AL) et Messer Griesheim (MG). Le schéma ci-dessous montre les parts de marché détenues par chaque groupe dans la distribution pour les années 1997 et 2000.

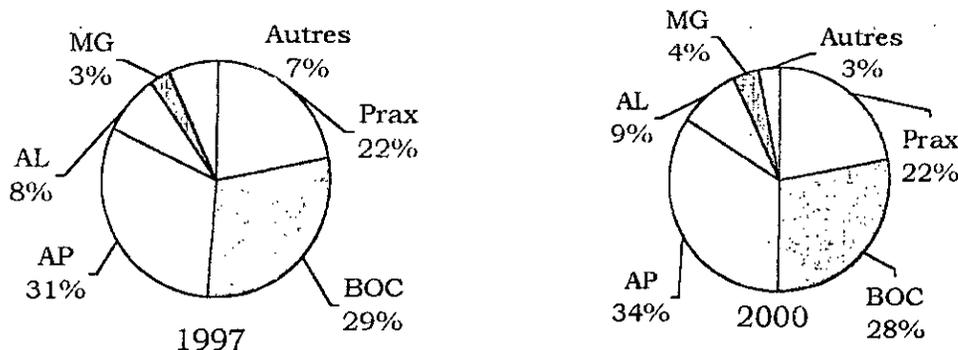


Fig.I.10 Les parts de marché de chaque distributeur dans le marché de l'hélium

V. Problématique

La réalisation de l'unité d'extraction de l'hélium est un projet qui doit répondre aux besoins du marché européen dont l'écart entre l'offre et la demande croît constamment, justifiant ainsi l'initiative prise par la SONATRACH.

Cette unité nécessite un recensement des différentes représentations ayant comme variantes :

- le site d'implantation
- choix de la capacité
- choix de la technologie
- choix du partenaire

La combinaison de ces variantes définissent donc l'ensemble de représentations (scénarios) possibles qui constituent les solutions possibles de ce projet.

La décision de retenir une configuration parmi les autres doit être subordonnée à plusieurs conditions. Ces conditions se traduisent en termes de critères : D'aspect économique, technique et stratégique. De ce fait, le projet doit :

- S'inscrire à l'intérieur des contraintes que subit l'entreprise (contraintes financières).
- Etre rentable.
- Tenir compte de la notion du risque.
- Etre à la veille des nouvelles technologies.
- Contribuer à la réalisation des objectifs prévus dans sa stratégie générale.

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

Chapitre II

Aide multicritère à la décision

INTRODUCTION :

Dans la vie d'une organisation, nombreuses sont les situations dont la complexité et/ou les enjeux invitent à rechercher une aide à la décision allant au delà de l'utilisation du bon sens, de l'expérience, ou de la mise en œuvre de techniques de calcul élémentaires.

L'aide à la décision a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à certaines questions que se pose un acteur engagé dans un processus de décision et d'apporter des moyens pour accroître la cohérence entre la décision finalement arrêtée et les objectifs et systèmes de valeurs (qui sont ceux des acteurs engagés dans le processus de décision).

L'aide à la décision prendra la forme d'aide multicritère lorsqu'on prend en compte plusieurs points de vue (susceptibles de structurer le processus de décision), cette démarche n'est pas destinée à supplanter définitivement les diverses approches monocritère, mais elle constitue une solide alternative à ces dernières.

Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts de l'aide multicritère à la décision, ainsi que ses approches opérationnelles.

I. L'aide multicritère à la décision

Définition [Vin,89][Sch,85]

« L'aide multicritère à la décision vise à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte. »

C'est aussi recourir à des techniques plus douces, en pratiquant l'aide à la décision multicritère plutôt que la recherche opérationnelle, et renoncer à désigner une solution optimum.

L'objectif de l'aide à la décision multicritères n'est pas de dissoudre le problème dans son environnement, mais lui chercher une solution acceptable et réaliste, tenant en compte l'environnement dans lequel les critères d'appréciation sont multiples.

II. Eléments d'aide multicritères à la décision [Bouyssou & Roy,93] [May,94]

1. Acteurs

La décision finale est généralement la résultante de multiples interactions entre plusieurs individus faisant partie du processus décisionnel, elle est également le fruit de diverses confrontations entre leurs systèmes de valeurs. Ces individus représentent les acteurs de processus décisionnel.

Parmi ces divers acteurs on distingue :

a) Les intervenants

Sont les acteurs qui conditionnent directement la décision en fonction du système de valeurs, dont ils sont porteurs.

Ils peuvent être :

- Des individus : directeur d'une université, directeur d'une entreprise, représentant d'un syndicat, ...
- Des corps constitués : conseil scientifique, jury, ...
- Des collectivités : Opinion publique, personnel d'une entreprise, associations, ...

b) Les hommes d'études (Analystes)

Ce sont eux qui prennent en charge l'aide à la décision. Leurs rôles consistent 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 n'est autre que le décideur.

2. Actions

Définitions [Bouyssou & Roy, 93]

a) Actions

« C'est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale susceptible d'être envisagée et de servir de point d'application à l'aide à la décision »

Selon la nature des problèmes, les actions peuvent être présentées de diverses manières :

- projets d'investissement,
- sites pour l'implantation d'une usine,
- réponses à un appel d'offre,
- etc.

b) 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.

c) Actions réalistes et action 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.

d) Actions potentielles [May, 94] [And, 95]

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

Etant donné la complexité des problèmes de décision, il n'est pas toujours possible de définir à priori l'ensemble A. Il arrive même souvent que la définition de A se fasse progressivement au cours de la procédure d'aide à la décision.

L'ensemble A peut être donc :

- **Stable** : il est défini à priori et n'est pas susceptible d'être changé au cours de la procédure.
- **Evolutif** : tout au long du déroulement du processus, et selon son état d'avancement, l'acquisition progressive de nouveaux éléments peut donner lieu à de nouvelles actions.
- **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.

Remarque :

L'ensemble A, en général, ne s'impose pas comme une réalité objective facile à cerner, Un même problème pouvant être modélisé à l'aide de différents ensembles A (stable ou évolutive, globalisée ou fragmentée). Il n'existe donc pas «une bonne» et «des mauvaises» définitions de A.

3. Critères d'évaluations

La mise en exécution de chacune des actions de (A) entraîne des conséquences ; ces conséquences sont en général multiples, elles s'apprécient en des dimensions variées (monétaire, temporelle, spatiale...). C'est en prenant appui sur l'évaluation de ces conséquences que les actions peuvent être comparées.

Ainsi 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 sont modélisées par le biais d'un ensemble de critères.

a) 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 point de vue »

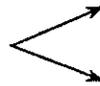
[May,94] : « Expression qualitative ou quantitative de points de vue, objectifs, aptitudes ou contraintes relative au contexte réel, permettant de juger des personnes, des objets ou des événements »

Exemple

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

Point de vue 1

Contraintes de réalisation du projet

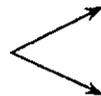


Critère 1 : Coût de l'investissement

Critère 2 : Délai de réalisation

Point de vue 2

Technique

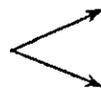


Critère 1 : Complexité de la technologie adoptée

Critère 2 : Compétences techniques des personnels

Point de vue 3

stratégique



Critère 1 : Part de marché

Critère 2 : Diversification des produits

Remarque : Un critère (noté g) est doté d'une structure de préférence ; à chaque critère est associée une échelle, en valeur ordinale ou cardinale.

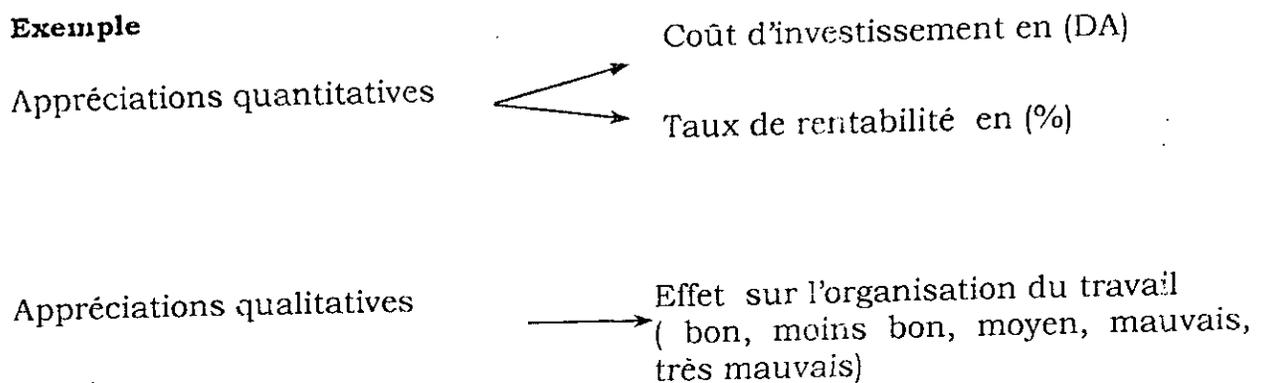
b) Echelle d'un critère [Sch, 85]

L'évaluation des actions selon un critère donné sur un axe de signification, conduit à l'établissement de deux échelles :

1. Echelle d'état

Elle représente les unités d'évaluation de chaque action par rapport à chaque critère, elle peut être associée à des appréciations quantitatives ou qualitatives.

Exemple



2. Echelle de préférence

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

Exemples

- Si nous considérons le critère « part de marché » et si l'objectif recherché est de maximiser cette part, nous aurons un sens de préférence croissant.
- Si nous considérons le critère « coût » qui est à minimiser, en général, l'échelle de préférence aura, dans ce cas, un sens décroissant, ainsi l'action prioritaire, selon ce critère, correspond à celle qui a l'évaluation minimale.

Remarque : l'échelle d'état peut être prise comme une échelle de préférence pour de nombreux critères, tant quantitatifs que qualitatifs.

Exemple : critère (profit, rendement d'une machine, l'accessibilité d'une nouvelle usine par le réseau autoroutier...).

c) Poids des critères [Bouyssou & Roy, 93]

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 ».

Le poids d'un critère est d'autant plus élevé que le critère est important dans l'esprit du décideur.

En général il n'est pas aisé de fixer ces poids. La sélection des poids constitue l'espace de liberté du décideur. Chaque décideur aura son jeu de poids propre en fonction des priorités qu'il accorde à chaque critère.

d) Famille cohérente de critères [Bouyssou & Roy, 93]

Lorsqu'un problème repose sur la considération d'un ensemble de critères, noté $F = \{g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n\}$, l'évaluation d'une action a suivant le critère g_j est notée $g_j(a)$.

Cet ensemble de critères doit être compris et accepté par tous les intervenants du processus de décision ; Pour exprimer ceci, le terme de famille cohérente est utilisé.

Est appelé **famille cohérente de critères** toute famille conforme aux trois exigences suivantes :

1. 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, elles seront alors au niveau global. Ceci se traduit par :

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

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

2. 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 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. C'est à dire que si l'évaluation d'une action (a_i) est égale à celle de l'action a_k Ceci se traduit par :

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

3. 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 soit susceptible de mettre en défaut l'une des conditions précédentes.

III. Les problématiques d'aide à la décision multicritère [Vin,89]

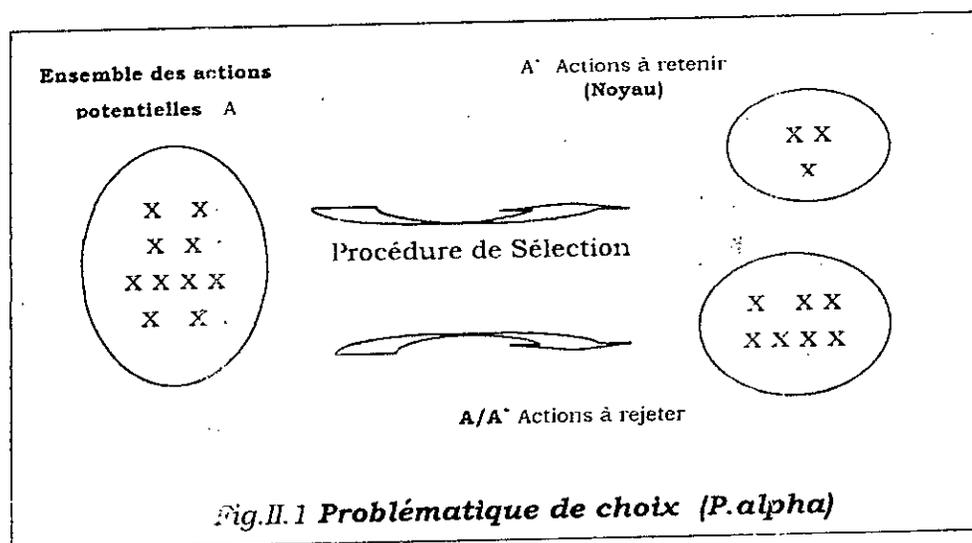
Définition

un problème de décision multicritère est une situation où, ayant défini un ensemble A d'actions et une famille cohérente de critères sur A, on désire :

- Soit déterminer un sous ensemble d'actions considérées comme les meilleures vis-à-vis de A (**problème de choix**).
- Soit partitionner A en sous ensembles suivant des normes préétablies (**problème de tri**).
- Soit ranger les actions de A de la meilleure à la moins bonne (**problème de rangement**).

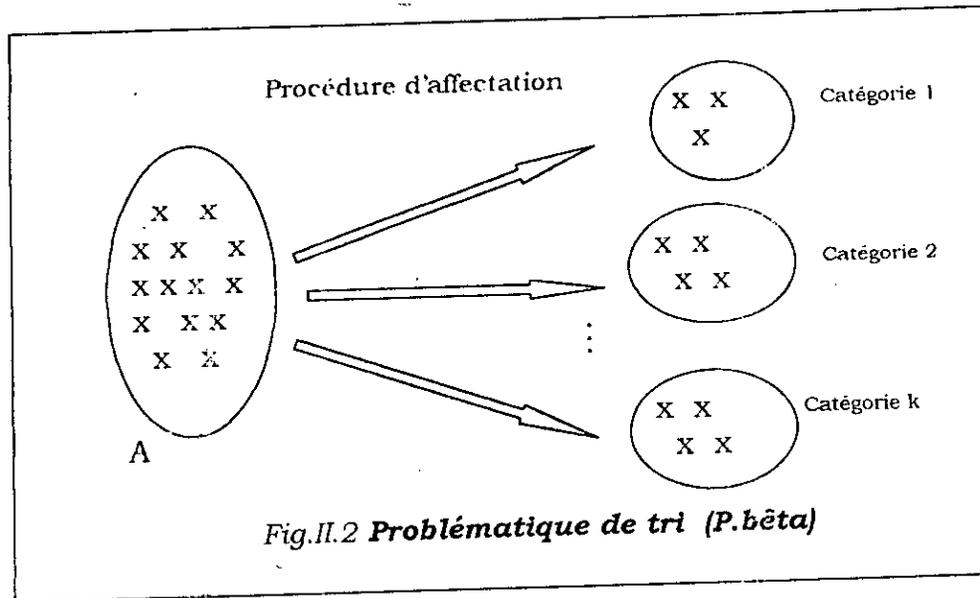
1. Problème de choix (p.alpha)

Consiste à formuler le problème en termes de meilleur choix mais sans s'imposer d'aboutir à la mise en évidence d'une solution réputée optimale (l'optimisation en est donc un cas particulier), elle a pour but d'éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible, contenant des « meilleures » actions ou, à défaut, des actions « satisfaisantes » pour aboutir à un choix ou, une procédure de sélection.



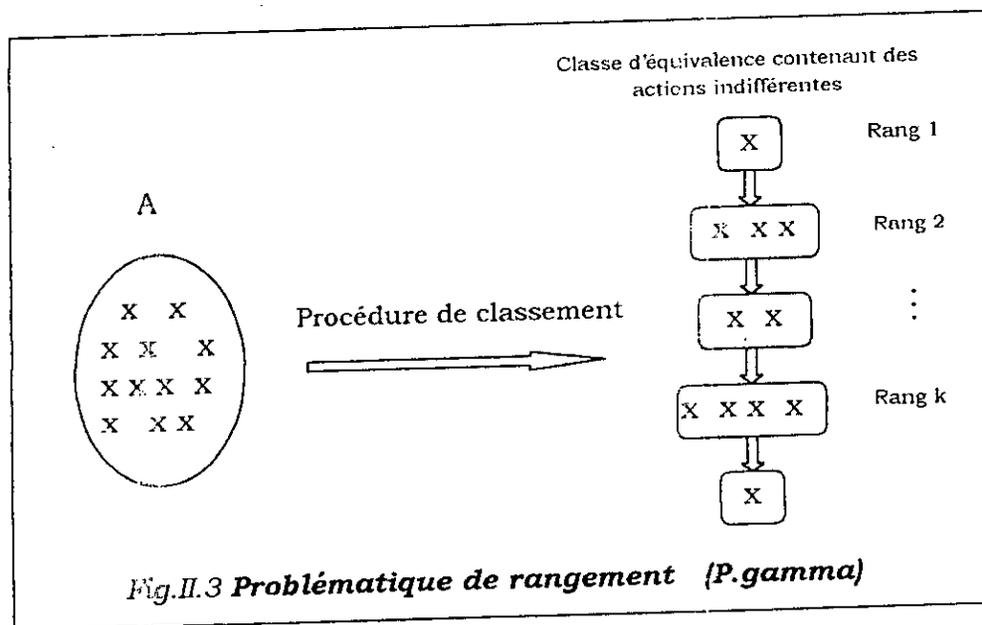
2. Problématique de tri (P.bêta)

Correspond à une pratique courante : celle de l'examen. Son objectif est d'éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie (chaque catégorie étant définie préalablement en fonction de normes portant sur les valeurs intrinsèques des actions). Sa finalité est un tri ou une procédure d'affectation.



3. Problématique de rangement (P.gamma)

Cette problématique procède d'une autre optique : celle du concours aboutissant à un classement, son but est d'éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie (« les plus satisfaisantes ») des actions en classes d'équivalence ordonnées conformément aux préférences, pour pouvoir décrire un rangement ou une procédure de classement.



IV. Démarche multicritère d'aide à la décision [Vin, 89]

Un problème d'aide multicritère à la décision peut être abordé par 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 apport 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 les résultats obtenus.

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 recommandé de faire une analyse de sensibilité des paramètres de la méthode multicritère appliquée visant à tester la stabilité de résultat obtenu.

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

Confronté à la comparaison de deux actions a et b (éléments de l'ensemble A), on est amené à considérer 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 :

1. Préférence stricte (P)

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

2. Indifférence (I)

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

3. 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.

4. Incomparabilité (R)

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

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

5. Relation de non - préférence

Elle correspond au regroupement de l'indifférence et de l'incomparabilité entre deux actions, elle est notée :

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

6. 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 :

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

7. Relation de surclassement

Relation définie sur l'ensemble des actions dont la signification est la suivante : une action (a) surclasse une autre (b) s'il est possible d'affirmer, que (a) est au moins aussi bonne que (b).

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

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

Remarque : (S) 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, on peut 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.

b) Le préordre total (complet)

Il correspond à un classement des actions en utilisant 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, où l'incomparabilité (R) entre deux actions est prise en compte.

VI. Modélisation de préférence dans un problème multicritère [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 :

1. Modèle du vrai critère

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

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

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

Ce modèle prend en considération les deux relations de préférence stricte et d'indifférence.

2. Modèle du quasi-critère

Le modèle du vrai-critère peut parfois conduire à des situations préférentielles peu convaincantes, du fait que les évaluations de $g_j(a)$ et $g_j(b)$ sont souvent entachées d'imprécision et d'incertitude ; cependant, il faut admettre 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

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

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

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

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** p_j 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 :

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

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

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

Remarque : Donner une valeur aux deux seuils q et p n'est pas toujours une tâche aisée, notons néanmoins que, dans bien des situations, toute valeur non nulle pour q et p conduit à un modèle de préférence qui sera plus probant que celui considérant les valeurs nulles.

II.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 g_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. II.4].

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, productivité...
- 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.

critère \ actions	g_1	g_2	...	g_i	...	g_n
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_i(a_1)$	...	$g_n(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_i(a_2)$	...	$g_n(a_2)$
...
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_i(a_i)$	...	$g_n(a_i)$
...
a_p	$g_1(a_p)$	$g_2(a_p)$	...	$g_i(a_p)$	...	$g_n(a_p)$

Fig.II.4 Tableau des évaluations

II.8 Problème d'agrégation [Sch,85]

Après l'évaluation des actions par rapport à chaque critère, on passe alors à la structure de préférence globale, qui prend en considération l'ensemble des critères définis, à travers une procédure d'agrégation multicritère adéquate dont le choix dépend de la complexité du problème, de la possibilité de déterminer les paramètres, et du degré d'homogénéité des critères.

Ce problème consiste alors, à savoir sur la base de quel raisonnement, calcul, déductions on peut affirmer que « l'action (a) est au moins aussi bonne que (b) » en prenant en compte tous les critères figurant dans le tableau des évaluations.

1. Approches 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

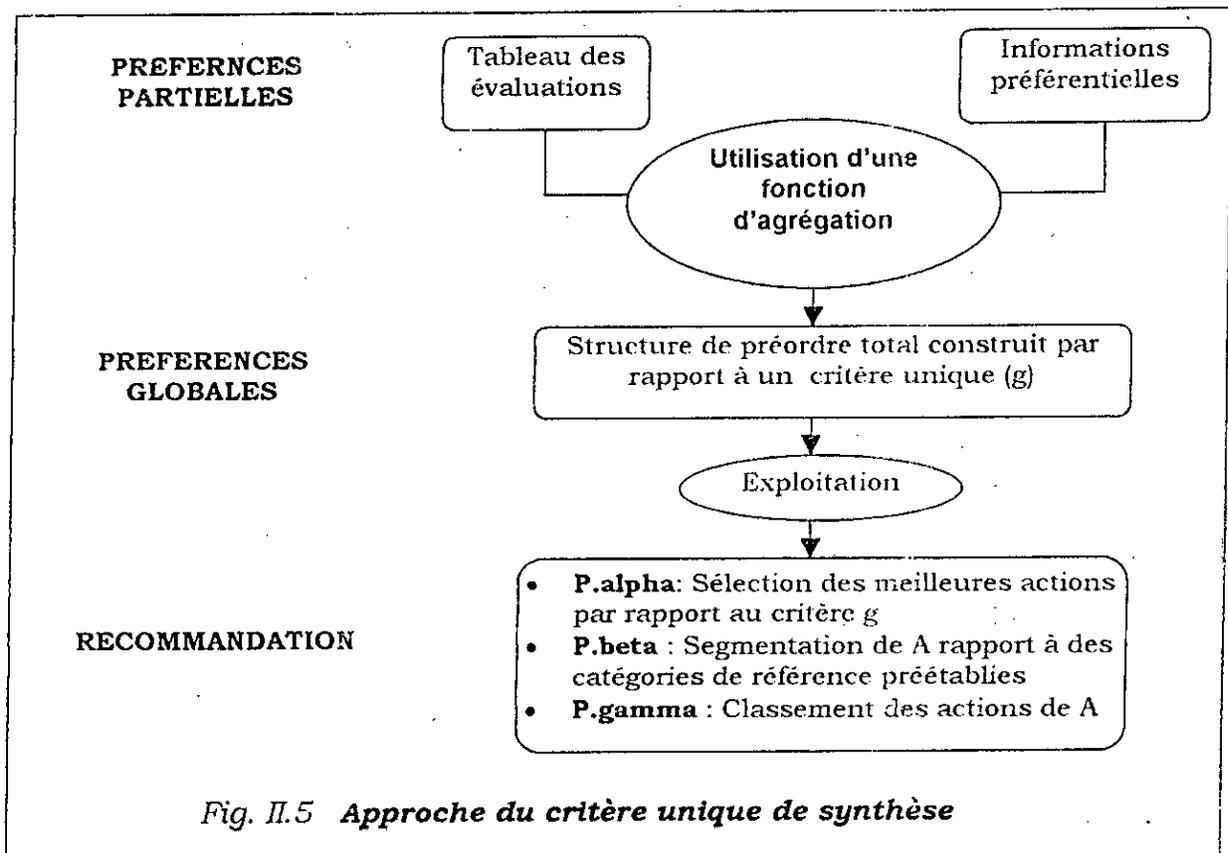
a) Approche du critère unique de synthèse

Cette approche consiste à prendre appui sur une règle apportant une réponse synthétique exhaustive au problème de l'agrégation des performances.

Elle prend la forme d'un critère unique de synthèse agrégeant tous les critères par le biais d'une **fonction d'agrégation (U)** (qui peut être additive, multiplicative ou autre), à valeur réelle de telle sorte qu'elle puisse être considérée comme un critère (g) et donc :

$$g(a) \geq g(b) \Rightarrow aSb \quad \text{avec } g = U(g_1, g_2, \dots, g_m)$$

Elle conduit systèmes de préférences, ayant des propriétés de transitivité et excluant l'incomparabilité (ordre total, préordre total) d'où la dénomination « Agrégation totale transitive ».

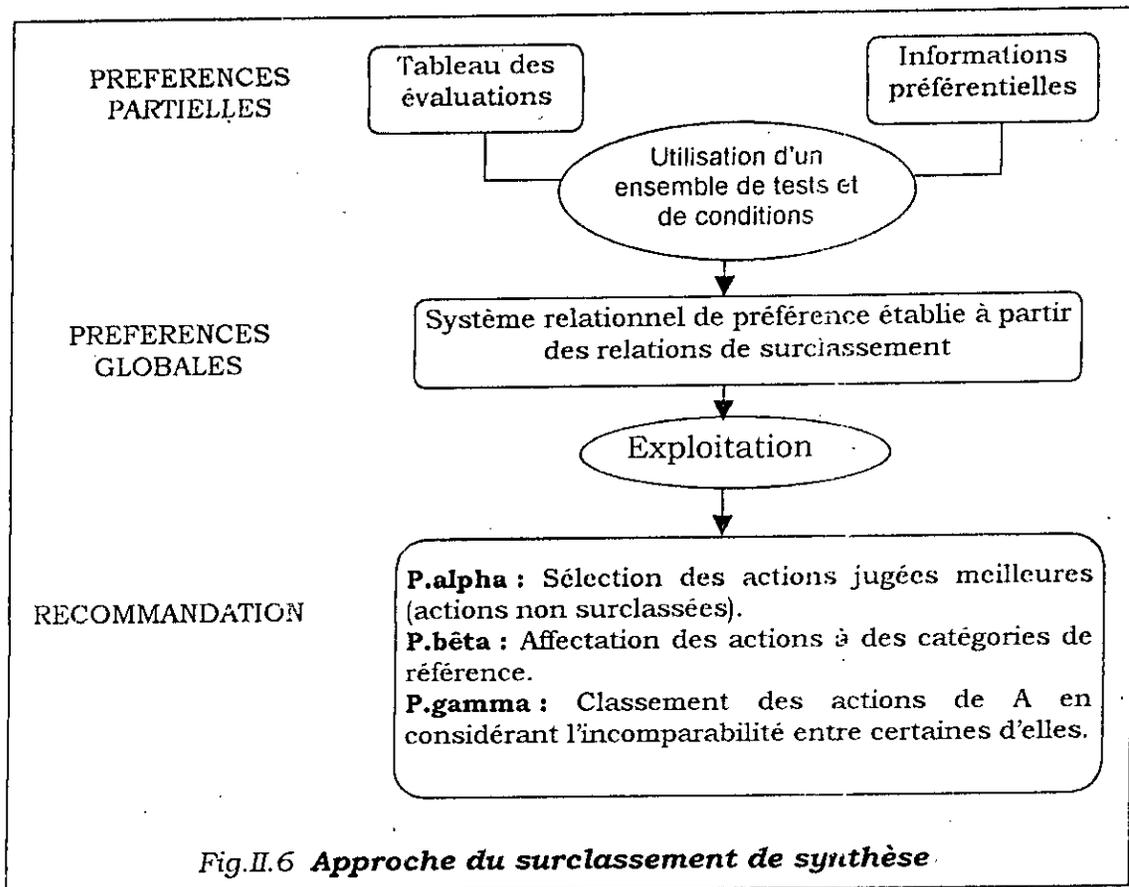


b) Approche du surclassement de synthèse

Cette approche consiste à prendre appui sur une règle apportant une réponse synthétique, exhaustive au problème de l'agrégation des performances.

Elle prend la forme d'un ensemble de tests et conditions, conduisant à accepter ou rejeter un surclassement entre les actions au niveau global. Ce jugement doit être fondé sur une comparaison qui ne peut être réduite à celle de deux.

Elle conduit à 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. II.6]



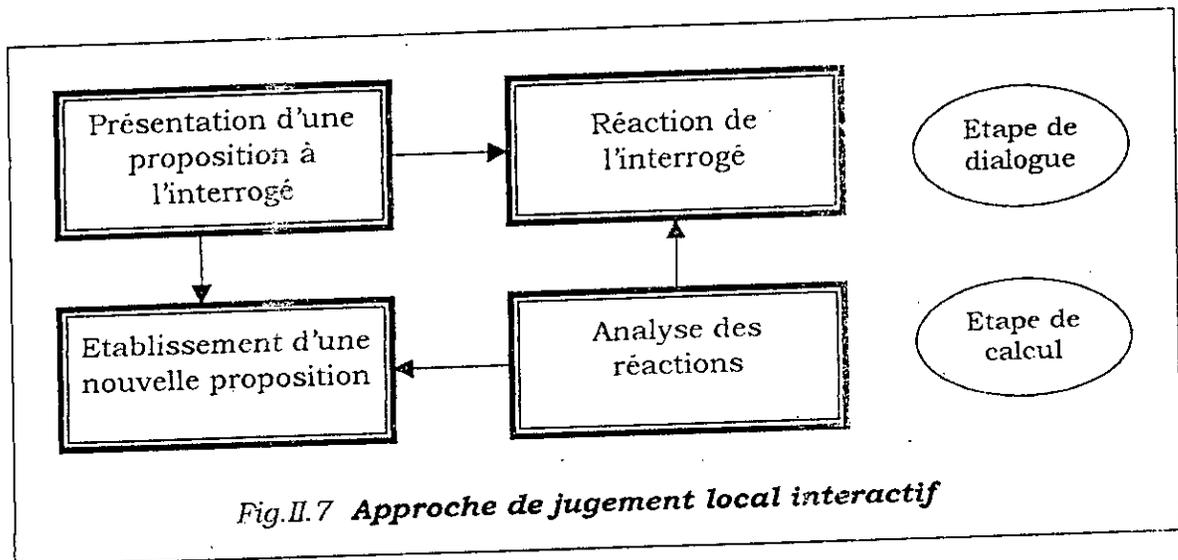
c) Approche du jugement local interactif

Dans cette approche, il n'est pas question de chercher à expliciter une règle apportant une réponse synthétique, exhaustive au problème de l'agrégation des performances (l'agrégation ne procède plus de l'explicitation d'une règle, même partielle ou provisoire). L'élaboration de la recommandation s'opère dans cette approche au cours d'un dialogue entre un interrogé et interrogateur régi par un protocole d'interaction qui travaille de façon :

- **Provisoire** : en laissant à l'interrogé la possibilité de changer d'avis et de revenir sur des opinions précédemment émises.
- **Locale** : en lui permettant de concentrer son attention sur un petit nombre d'actions qu'il paraît pertinent de chercher à comparer parce qu'elles sont voisines.

**Ce dialogue peut s'analyser comme la succession de deux étapes :

- **Etape de dialogue** : ou l'interrogé réagit face à une proposition.
- **Etape de calcul (traitement)** : ou l'interrogateur tire parti des réactions de l'interrogé pour lui faire une autre proposition.



2. Choix d'une approche d'agrégation [Vin, 89]

a) L'approche d'agrégation totale

L'emploi d'une approche basée sur un critère unique de synthèse, se justifie dans le cas où les performances des actions peuvent être évaluées sans 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, ainsi qu'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 suivants :

- Il existe une forte hétérogénéité dans les échelles de préférences entre critères.
- 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.

c) L'approche d'agrégation locale interactive

L'utilisation de cette approche est justifiée dans le cas où l'ensemble des actions potentielles est riche ou infini.

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 :

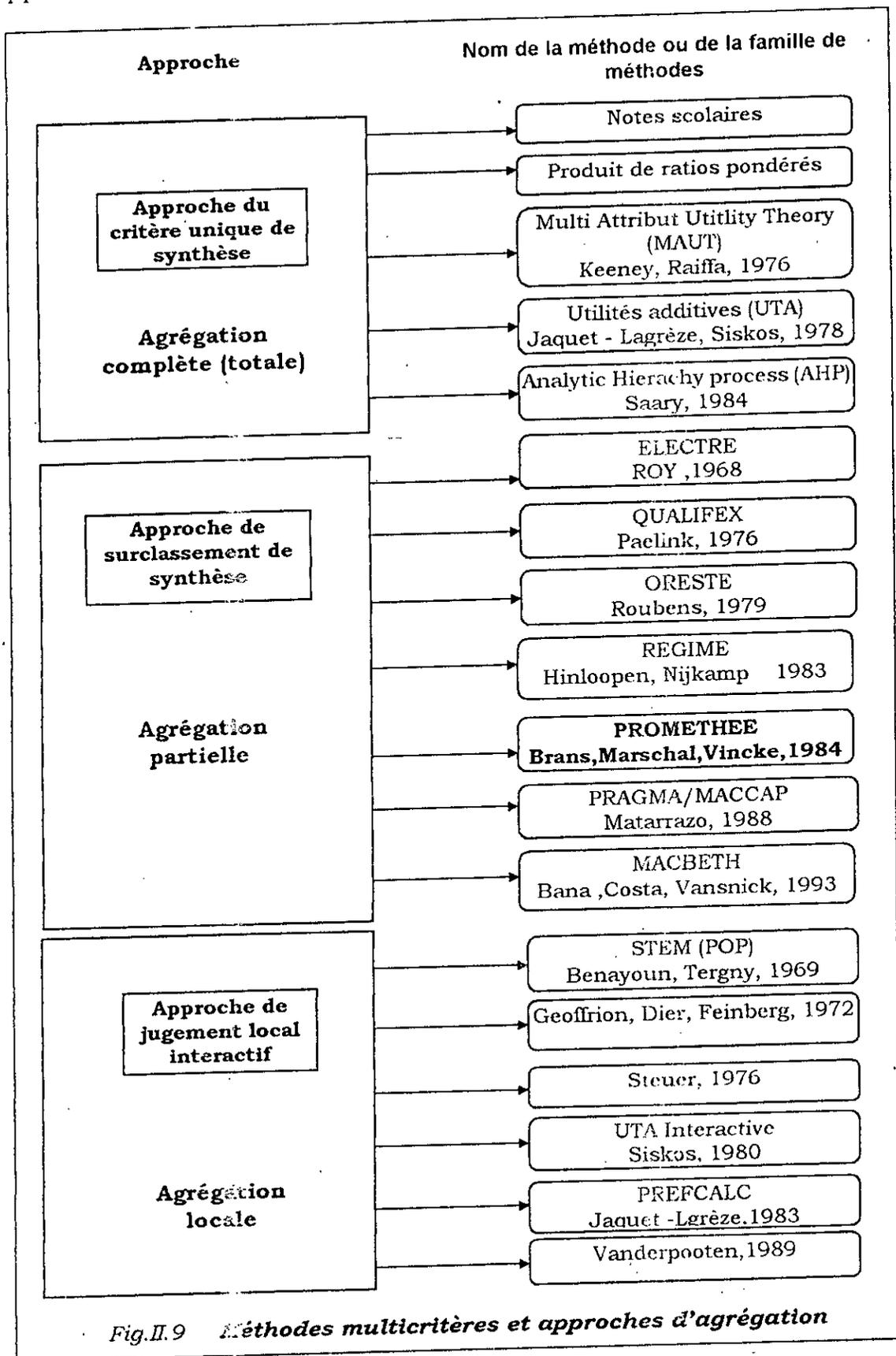


Fig. II.9 Méthodes multicritères et approches d'agrégation

Chapitre III

Modélisation du problème

INTRODUCTION :

Le chapitre précédent nous a permis d'éclairer certaines notions relatives à la théorie d'aide à la décision multicritère. L'objet du présent chapitre sera consacré à la modélisation du problème, où nous commençons par la description de l'objet de la décision ensuite nous définissons l'ensemble des actions potentielles, ainsi que la famille des critères d'évaluation. Nous terminons par l'évaluation des actions selon chaque critère.

I. Description de l'objet de la décision

L'étude de marché confirme la croissance de la demande par rapport à l'offre en Hélium, et montre que seul les E.U et l'Algérie peuvent répondre à cette demande.

Réaliser un tel investissement revient à établir correctement le dénombrement des actes (décisions) possibles. Chaque décision impliquant à la fois :

- **Où ?** : Site d'implantation
- **Comment ?** : - Dimensionnement de l'unité.
- Technologie appliquée.
- **Avec qui ?** : Le partenaire choisi.

Ces choix représenteront les différentes variantes qui influencent la prise de décision, dont il est important ici de bien les expliciter :

1-Site d'implantation

L'unité d'extraction d'hélium devra être réalisée dans l'enceinte (ou à proximité) des usines de liquéfaction du gaz naturel existantes pour bénéficier :

- De l'input de gaz brut riche en hélium.
- De l'intégration technologique (l'extraction de l'hélium faisant partie de la même filière que la liquéfaction du gaz naturel).
- De la disponibilité des utilités (eau, électricité...).
- D'un transport moins coûteux (proximité du port maritime).

La SONATRACH dispose de quatre unités de liquéfaction du gaz naturel (voir annexe 1), les quantités d'hélium (0.2 % de teneur en hélium dans le gaz naturel) disponibles sur chaque site sont :

Site	Ressources Hélium (millions de m ³ / an)
GL4Z (Arzew)	3.2
GL1Z (Arzew)	21
GL2Z (Arzew)	5
GL1K (Skikda)	17

Tab.III.1 *Ressources disponibles d'hélium sur les sites (GNL)*

2-Dimensionnement

Trois normes sont établies pour le dimensionnement d'une unité de production d'hélium :

- 300 mm CF/an (8.5 mm m³/an).
- 600 mm CF/an (16 mm m³/an).
- 300+300 mm CF/an (8.5 + 8.5 mm m³/an) modulés dans le temps.

Le choix de l'une de ces trois dimensions, doit se faire en tenant compte des capacités de liquéfaction du gaz naturel, la teneur du gaz naturel en hélium et la part de marché du producteur, ou de ses partenaires potentiels.

3-Technologie

Le processus d'extraction de l'hélium à partir du gaz naturel, engendre la libération systématique de l'azote, notons que, ce procédé d'extraction nécessite un apport en ce dernier (§ I.2)

De ce fait, deux options s'offrent à nous pour la technologie de production de l'hélium:

Option 1 : Consiste à l'extraction de l'azote à partir du gaz naturel, pour satisfaire les besoins du processus de production d'hélium.

L'avantage important de cette option, est la part de production d'azote à commercialiser.

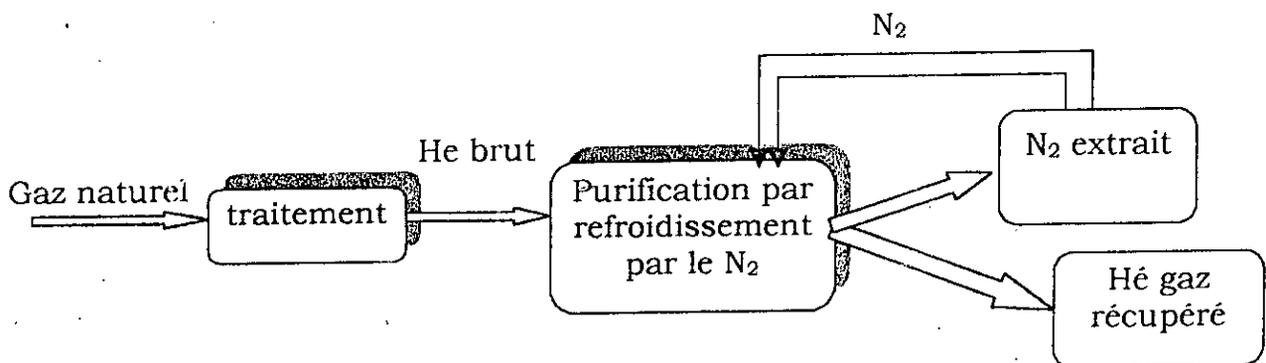


Fig.III.1 L'Azote utilisé dans le processus d'extraction de l'Hélium vient du gaz naturel

Option 2 : Consiste à l'extraction de l'azote à partir de l'air.

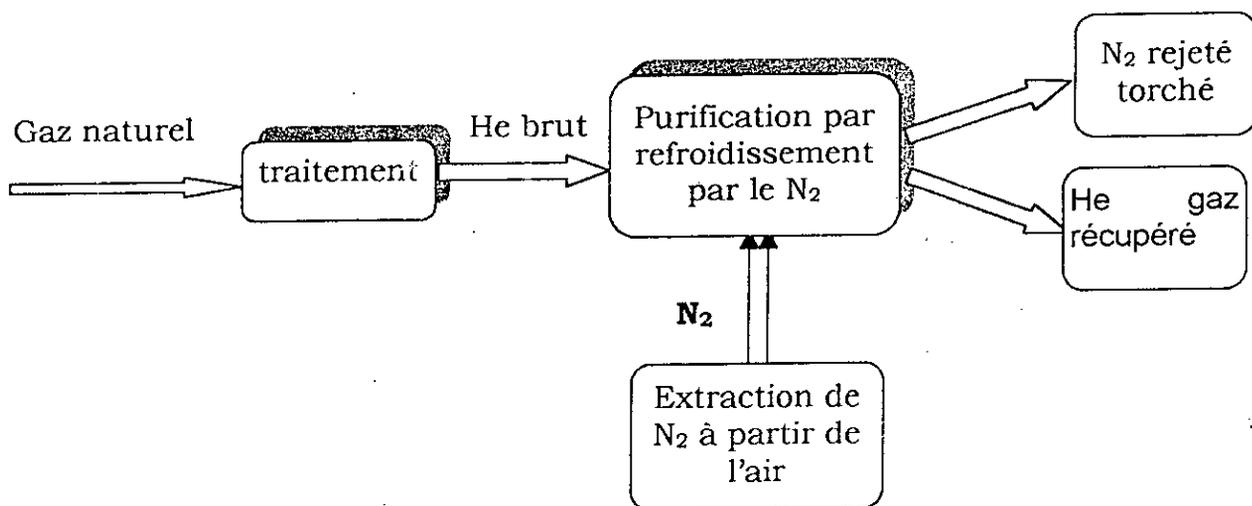


Fig.III.2 Extraction de l'azote à partir de l'Air pour alimenter le processus production d'Hélium

4-Partenaire

Le marché de l'hélium est un marché fermé dans lequel peu de compagnies assurent la production et la commercialisation de ce produit. De ce fait SONATRACH ne peut entreprendre ce projet toute seule.

Suite à un appel d'offre lancé par La SONATRACH, plusieurs compagnies ont répondu favorablement, dont trois ont été retenues après une présélection et qui sont :

- Air liquide (AL).
- Air products (AP).
- Linde.

II. Définition de l'ensemble des actions potentielles

Dans cette étape on est amené à définir les différentes configurations que peut prendre ce projet d'investissement compte tenu des choix possibles qui s'offrent à l'entreprise par chaque variante :

- Localisation.
- Dimensionnement.
- Technologie.
- Partenaire.

Pour ce faire, nous avons procédé à un jeu de combinaison des possibilités qui s'offrent pour chaque variantes (ci-dessus). Ceci conduit à établir un arbre résumant le nombre total d'actions potentielles (voir Fig.III.4).

Notons qu'une action noté (a_i) est le cheminement d'une combinaison totale.

Remarque : Pour le site d'Arzew, le contrat de vente du gaz de charge entre HELIOS et la SONATRACH est établi sur 25 ans, ainsi toute réalisation d'une nouvelle unité sur ce même site, se fera obligatoirement avec les mêmes partenaires de HELIOS (HELAP).

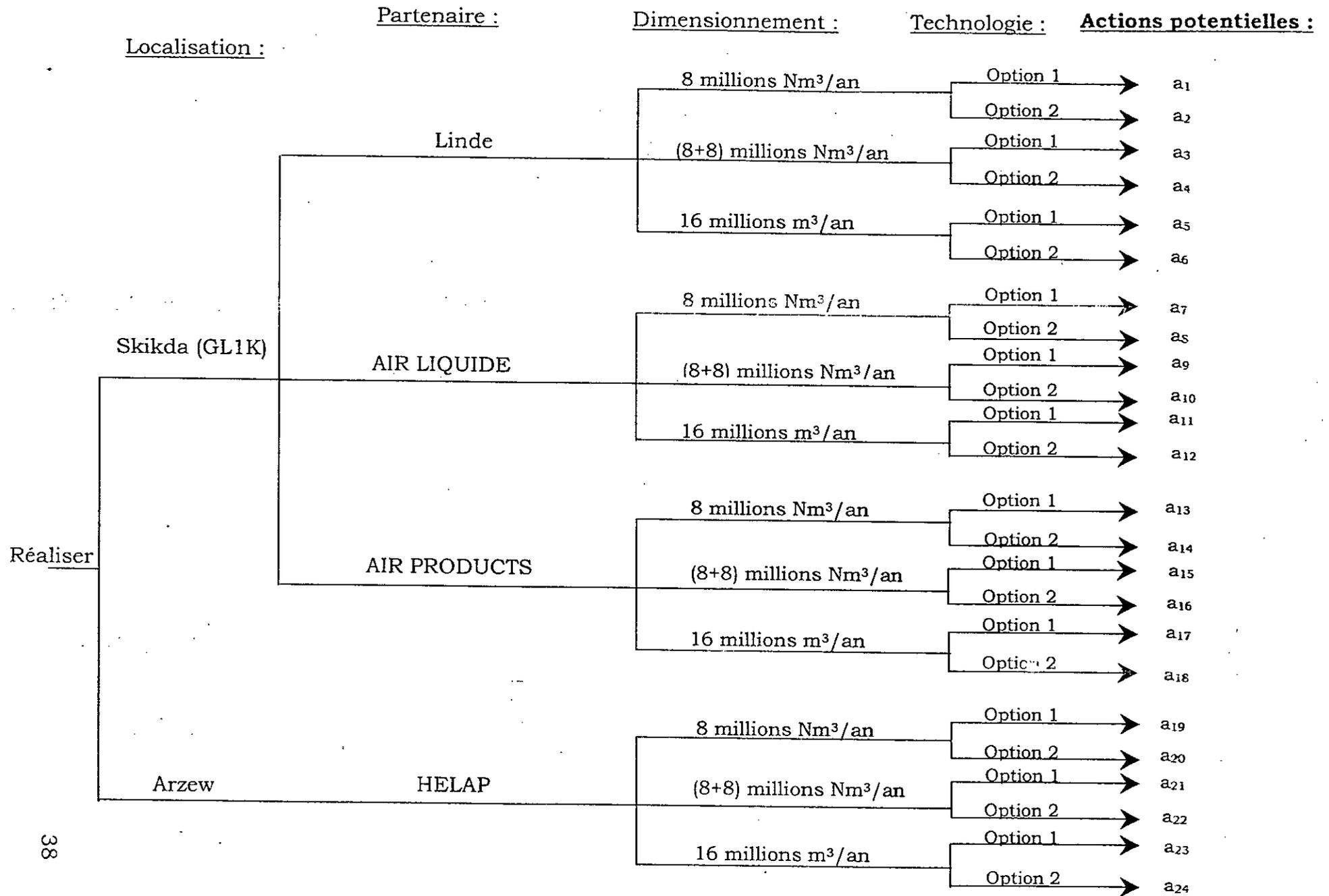


Fig. III.4 Définition de l'ensemble des actions potentielles

Site d'implantation	Partenaire	Dimensionnement (mmcf/an)	Option technologique	notation
Skikda	Linde	(300+300)	Azote / Gaz de charge	a ₁
Skikda	Linde	(300+300)	Azote/Séparation d'air	a ₂
Skikda	Linde	600	Azote / Gaz de charge	a ₃
Skikda	Linde	600	Azote/Séparation d'air	a ₄
Skikda	Linde	300	Azote / Gaz de charge	a ₅
Skikda	Linde	300	Azote/Séparation d'air	a ₆
Skikda	AirLiquide	(300+300)	Azote / Gaz de charge	a ₇
Skikda	AirLiquide	(300+300)	Azote/Séparation d'air	a ₈
Skikda	AirLiquide	600	Azote / Gaz de charge	a ₉
Skikda	AirLiquide	600	Azote/Séparation d'air	a ₁₀
Skikda	AirLiquide	300	Azote / Gaz de charge	a ₁₁
Skikda	AirLiquide	300	Azote/Séparation d'air	a ₁₂
Skikda	AirPruducts	(300+300)	Azote / Gaz de charge	a ₁₃
Skikda	AirPruducts	(300+300)	Azote/Séparation d'air	a ₁₄
Skikda	AirPruducts	600	Azote / Gaz de charge	a ₁₅
Skikda	AirPruducts	600	Azote/Séparation d'air	a ₁₆
Skikda	AirPruducts	300	Azote / Gaz de charge	a ₁₇
Skikda	AirPruducts	300	Azote/Séparation d'air	a ₁₈
Arzew	HELAP	(300+300)	Azote / Gaz de charge	a ₁₉
Arzew	HELAP	(300+300)	Azote/Séparation d'air	a ₂₀
Arzew	HELAP	600	Azote / Gaz de charge	a ₂₁
Arzew	HELAP	600	Azote/Séparation d'air	a ₂₂
Arzew	HELAP	300	Azote / Gaz de charge	a ₂₃
Arzew	HELAP	300	Azote/Séparation d'air	a ₂₄

Tab.III.2 Ensemble des actions potentielles

III. Définition des critères

La détermination d'une famille cohérente de critères, représentative du problème formulé, s'effectue comme suit :

- 1- Analyser les conséquences de la mise en œuvre des actions potentielles (en collaboration avec les acteurs chargés du projet), cela, en supposant la réalisation des actions une à une et repérer les effets qu'elles génèrent séparément.
- 2- Distinguer parmi les effets, celles qui permettent d'asseoir une comparaison significative des actions entre elles.

Nous avons donc pu distinguer des effets d'ordre économique et des effets d'ordre stratégique, qui se traduisent en points de vue (axes de significations).

1. Axe stratégique (Pénétration du marché)

Le montage adopté par l'entreprise pour ce projet d'investissement, consiste en la création de deux filiales à (50-50%) (FigIII.5).

- La première filiale JVP assurera la production de l'hélium.
- La deuxième filiale JVC assurera la commercialisation de l'hélium.

N.B :

- La JVP vendra la production totale d'hélium à la JVC.
- Le partenaire prendra sa part en hélium de la JVC (Fig.III.5).
- Eventuellement la production totale de l'azote (option1) sera vendu à la SONATRACH.

*** le schéma ci-dessous, présente les mouvements des flux physique et financiers pour ce type de montage adopter pour ce nouveau projet par rapport à celui du projet HELIOS (Fig.III.6).*

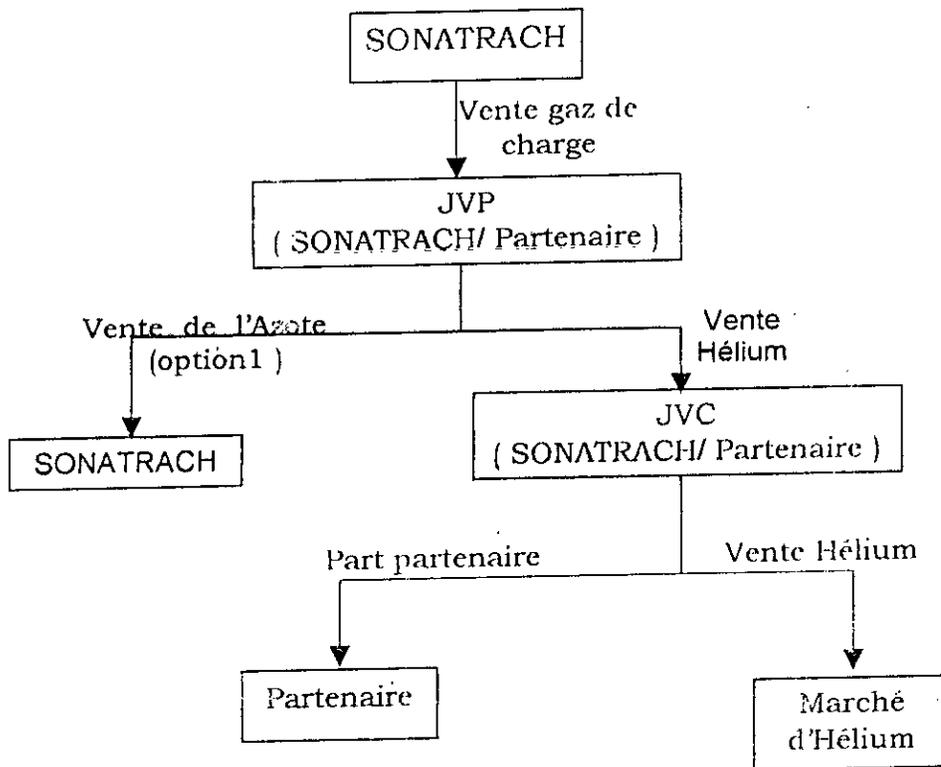


Fig.III.5 Les flux économiques (nouveau projet)

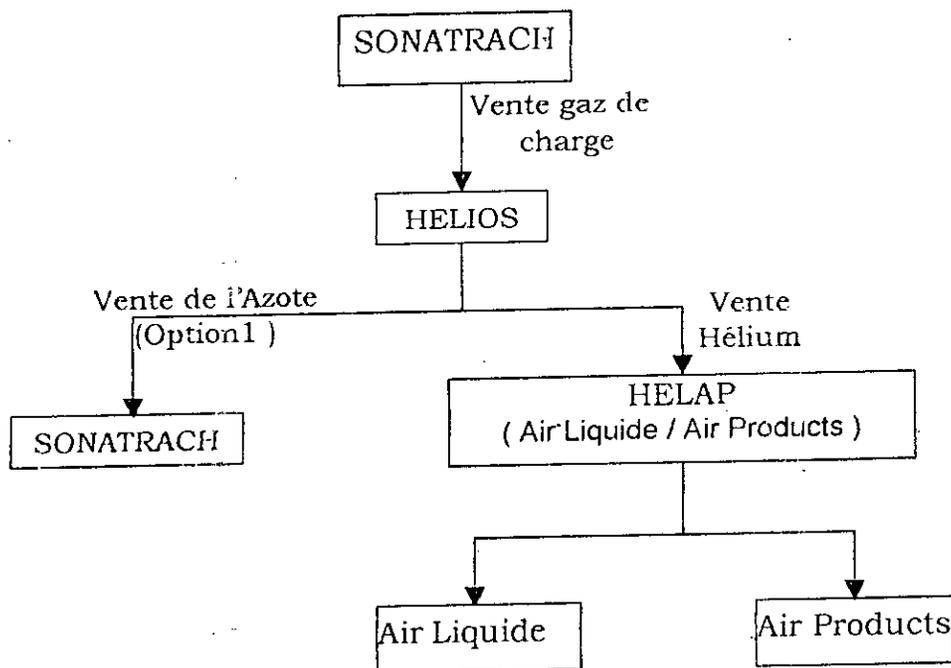


Fig.III.6 Les flux économiques (HELIOS)

L'objectif tracé par la SONATRACH à travers ce type de montage est de pénétrer le marché conjointement avec son partenaire. Ceci lui permettra de suivre de près les fluctuations de ce même marché et éventuellement d'avoir un meilleur avantage de son produit.

Pour exprimer ce point de vue nous avons retenu deux critères

1- Part du partenaire

La pénétration du marché repose sur le rôle qu'occupera la JVC à écouler une quantité maximale d'hélium sur le marché (indexé sur le prix de détail).

En se rapportant (Fig.III.5), on remarque que ceci revient à minimiser la part du partenaire qui lui sera vendu à un prix inférieur du prix de gros.

2- Evaluation du partenaire

La position du partenaire sur le marché (clients, dépôts de distribution, sources de production...) est considérée comme garantie de la réussite du projet et la force avec laquelle JVC pénétrera le marché.

2. Axes économiques

a) Rentabilité économique

Le projet d'investissement considéré, s'inscrit dans un cadre de valorisation du gaz naturel, et donc a pour objectifs d'augmenter les revenus de celle-ci.

Pour SONATRACH, la rentabilité économique, critère très important, se compose de plusieurs sources de revenus : vente de gaz de charge (gaz naturel), cash-flow sur la JVP et la JVC et vente éventuelle de l'azote (Fig.III.7).

Nous avons retenu le critère taux de rentabilité interne (TRI), qui est utilisé au sein de l'entreprise.

b) Contrainte économique de réalisation du projet

Pour chaque entreprise, le problème classique de la minimisation du coût d'investissement se pose ; Par conséquent nous avons retenu comme critère le « coût d'investissement ».

IV. Evaluation des actions sur chaque critère

1. Taux de rentabilité interne

Ce critère a été évalué sur la base d'un modèle établi sur Excel, comprenant les sous modèles suivants :

- 1- Hypothèses (Annexe2.a).
- 2- Modèle tableau d'exploitation prévisionnel pour les JVP (Annexe 1.b)
- 3- Modèle tableau d'exploitation prévisionnel JVC (Annexe 1.c).
- 4- Modèle pour la rentabilité du projet pour la SONATRACH (Annexe 1.d), incluant les résultats de 3 Modèles précédents.

Les résultats obtenus sur ce critère sont les suivants (en pourcentage) :

Actions a_i	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
TRI(%)	17.22	19.71	23.92	22.63	20.33	18.36	14.06	16.74
Actions a_i	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
TRI(%)	18.54	16.28	15.42	12.40	11.49	14.26	14.66	13.88
Actions a_i	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
TRI(%)	13.85	11.23	16.00	18.77	19.44	15.52	16.17	11.36

Tab.III.3 Evaluation des critères selon le critère TRI

2. Coût d'investissement

Les évaluations, concernant ce critère, ont été prises directement des hypothèses émises pour le critère précédent (TRI) dont :

- 1 : Coût d'investissement pour 300mmcf à Skikda.
- 2 : Coût d'investissement pour 600mmcf à Skikda.
- 3 : Pourcentage de réduction du coût relatif au site d'implantation à Arzew par rapport à l'implantation à Skikda.
- 4 : pour 300+ 300 mmcf/an , le 2^{ème} train est moins coûteux que le premier de 20%.

les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

Actions a _i	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈
CI mm\$	79.66	71.69	113.8	106.25	68.28	61.45	82.642	74.37
Actions a _i	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	a ₁₆
CI mm\$	118.06	107.2	70.836	63.75	90.02	81.02	128.6	115.74
Actions a _i	a ₁₇	a ₁₈	a ₁₉	a ₂₀	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄
CI mm\$	77.16	69.44	86	77.76	108	97	64	58

Tab.III.4 Evaluation des critères selon le critère coût d'investissement

3. Part prise par le partenaire

La part prise par le partenaire, sera décrite dans le contrat qui sera établi entre la SONATRACH et le partenaire ; ainsi, chaque partenaire propose le pourcentage de la production qu'il envisage de prendre, ces derniers sont présentés sur le tableau suivant :

Partenaire	Pourcentage
AP	25%
Al	30%
Linde	30%
Helap	100%

Tab.III.5 La part du partenaire de la production en pourcentage

Remarque : Les pourcentages sont constants pour chaque capacité de production sur 15 ans.

La dimension pour ce critère est exprimée en quantité moyenne (mmcf) sur 15 ans :

Actions a _i	a ₁₇ ,a ₁₈	a ₅ ,a ₆ , a ₁₂ ,a ₁₁	a ₁₃ ,a ₁₄
PP (mmcf /an)	75	90	106
Actions a _i	a ₁ ,a ₂ , a ₇ ,a ₈	a ₁₅ ,a ₁₆	a ₃ ,a ₄ , a ₉ ,a ₁₀
PP (mmcf /an)	126	150	180
Actions a _i	a ₂₃ ,a ₂₄	a ₁₉ ,a ₂₀	a ₂₁ ,a ₂₂
PP (mmcf /an)	300	509	600

Tab.III.6 Evaluation des critères selon le critère part du partenaire

4. Evaluation du partenaire

La dimension retenue, correspond à une échelle ordinal visant à mesurer qualitativement la position de chaque partenaire sur le marché européen.

Cet ordre a été établi sur la base d'une étude faite par la SONATRACH, agrégeant entre plusieurs critères décrivant le profil de chaque partenaire (nombre de dépôt de distribution, volume de vente pour l'année 1998, sources de production en Europe, transactions entre les partenaires retenus) (voir. Annexe 3).

Partenaire	Pourcentage
AP	1
AL	2
Linde	3
Helap	4

Tab.III.7 Le classement des partenaires selon la SONATRACH

**l'évaluation pour chaque action, retient comme valeur le rang attribué au partenaire retenu pour cette même action :

Actions a_i	$a_{13}, a_{14}, a_{15},$ a_{16}, a_{17}, a_{18}	$a_7, a_8, a_9,$ a_{10}, a_{11}, a_{12}	$a_1, a_2, a_3,$ a_4, a_5, a_6	$a_{19}, a_{20}, a_{21},$ a_{22}, a_{23}, a_{24}
Evaluation du partenaire	3	2	1	0

Tab.III.8 L'évaluation des actions selon le critère « évaluation du partenaire »

Le tableau des évaluations pour les actions selon chaque critère est présenté comme suit :

Cratères Actions	TRI SH	Part de partenaire	Evaluation partenaire	Coût d'investissement (millions \$)
a ₁ (Sk-Linde-(300+300)-O ₁ ¹)	17,225%	-126	1	-91,04
a ₂ (Sk-Linde-(300+300)-O ₂ ²)	19,706%	-126	1	-81,936
a ₃ (Sk-Linde-600-O ₁)	23,923%	-180	1	-113,8
a ₄ (Sk-Linde-600-O ₂)	22,629%	-180	1	-106,254
a ₅ (Sk-Linde-300-O ₁)	20,330%	-90	1	-68,28
a ₆ (Sk-Linde-300-O ₂)	18,362%	-90	1	-61,452
a ₇ (Sk-AL-(300+300)-O ₁)	14,055%	-126	2	-94,448
a ₈ (Sk-AL-(300+300)-O ₂)	16,742%	-126	2	-85,0032
a ₉ (Sk-AL-(300+300)-O ₁)	18,543%	-180	2	-118,06
a ₁₀ (Sk-AL-(300+300)-O ₂)	16,282%	-180	2	-106,254
a ₁₁ (Sk-AL-600-O ₁)	15,419%	-90	2	-70,836
a ₁₂ (Sk-AL-600-O ₂)	12,399%	-90	2	-63,7524
a ₁₃ (Sk-AP-300+300-O ₁)	11,490%	-106	3	-102,88
a ₁₄ (Sk-AP-300+300-O ₂)	14,257%	-106	3	-92,592
a ₁₅ (Sk-AP-600-O ₁)	14,658%	-150	3	-128,6
a ₁₆ (Sk-AP-600-O ₂)	13,879%	-150	3	-115,74
a ₁₇ (Sk-AP-300-O ₁)	13,849%	-75	3	-77,16
a ₁₈ (Sk-AP-300-O ₂)	12,004%	-75	3	-69,444
a ₁₉ (Az-HELAP-300+300-O ₁)	16,003%	-509	0	-86,4
a ₂₀ (Az-HELAP-300+300-O ₂)	18,769%	-509	0	-77,76
a ₂₁ (Az-HELAP-600-O ₁)	19,444%	-600	0	-108
a ₂₂ (Az-HELAP-600-O ₂)	15,521%	-600	0	-97,2
a ₂₃ (Az-HELAP-300-O ₁)	16,168%	-300	0	-64,8
a ₂₄ (Az-HELAP-300-O ₂)	11,361%	-300	0	-58,32

Tab.III.9 Tableau des évaluations des actions selon les critères

¹ O₁: Azote gaz de charge

² O₂: Azote / Séparation d'Air

Chapitre IV

Choix et présentation de la méthode multicritère

INTRODUCTION :

Une multitude de méthodes d'aide à la décision multicritère ont été développées, elles 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.

Dans ce chapitre, nous présenterons notre démarche pour le choix de la méthode multicritère et les notions théoriques propres à cette méthode.

I. Choix d'une problématique

Le choix d'une problématique (p.alpha, p.bêta, p.gamma) est conditionné par le modèle multicritère élaboré (formulation des actions, des critères et des évaluations) et par l'objectif envisagé par le processus d'aide à la décision.

Dans notre étude, nous allons retenir une problématique qui permet d'ordonner les actions potentielles de la plus adéquate à celle qui l'est le moins; car :

- Sélectionner un ensemble aussi restreint que possible d'actions non surclassées et incomparables entre elles ($P.\alpha$) pourrait faire l'objet de notre problématique sauf que celle ci définit de manière peu transparente la limite entre les bonnes et les mauvaises actions.
- Trier les actions en cherchant à isoler les bonnes actions ($P.\beta$) ne peut se faire sans la détermination de normes préétablies (catégories), formant une liste comme (bonnes, moyennes, mauvaises) actions.

Ainsi, nous avons retenu une problématique de rangement ($P.Y$) classant les actions les unes par rapport aux autres, sur la base de considérations économiques et stratégiques par ordre de préférence.

II. Choix d'une approche d'agrégation

Le modèle que nous avons élaboré, nous a permis de déterminer un ensemble d'actions potentielles stable et limité, avec un objectif qui est celui de ranger les actions par ordre de meilleure configuration de notre projet d'investissement ; par conséquent, les méthodes interactives sont à exclure pour le traitement de ce problème.

Aussi, toute méthode fondée sur l'élaboration d'un critère unique de synthèse, nous a semblé inadéquate, vu qu'elle serait heurté aux obstacles suivant :

- L'estimation des critères économiques entachés d'incertitudes,
- Le caractère purement ordinal du critère « évaluation du partenaire »,
- Les différents modèles de critères,
- L'existence d'une hétérogénéité dans les échelles de préférences (ceci rendra la détermination des taux de substitution difficile, pour la détermination d'une fonction d'agrégation les ramenant à une échelle commune).

Ainsi, nous avons opté pour *l'approche d'agrégation partielle*.

III. Choix de la méthode [Bouyssou & Roy, 93]

Pour opérer le choix d'une méthode d'agrégation partielle, on procède comme suit :

- **Etape1** : Faire intervenir la problématique retenue pour restreindre l'ensemble des méthodes.
- **Etape2** : Prendre en considération les divers paramètres (poids, seuils de veto, seuil de préférence, seuil d'indifférence) qu'il convient ou non de faire intervenir.

Remarque : Dans certain cas, la nécessité de recourir à une méthode simple ou encore familière à certains des intervenants peut imposer le choix d'une méthode, même si cela doit exclure la prise en compte de tel ou tel paramètre.

- **Etape3** : Faire intervenir l'affinité pour les différentes méthodes, lesquelles, jointes à quelques considérations techniques sur les systèmes de préférences.

*** Adopter une telle démarche, repose sur la définition d'un ensemble de conditions ou tests à satisfaire pour pouvoir établir une préférence en faveur d'une action.*

Test1 : comment les conséquences des actions sont-elles décrites :

- Modèle d'évaluation complexe (incluant des évaluations arbitraires ou des distributions de probabilité).
- Un modèle de synthèse en une famille de critères.

Test2 : la famille de critères contient-elle des pseudo-critères, vrais-critères ?

Test3 : selon quelle logique prendre en compte le rôle spécifique dévolu à chaque critère ?

- Logique non compensatoire avec coefficient d'importance (poids) et seuil de veto.
- Logique non compensatoire avec coefficient d'importance sans seuil de veto.
- Logique non compensatoire sans coefficient d'importance avec seuil de veto.

Test4 : dans quelle problématique doit intervenir la méthode en question ?

Nous résumons ces différents tests et conditions dans le tableau (Tab.VI.1) facilitant ainsi le choix d'une méthode.

Méthodes	Etape 1	Etape 2			Etape 3
	problématique	Paramètres			Caractéristiques du Système relationnel de préférence (s.r.p)
		Seuils d'indifférence et de préférence	Poids	Veto	
ELECTRE I	α	non	oui	oui	1 relation nette de surclassement
ELECTRE IS	α	oui	oui	oui	1 relation nette de surclassement avec niveau de concordance
ELECTRE TRI	β	oui	oui	oui	1 relation nette de surclassement
ELECTRE II	γ	non	oui	oui	2 relations emboîtées des surclassement avec niveaux de concordance
PROMETHEE	γ	oui	oui	non	1 relation floue de surclassement
ELECTRE III	γ	oui	oui	oui	1 relation floue de surclassement
ELECTRE IV	γ	oui	non	oui	De 2 à 5 rel.emboîtées de surclassement

Tab.IV.1 *Caractéristiques des différentes méthodes d'agrégation partielle*

**Pour choisir une méthode, on commence par :

- Présenter les caractéristiques du problème.
- Faire l'adéquation avec une méthode qui répond le plus à ces caractéristiques.

1. Problématique :

La problématique retenue dans le (§ 1)est une problématique de rangement. Celle ci nous permet de classer les actions considérées dans le modèle selon les différents critères, afin de distinguer les scénarios adaptés le plus à la situation du marché et les objectifs stratégiques de l'entreprise.

2. Vrai-critères ou pseudo-critères :

Le choix d'un type de critère dépend du :

- * Degré d'incertitude avec laquelle les évaluations ont été faites.
- * La sensibilité des écarts d'évaluation d'affirmer la préférence sur chaque critère.

Dans notre cas, les évaluations ont été estimées sur la base de formules incluant des coefficients tenant compte de la localisation, de la capacité, ceci donc donne une grande part d'incertitude aux évaluations.

Aussi, chaque critère présente son propre système de préférence, ce qui nous amène à considérer plusieurs modèles allant du vrai au pseudo critère et ce en attribuant des indices de préférences et d'indifférences.

3. Détermination des poids

L'attribution des poids aux critères, pour représenter leur importance relative, est un point délicat.

Parmi les méthodes présentées dans (Fig. II.9), seule **Electre IV** est conçue pour éviter l'utilisation des poids, les autres méthodes permettent à priori de donner des poids aux critères, mais, rien n'interdit aux décideurs d'opter pour des poids identiques.

Dans notre cas, le choix du décideur (sur lequel il pourra revenir lors de l'analyse de robustesse) a été attribué entre 56% et 60% du poids des critères aux aspects économiques et entre 40% et 44% aux aspects commerciaux, ce choix est dicté par :

- Les objectifs de la SONATRACH pour l'introduction aux marchés internationaux.
- Les perspectives d'élargissement des revenus.

4. Relation de surclassement net ou flou :

Dans le surclassement net, une modification, même minime, dans les différents paramètres de la méthode (évaluations, seuils) peut faire apparaître 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 paramètres tolérant une certaine marge d'incertitude.

En conclusion, nous allons faire appel à une méthode d'agrégation caractérisée par :

- Une problématique de rangement
- Des critères de type (pseudo-critère et vrai-critère) sans l'introduction du seuil de veto.
- Une relation de préférence floue.
- Des poids.

La méthode qui répond à toutes ces exigences est la méthode *PROMETHEE*¹.

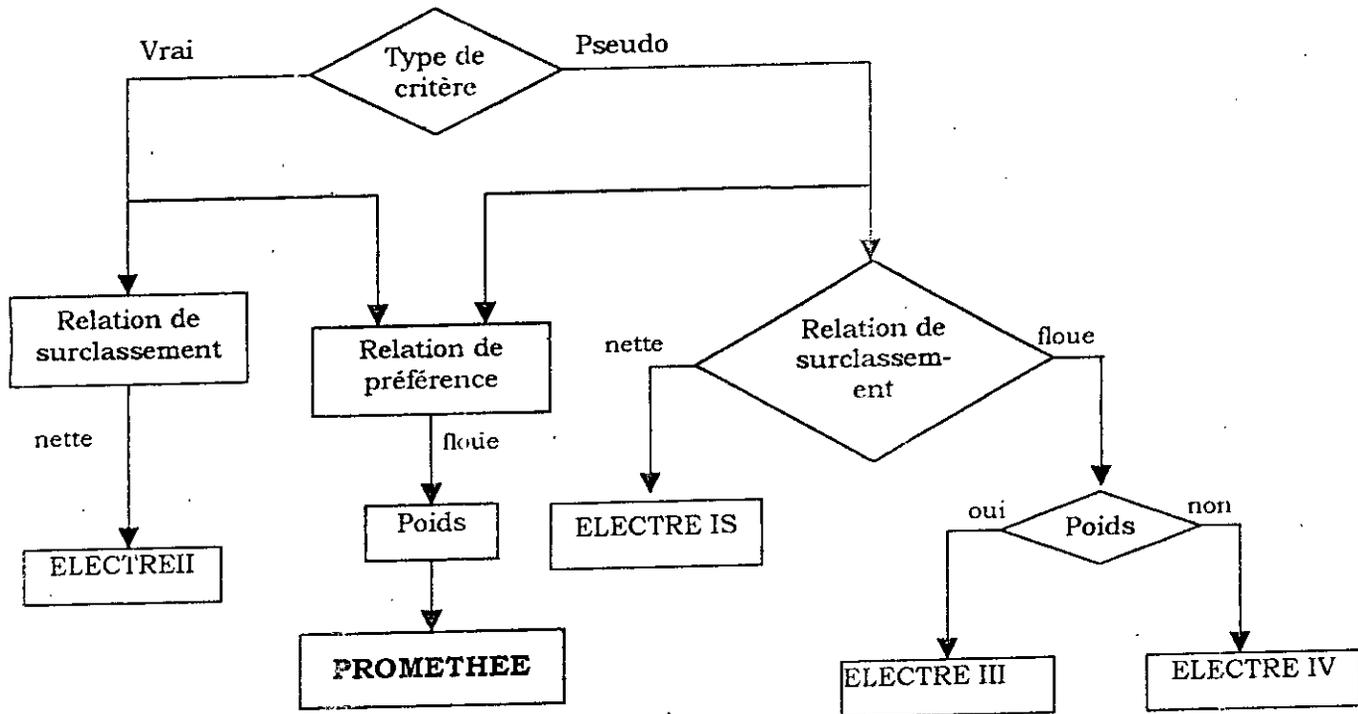


Fig. VI.1 Organigramme de choix de la méthode

Remarque : Notre choix s'est porté sur PROMETHEE qui présente un avantage très important de point de vue du choix des types de critères et de ses paramètres obtenus facilement par le décideur.

¹ PROMETHEE : Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

IV. Présentation des méthodes PROMETHEE [Brans & Mareschal ,90]

Les méthodes PROMETHEE ont été proposées par J.P.Brans en 1982. Elles reposent sur la définition de **critères généralisés**, permettant une bonne modélisation des préférences du décideur, et sur la construction d'une relation de surclassement. La définition de flux de surclassement permet de construire des préordres partiel (PROMETHEE I) ou complet (PROMETHEE II) sur l'ensemble des actions.

L'avantage des méthodes PROMETHEE et de se baser sur l'information complémentaire simple et claire ; de plus, cette information peut être aisément obtenue par le décideur.

1. Informations complémentaires [Mar,84]

Les méthodes PROMETHEE permettent de faire face à des problèmes multicritères où l'ensemble des actions potentielles est fini. Ainsi les données de base du problème sont disposées dans le tableau d'évaluation.

L'information complémentaire requise par PROMETHEE comprend :

- L'information inter-critère.
- L'information intra-critère.

a) information inter-critère (poids) :

il convient de compléter le tableau suivant :

g_1	...	g_m
w_1	...	w_m

Tab.VI.2 Poids des critères (information inter-critère)

Où:

Les g_j , $j = 1 \dots m$ sont les critères

w_j , $j = 1 \dots m$ sont les poids d'importances relatives associés aux différents critères.

Remarque : les poids sont supposés positifs, normés tels que :

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \tag{1}$$

b) Information intra-critère (notion de critères généralisés) :

Dans le cas de comparaison d'action deux à deux, des écarts sont observés entre les évaluations au sein de chaque critère.

Si pour un critère particulier (g_j) on observe un petit écart, le décideur attribuera à la meilleure action une faible préférence sur ce critère ; plus l'écart est important, plus la préférence sera élevée.

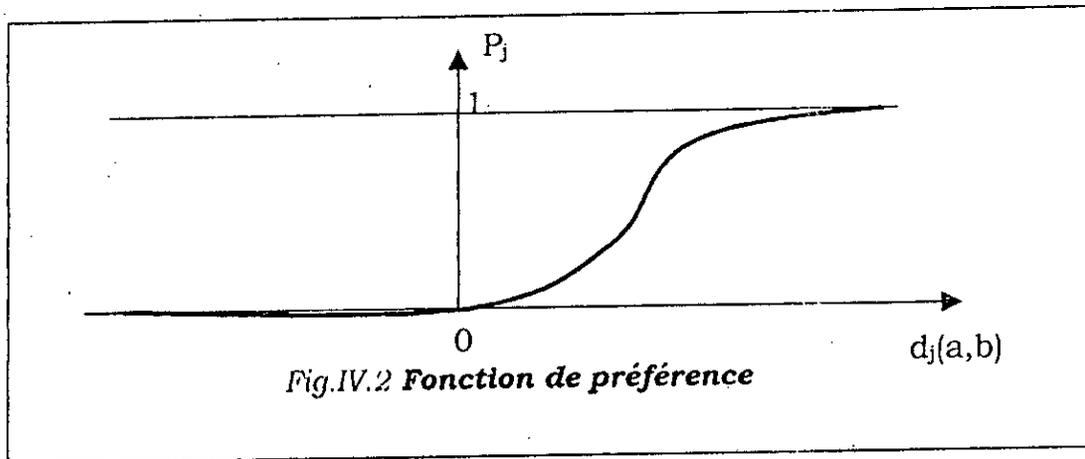
Les préférences peuvent être exprimées en utilisant une *fonction de préférence* monotone croissante (Fig.IV.2) telle que :

$$\forall a, b \in A \quad P_j(a, b) = P_j[d_j(a, b)] \quad (2)$$

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (3)$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \quad (4)$$

où $d_j(a, b)$: écart observé sur le critère j entre l'action a et b .
 $P_j(a, b)$: indice de crédibilité donnant la préférence de a sur b en fonction de l'écart observé sur le critère j .



$$(5) \begin{cases} P_j(a, b) = 0 & \text{si } a \text{ n'est pas préférée à } b \text{ ou si } a \text{ et } b \text{ sont indifférents,} \\ P_j(a, b) \approx 0 & \text{si } a \text{ est faiblement préférée à } b, \\ P_j(a, b) \approx 1 & \text{si } a \text{ est fortement préférée à } b, \\ P_j(a, b) = 1 & \text{si } a \text{ est strictement préférée à } b. \end{cases}$$

Remarque : pour les critères à maximiser, la préférence sera donnée par

$$P_j(a, b) = P_j[-d_j(a, b)] \quad (6)$$

c) Critères généralisés et intensité de préférence :

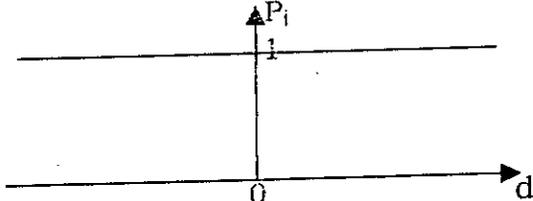
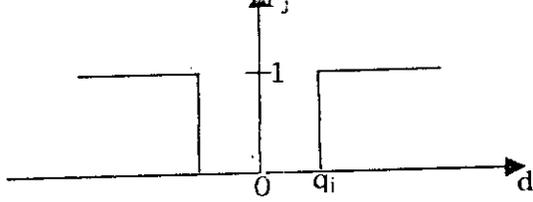
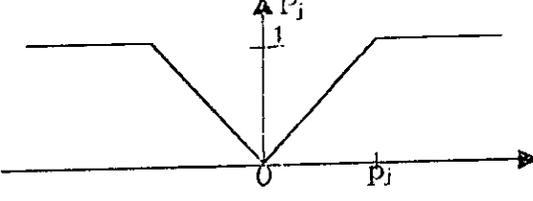
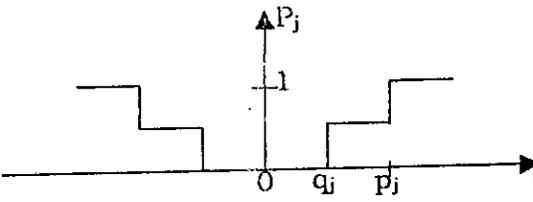
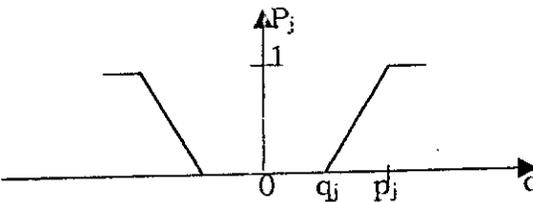
Le couple $[g_j, P_j]$ défini précédemment sera appelé critère généralisé associé au critère g_j .

La fonction de préférence doit être définie pour chaque critère. Afin de faciliter l'identification, cinq types de fonctions ont été proposés par la méthode PROMETHEE (voir Tab.IV.2).

Dans chaque cas, il suffit d'identifier 0,1, ou 2 paramètres, dont la signification est claire pour le décideur :

- **Le seuil d'indifférence q_j** : représente le plus grand écart entre $g_j(a)$ et $g_j(b)$ en-dessous duquel le décideur considère que a et b sont indifférentes,
- **Le seuil de préférence p_j** : représente le plus petit écart au-dessus duquel le décideur éprouve une préférence stricte en faveur d'une des actions.

Lorsque le tableau d'évaluation $g_j(a_i)$, les poids w_j et les critères généralisés $\{g_j, P_j\}$ avec $i= 1, \dots, n$ (n : nombre d'actions) $j= 1, \dots, m$ (nombre de critères) sont définis, l'analyse du problème par PROMETHEE peut être entamée.

<p>Type I : Critère usuel Pas de paramètre à fixer</p>	 <p>The graph shows a horizontal line at $P_i = 1$ on the vertical axis, extending across the horizontal axis d. The origin is marked 0.</p>
<p>Type II: Quasi-critère q_j : seuil d'indifférence</p>	 <p>The graph shows a step function. For $d < q_j$, the value is 1. At $d = q_j$, it drops to 0. For $d > q_j$, it jumps back to 1. The origin is marked 0.</p>
<p>Type III : Critère linéaire p_j : seuil de préférence</p>	 <p>The graph shows a V-shaped function. It is constant at 1 for $d < 0$. At $d = 0$, it reaches a minimum of 0. It then increases linearly until $d = p_j$, where it reaches 1, and remains constant at 1 for $d > p_j$. The origin is marked 0.</p>
<p>Type IV : Critère à palier q_j : seuil d'indifférence p_j : seuil de préférence</p>	 <p>The graph shows a step function. For $d < q_j$, the value is 1. At $d = q_j$, it drops to 0. It remains at 0 until $d = p_j$, where it jumps to 1 and remains constant at 1 for $d > p_j$. The origin is marked 0.</p>
<p>Type V : Critère linéaire avec indifférence q_j : seuil d'indifférence p_j : seuil de préférence</p>	 <p>The graph shows a piecewise linear function. It is constant at 1 for $d < q_j$. At $d = q_j$, it drops to 0. It then increases linearly until $d = p_j$, where it reaches 1, and remains constant at 1 for $d > p_j$. The origin is marked 0.</p>

Tab.IV.2 Les différents types de critères qui peuvent être utilisés par la méthode PROMETHEE

Remarque : Il n'y a pas d'objection à considérer d'autres formes selon le cas d'application réelle, ce qui constitue un autre avantage de la méthode PROMETHEE.

2. PROMETHEE I et II [Mar,84] [Brans & Vincke ,85] [Brans & Mareschal ,90]

Les procédures PROMETHEE sont basées sur des comparaisons par paires, il convient en premier lieu de définir des **indices de préférence agrégés** et des **flux de surclassement**.

➤ **Indices de préférence agrégés Π**

Pour toute paire $(a,b) \in A$, on considère

$$(7) \begin{cases} \Pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_j \\ \Pi(b,a) = \sum_{j=1}^k P_j(b,a)w_j \end{cases}$$

$\Pi(a,b)$ exprime comment et avec quel degré a est préféré à b sur l'ensemble des critères

$\Pi(b,a)$ comment b est préféré à a . $\Pi(a,b)$ et $\Pi(b,a)$ sont en général tous les deux positifs.

**nous avons les propriétés suivantes :

$$(8) \begin{cases} \Pi(a,a) = 0 \\ 0 \leq \Pi(a,b) \leq 1 \end{cases}$$

Ainsi, que :

$$(9) \begin{cases} \Pi(a,b) \approx 0 \text{ implique une faible préférence globale de } a \text{ sur } b. \\ \Pi(b,a) \approx 1 \text{ implique une forte préférence globale de } a \text{ sur } b. \end{cases}$$

Lorsque $\Pi(a,b)$ et $\Pi(b,a)$ ont été calculés pour chaque paire d'actions $a,b \in A$, nous obtenons un graphe de surclassement flou de type suivant :

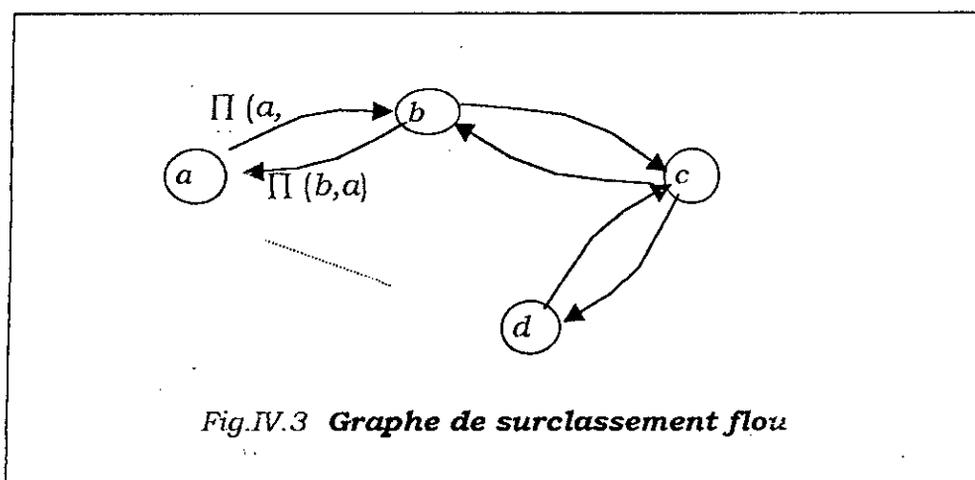


Fig.IV.3 Graphe de surclassement flou

➤ Flux de surclassement

Toute action a fait face à $(n-1)$ autres actions de A . Considérons les flux de surclassement suivants :

- Le flux de surclassement positif

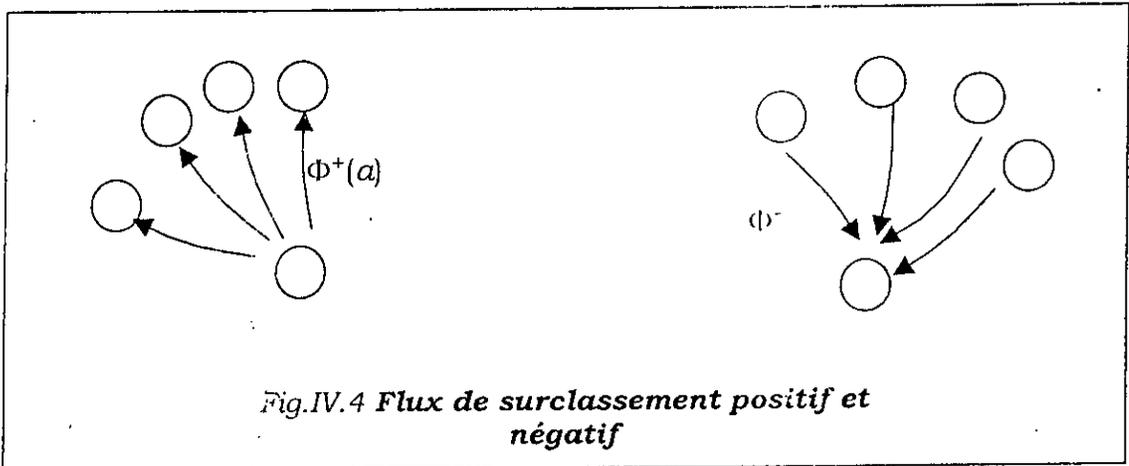
$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} I_1(a, x) \quad (10)$$

- Le flux de surclassement négatif

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} I_2(a, x) \quad (11)$$

Le flux de surclassement positif exprime comment l'action a surclasse toutes les autres actions (voir fig.2) ; C'est la *puissance* de a ou son caractère surclassant. Plus $\Phi^+(a)$ est élevé, meilleure est l'action.

Le flux de surclassement négatif exprime comment l'action a est surclassée par toutes les autres actions (voir fig.2) ; C'est la *faiblesse* de a ou son caractère surclassé. L'action est d'autant meilleure que $\Phi^-(a)$ est petit.



a) Le rangement partiel (PROMETHEE I)

Les deux surclassements positif et négatif donnent chacun lieu à un rangement des actions. Ces deux rangements ne sont pas généralement identiques. Le rangement partiel PROMETHEE I est leur intersection.

$$(12) \left\{ \begin{array}{l} a P^I b \quad \text{ssi} \quad \begin{cases} \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \\ \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \\ \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \end{cases} \\ \\ a I^I b \quad \text{ssi} \quad \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ et } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \\ \\ a R^I b \text{ autrement} \end{array} \right.$$

Où P^I , I^I et R^I expriment respectivement la préférence, l'indifférence et l'incomparabilité.

- Lorsque $a P^I b$, une puissance plus importante de a s'accompagne aussi d'une faiblesse moindre. L'information obtenue par les deux flux de surclassement est cohérente et peut donc être considérée comme fiable.
- Lorsque $a I^I b$, les flux positif et négatif sont égaux.
- Lorsque $a R^I b$, une puissance plus importante d'une action s'accompagne d'une faiblesse moindre de l'autre. Ceci apparaît souvent lorsque l'action a est bonne sur un ensemble de critères sur lesquels l'action b est mauvaise et inversement b est bonne sur un ensemble d'autres critères sur lesquels a est mauvaise. Comme l'information obtenue par le premier flux ne confirme pas celle obtenue par le second, il est naturel de considérer les deux actions comme incomparables.

PROMETHEE I ne se prononce pas en faveur de l'une ou de l'autre ; c'est au décideur de trancher. Ceci traduit la prudence et l'objectivité de la méthode.

b) Le rangement complet (PROMETHEE II)

Le décideur réclame souvent un rangement complet. Il est alors beaucoup plus facile de finaliser la décision. A cet effet le flux net peut être considéré :

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (13)$$

C'est le bilan entre les flux de surclassement positif et négatif, entre le caractère surclassant et surclassé. Plus le flux net est élevé, meilleur est l'action.

Le rangement complet PROMETHEE II peut alors être défini tel que :

$$(14) \quad \begin{cases} a P^{II} b & \text{ssi} & \Phi(a) > \Phi(b) \\ a I^{II} b & \text{ssi} & \Phi(a) = \Phi(b) \end{cases}$$

Toutes les actions sont à présent comparables, il ne subsiste pas d'incomparabilités. L'information résultante est parfois plus contestable, une part importante de l'information disparaissent dans la différence définissant le flux net.

IV. Représentation géométrique des problèmes multicritères [Brans & Mareschal,90] [DIB,00]

L'analyse des données multidimensionnelles a développé des méthodes géométriques qui permettent de présenter graphiquement des quantités de données et de synthétiser l'information qu'elle contient.

Citons, entre autres, l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse des correspondances et l'analyse canonique.

Les données de base de ces méthodes consistent généralement en un ensemble d'individus qui sont évalués selon différentes variables.

La structure fondamentale des problèmes de décision multicritères est fort proche des tableaux rencontrés en analyse des données :

- Les actions peuvent être considérées comme des individus et les critères comme des variables.

L'objectif principal de l'aide à la décision multicritère étant d'apporter au décideur une synthèse et une meilleure compréhension de son problème, il apparaît fort d'essayer d'adapter les méthodes géométriques de l'analyse des données à l'étude de problèmes multicritères.

Nous présentons ici une approche originale dans le cadre de la méthode PROMETHEE, appelé **GAIA**¹, qui exploite la notion de flux de surclassement et les techniques de l'analyse en composantes principales (ACP) pour construire une représentation géométrique simultanée des actions et des critères.

Compte tenu de l'information des flux de surclassement positif (10) et négatif (11) et des indices de préférences agrégés (7) nous avons :

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m \sum_{x \in A} [P_j(a,x) - P_j(x,a)] w_j \quad (15)$$

et par conséquent :

$$\Phi(a) = \sum_{j=1}^m \Phi_j(a) w_j \quad (16)$$

$$\text{où } \Phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} [P_j(a,x) - P_j(x,a)] \quad (17)$$

¹ **GAIA** : Geometrical Analysis for Interactive Aid

$\Phi_j(a)$ est le flux net unicritère obtenu en considérant qu'un seul critère g_j . Chaque action a peut être caractérisée par ses m flux nets unicritères.

$$a(a) \{ \Phi_1(a), \Phi_2(a), \dots, \Phi_j(a), \dots, \Phi_m(a) \}. \quad (18)$$

Considérant la matrice des préférences P_{ij} [$n \times m$] de flux nets unicritères des n actions potentielles :

	$\Phi_1(.)$	$\Phi_2(.)$	...	$\Phi_j(.)$	...	$\Phi_m(.)$
a_1	$\Phi_1(a_1)$	$\Phi_2(a_1)$	...	$\Phi_j(a_1)$	...	$\Phi_m(a_1)$
a_2	$\Phi_1(a_2)$	$\Phi_2(a_2)$	...	$\Phi_j(a_2)$	...	$\Phi_m(a_2)$
...
a_i	$\Phi_1(a_i)$	$\Phi_2(a_i)$	...	$\Phi_j(a_i)$	...	$\Phi_m(a_i)$
...
a_n	$\Phi_1(a_n)$	$\Phi_2(a_n)$	...	$\Phi_j(a_n)$	...	$\Phi_m(a_n)$

Tab.IV.2 Matrice des flux nets unicritères

L'information incluse dans cette matrice est plus riche que celle incluse dans le tableau d'évaluation initial (Tab.II.1), parce que dans cette matrice il est tenu compte des degrés de préférence donnés par les critères généralisés.

L'ensemble des n actions peut être représenté par un nuage de n points dans l'espace \mathbb{R}^m .

Notons que :
$$\sum_{x \in A} \Phi_j(a) = 0 \quad (19)$$

Ainsi, le nuage est centré à l'origine. Etant donné que le nombre de critères est généralement plus grand que 2, il est impossible d'obtenir une vue claire de la position relative des points par rapport aux critères.

Pour cette raison, les auteurs de la méthode PROMETHEE ont proposé de projeter l'information contenue dans l'espace à m dimensions sur un plan.

Le plan GAIA est le plan pour lequel nous conservons le plus d'information possible sur le nuage après projection. Compte tenu des techniques d'Analyse en composantes principales, il est défini par les deux vecteurs propres correspondant aux deux plus grandes valeurs propres de la matrice variance-covariance $P^t P$ des flux nets unicritères (Tab.IV.2).

¹ Matrice transposée de $P \times$ matrice P

Après projection, nous obtenons dans le plan GAIA, des actions qui sont représentés par des carrés et des critères par des axes orientés.

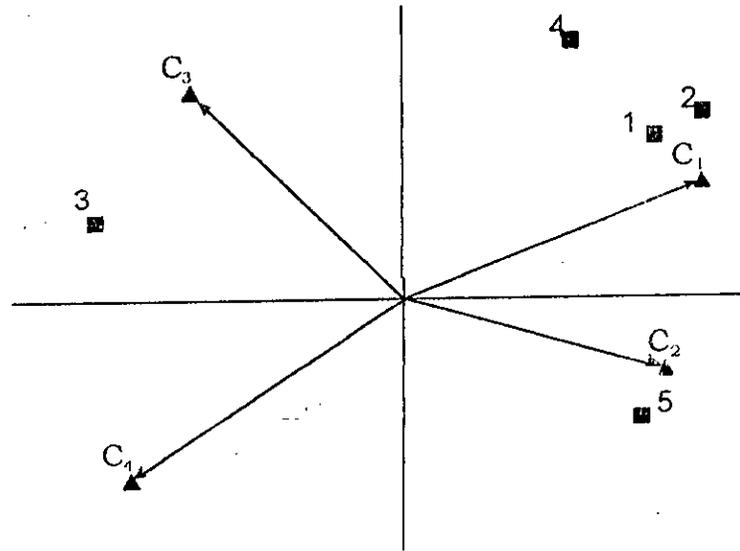


Fig.IV.5 Actions et critères dans le plan GAIA

De telle sorte (exemple (Fig.IV.5)):

- La position des actions sur la carte traduit les ressemblances entre les actions. Par exemple les actions 1 et 2 se ressemblent, mais sont très différents de l'action 3.
- La position des critères sur la carte reflète les corrélations entre les critères : les critères C_1 et C_2 expriment sur l'ensemble des actions des préférences semblables, les critères C_1 et C_3 sont indépendants (axes orthogonaux), les critères C_1 et C_4 sont en conflit (direction opposée)
- Les projections des actions sur les axes critères reflètent l'évaluation des critères sur les actions : les actions 1 et 2 sont fort sur C_1 et C_2 alors que l'action 3 est faible sur ces même critères ; l'action 4 est moyenne sur C_3 mais faible sur C_4 et c'est le contraire pour l'action 5.

Chapitre V

Application et présentation du résultat

INTRODUCTION :

Au cours du chapitre précédent, nous avons justifié le choix de la méthode multicritère pour la résolution du problème. La mise en application de cette méthode fera l'objet du présent chapitre, à travers la présentation du logiciel réalisé dans le cadre de ce travail, ainsi que l'interprétation des résultats qu'il a permis d'obtenir.

1. Présentation du logiciel

Dans le cadre de ce travail nous avons conçu le logiciel **Decision Pro** qui a été programmé en langage Delphi avec le logiciel Borland Delphi (version 5). C'est un logiciel à interface graphique qui s'exécute sous environnement Windows.

- Structure de logiciel

La structure de logiciel **Decision Pro** peut être présentée comme suit :

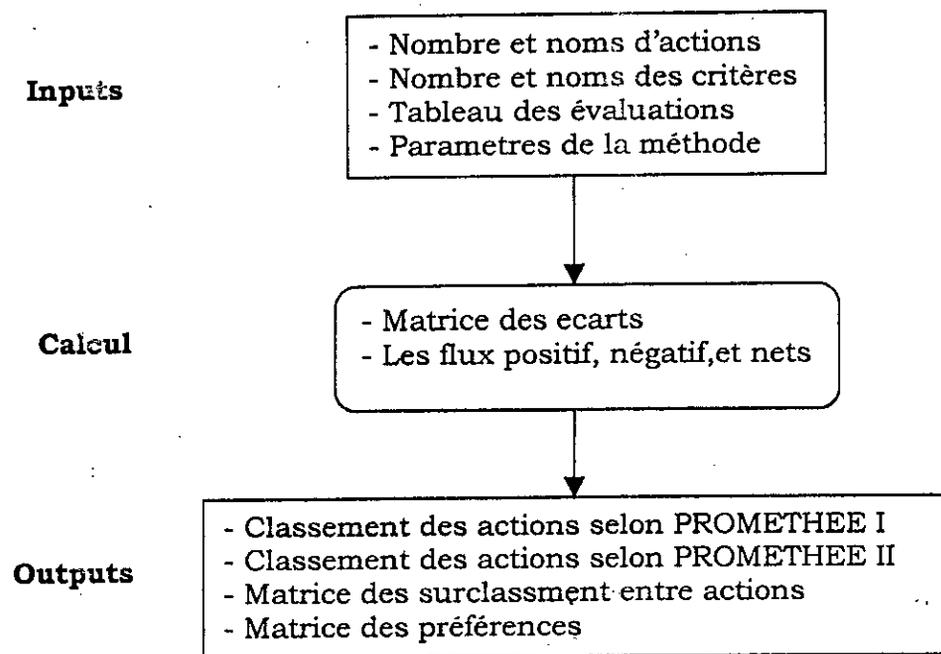
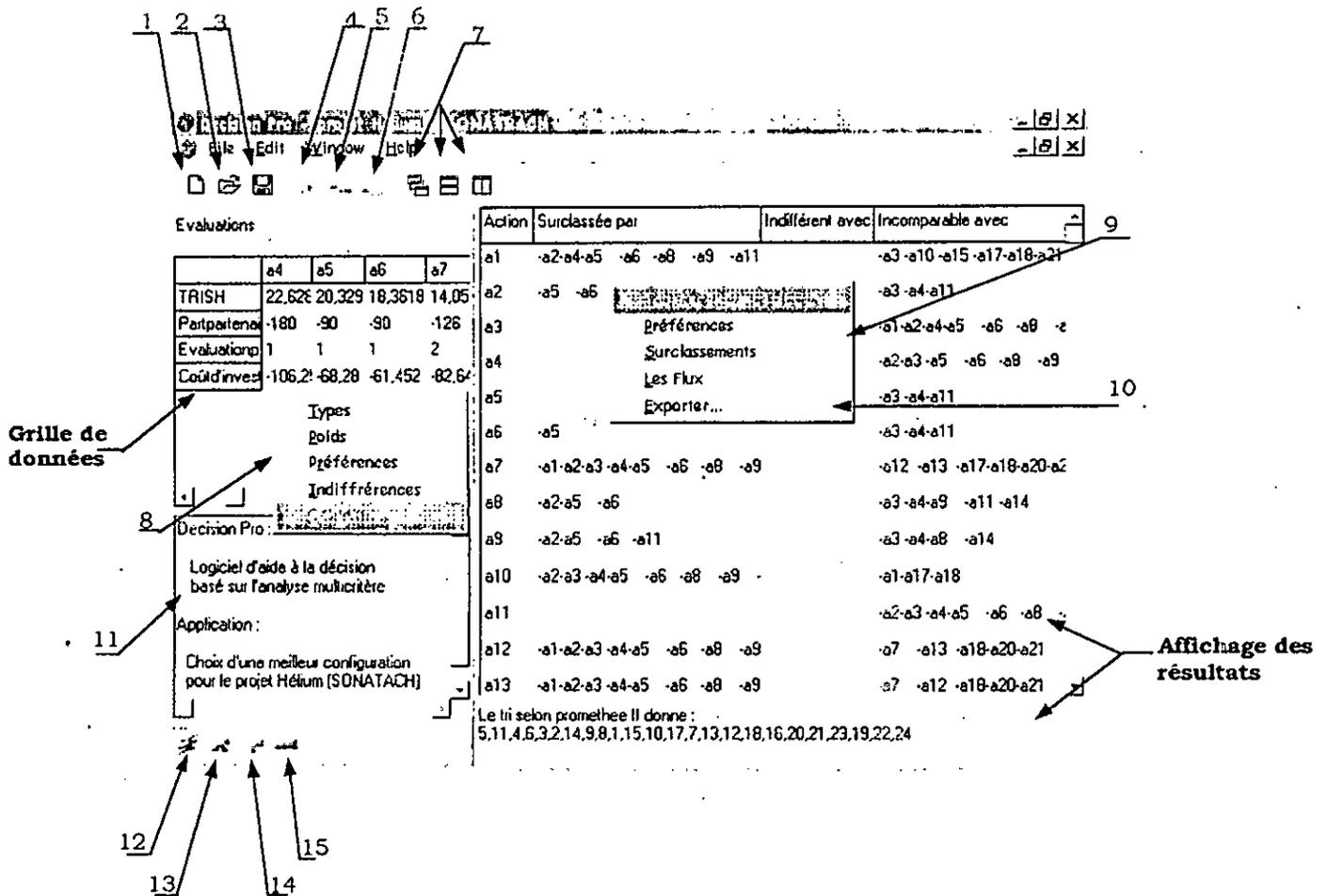


Fig.IV.1 Structure du logiciel Decision Pro

La fenêtre principale du logiciel, indiqué dans la figure 2, contient deux éléments principaux : la grille de données et la grille de résultats.



Boutons :

- 1 : Nouveau fichier.
- 2 : Ouvrir un fichier.
- 3 : Sauvegarder.
- 4 : Couper texte.
- 5 : Copier texte.
- 6 : Coller texte.
- 7 : Forme des fenêtres.
- 8 : Menu d'entrée des données.
- 9 : Menu d'affichage des résultats.
- 10 : Enregistrement des résultats dans *Microsoft Excel*.
- 11 : Commentaire sur le problème traité.
- 12 : Passage entre les données (actions/critères).
- 13 : Ajouter (actions/critères).
- 14 : Insérer (actions/critères) à la ligne i.
- 15 : Supprimer (actions/critères).

Fig. V.2 Fenêtre principale du logiciel Decision Pro

2. Utilisation du logiciel

a) les données et paramètres du problème

Les données et paramètres du problème portent sur :

- L'ensemble des actions.

Action	
a1	(Skikda - Linde - (300+300) - Option 1)
a2	(Skikda - Linde - (300+300) - Option 2)
a3	(Skikda - Linde - 600 - Option 1)
a4	(Skikda - Linde - 600 - Option 2)
a5	(Skikda - Linde - 300 - Option 1)
a6	(Skikda - Linde - 300 - Option 2)
a7	(Skikda - Air Liquide - (300+300) - Option 1)
a8	(Skikda - Air Liquide - (300+300) - Option 2)
a9	(Skikda - Air Liquide - 600 - Option 1)
a10	(Skikda - Air Liquide - 600 - Option 2)
a11	(Skikda - Air Liquide - 300 - Option 1)

Fig.V.3 l'ensemble des actions

- Le nombre et noms des critères.
- La matrice d'évaluation les actions selon chaque critère.

Evaluations

	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21
TRI	19,70	23,9	22,6	20,3	18,3	14,05	16,74	18,5	16,21	15,4	12,35	11,45	14,25	14,61	13,87	13,8	12,1	16,00	18,71	19,4
PP	-126	-180	-180	-90	-90	-126	-126	-180	-180	-90	-90	-106	-106	-150	-150	-75	-75	-509	-509	-300
EP	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	0	0	0
CI	-71,6	-113	-106	-66,2	-61,7	-82,6	-74,3	-118	-106	-70,8	-63,7	-90,0	-81,0	-128	-115,7	-77,1	-69	-86,4	-77,7	-108

Fig.V.4 Evaluations des actions selon chaque critère

- Les paramètres du problème : types de critères, poids des critères, seuils d'indifférence et de préférence pour chaque critères.

Fig.V.5 Paramètres des critères

On ajoute les actions (critères) par le bouton 13. En utilisant le bouton 12 on passe des actions aux critères, on saisit la matrice d'évaluations en utilisant le menu des données 8.

L'introduction des données relatives aux paramètres de chaque critère se fait en accédant à la fenêtre suivante :

b) Obtention des résultats

- Le menu d'affichage bouton 9, nous permet d'afficher le classement des actions selon PROMETHEE I, ce qui nous donne les différentes relations qui peuvent exister entre les différentes actions (indifférence, surclassement et incomparabilité). En se basant sur ce tableau, nous dessinons le graphe de surclassement PROMETHEE I.
- La matrice des préférences qui nous permet en utilisant le logiciel SPSS (version 9) d'interpréter les résultats à l'aide du plan GAIA.
- Les flux positifs, négatifs et nets, qui nous donnent le classement des actions selon PROMETHEE II.
- Le bouton exporter nous permet d'afficher les résultats dans un classeur Microsoft Excel.

3. Détermination des paramètres de la méthode PROMETHEE

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

- Paramètres intra critères (seuils d'indifférence et de préférence), ces paramètres représentent l'information sur les écarts d'évaluation des actions potentielles.
- Paramètres inter critères (poids) ces paramètres représentent l'information relative aux différents critères.
- Type de critère : la méthode PROMETHEE offre la possibilité d'utiliser une variété de type de critère ainsi nous devons spécifier le type de critère utilisé pour chaque critère.

a) Détermination des poids :

Avec la collaboration des décideurs, Nous avons pu déterminer les poids des critères à l'aide d'une méthode dont le principe est explicité en (Annexe 4).

Les décideurs ont apporté des corrections sur le résultat obtenu par l'application de cette méthode, dont les valeurs obtenues sont les suivants :

Critères	Poids
TRI	0.45
Evaluation Partenaire	0.20
Part Partenaire	0.25
Coût d'investissement	0.10

Tab.V.1 le poids pour chaque critère

b) Détermination des types de critères, seuils d'indifférences et de préférences

Dans cette partie, on est amené à déterminer avec les décideurs et sur chaque critère :

- Seuils d'indifférence.
- Seuils de préférence.
- Fonction de préférence généralisée.

Pour cela, nous avons procédé comme suit :

Remarque : nous présentons les étapes suivantes pour la détermination des seuils (p, q) sous forme d'algorithme.

▪ **Seuils d'indifférence sur un critère g_j :**

1. Repérer l'écart minimum entre les évaluations des actions sur le critère (g_j).
2. Si pour cet écart minimum, deux actions sont déclarées indifférentes alors : $q = \text{écart minimum}$. Fin.
Sinon si $q < \text{écart minimum} \Rightarrow$ aller à 4.
Sinon si $q > \text{écart minimum} \Rightarrow$ aller à 3.
3. Repérer le deuxième écart minimum supérieur à l'écart précédent.
 \Rightarrow aller à 2.
4. Le décideur attribuera directement une valeur au seuil d'indifférence.

▪ **Seuil de préférence sur un critère g_j :**

1. Repérer l'écart maximal entre les évaluations des actions sur le critère g_j .
2. si pour cet écart maximum, deux actions sont affirmées que l'une préférable que l'autre.
Alors : $p = \text{écart maximum}$ Fin.
Sinon aller à 3
3. Repérer l'écart maximale inférieur à l'écart précédent \Rightarrow aller à 2.

Remarque : par cette façon de faire, on arrivera à limiter le seuil d'indifférence (resp. seuil de préférence) dans des intervalles et où le décideur pourra attribuer des valeurs à ces seuils.

1- Critère TRI

Le classement des actions selon ce critère se fait comme suit :

Actions a_i	a_3	a_4	a_5	A_2	a_{21}	a_{20}	a_9	a_6
TRI(%)	23.92	22.63	20.33	19.71	19.44	18.77	18.54	18.36
Actions a_i	a_1	a_8	a_{10}	A_{23}	a_{19}	a_{22}	a_{11}	a_{15}
TRI(%)	17.22	16.74	16.28	16.17	16.00	15.52	15.42	14.66
Actions a_i	a_{14}	a_7	a_{16}	A_{17}	a_{12}	a_{13}	a_{24}	a_{18}
TRI(%)	14.26	14.06	13.88	13.85	12.40	11.49	11.36	11.23

Tab. V.2 classement des actions a_i par ordre décroissant selon le critère TRI

- Le seuil d'indifférence a été fixé à 0.5%.
- Le seuil de préférence a été fixé à 12%.

La détermination des deux paramètres (q et p) conduit à choisir une fonction de préférence de type pseudo critère (acceptation de préférence faible).

En plus, les décideur ont retenu une évolution linéaire de la préférence (de l'indifférence à la préférence strict).

Ainsi, le choix c'est porté sur le critère généralisé de type 5.

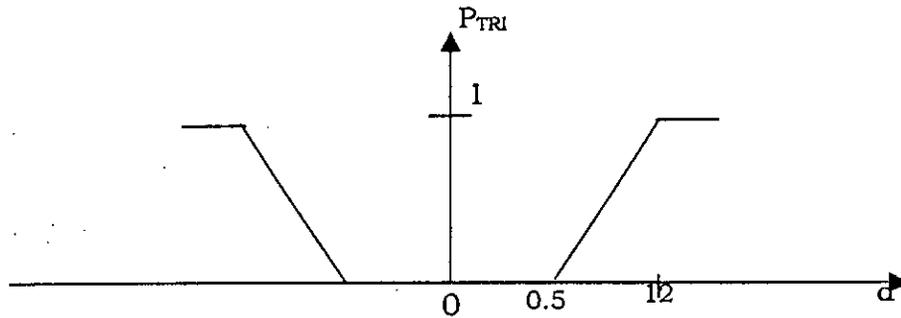


Fig.V.6 Type de critère linéaire (TRI)

2- Critère évaluation partenaire (EP)

A fin de prendre en considération la maximisation sur ce critère nous avons inversé les rangs de classement.

Le classement des actions selon ce critère est comme suit :

Actions a_i	a13,a14,a15, a16,a17,a18	a7,a8,a9, a10,a11,a12	a1,a2,a3, a4,a5,a6	a19,a20,a21, a22,a23,a24
Evaluation du partenaire	3	2	1	0

Tab.V.3 Classement des actions a_i par ordre de priorité selon le critère évaluation du partenaire

- Seuil d'indifférence $q=1$.
- Seuil de préférence $p=2$.

Tenant compte de l'évaluation sur ce critère (rang de classement), la préférence a été établie comme suit :

- attribuer une préférence égale pour un passage d'un rang (i) à un autre(i+1).
- Attribuer une préférence stricte pour un passage d'un rang (i) à (i+2).

Ainsi, le choix c'est porté sur le critère généralisé de (type 4)

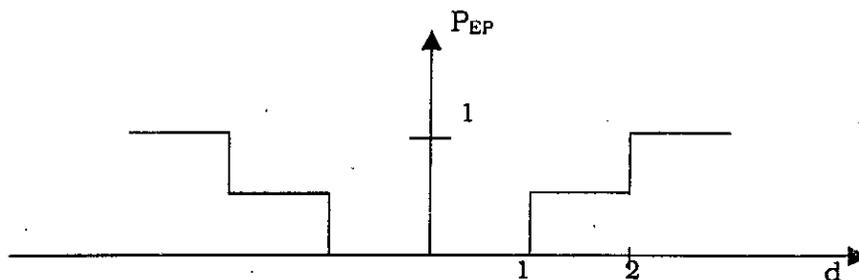


Fig.V.7 Type de critère palier (EP)

3- Critère part partenaire (PP)

Afin de prendre en considération la minimisation sur ce critère, les évaluations seront prises en valeur négative (échelle de préférence).

Actions a_i	a_{17}, a_{18}	a_5, a_6, a_{12}, a_{11}	a_{13}, a_{14}
PP (mmcf /an)	-75	-90	-106
Actions a_i	a_1, a_2, a_7, a_8	a_{15}, a_{16}	a_3, a_4, a_9, a_{10}
PP (mmcf /an)	-126	-150	-180
Actions a_i	a_{23}, a_{24}	a_{19}, a_{20}	a_{21}, a_{22}
PP (mmcf /an)	-300	-509	-600

Tab.V.4 Classement des actions par ordre décroissant selon le critère part du partenaire

- Le seuil d'indifférence $q = 15$ millions cf.
 - Le seuil de préférence $p = 30$ millions cf.
- Pour ce critère, la fonction de préférence généralisée adoptée est de type 5.

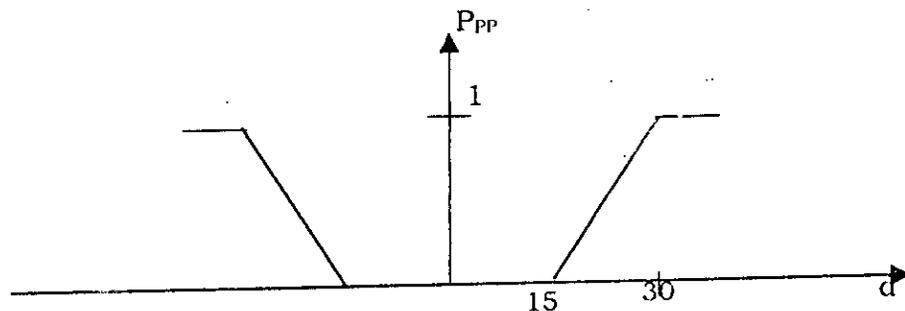


Fig.V.8 Type de critère linéaire (PP)

4- Critère coût d'investissement (CI)

En adoptant la même démarche que pour le critère part partenaire, on obtient :

Actions a_i	a_{15}	a_9	a_{16}	a_3	a_{21}	a_{10}	a_4	a_{22}
CI	-128.6	-118.06	-115.74	-113.8	-108	-107.2	-106.25	-97
Actions a_i	a_{13}	a_{19}	a_7	a_{14}	a_1	a_{20}	a_{17}	a_8
CI	-90.02	-86	-82.642	-81.02	-79.66	-77.76	-77.16	-74.37
Actions a_i	a_2	a_{11}	a_{18}	a_5	a_{23}	a_{12}	a_6	a_{24}
CI	-71.69	-70.836	-69.44	-68.28	-64	-63.75	-61.45	-58

Tab.V.5 Classement des actions par ordre croissant selon le critère coût d'investissement

- L'écart minimale entre deux évaluation est : 1.164 millions \$.
- L'écart maximale entre deux évaluation est : 64 millions \$.
- Le seuil d'indifférence $q= 5$ millions \$.
- Le seuil de préférence $p=35$ millions \$.

Ainsi, la fonction généralisée de type 5 qui a été retenue.

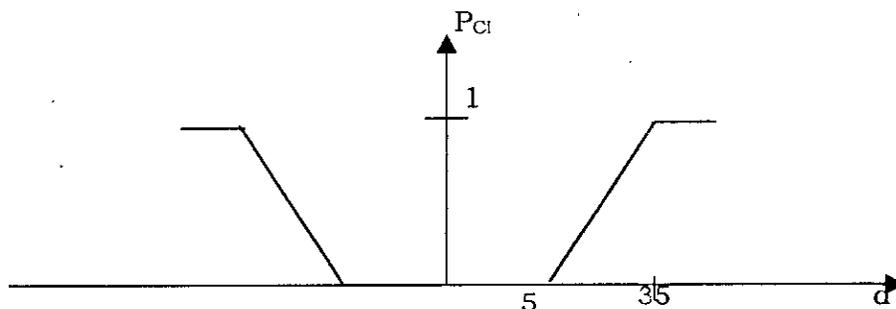


Fig.V.9 Type de critère linéaire (CI)

4. Présentation des résultats

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

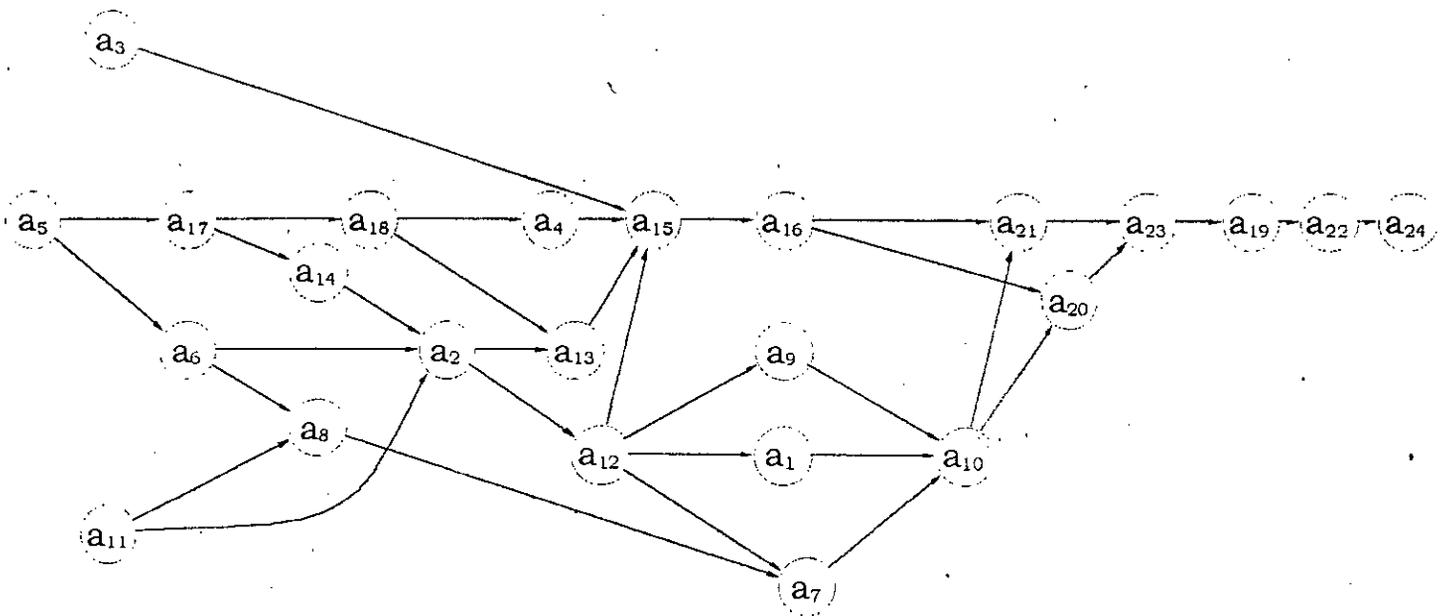
Tableau PROMETHEE I

En se basant sur ce tableau nous dessinons le graphe de surclassement (voir fig.V.11) :

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	▲									
a1	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1										
a2	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1										
a3	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
a4	1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
a5	1	1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
a6	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	-1	Tableau PROMETHEE I Préférences Les Flux Exporter...										1	1	1	1	1	1							
a7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1											1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	
a8	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	1	-1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a9	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0	-1											1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	
a11	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
a12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1											
a13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1											
a14	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
a15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1											

Fig.V.10 Tableau de surclassements PROMETHEE I

En se basant sur ce tableau nous dessinons le graphe de surclassement (voir fig.V.11) :



**Fig.V.11 Présentation graphique de la solution de base
(PROMETHEE I)**

a) Matrice des préférences :

C'est une matrice carrée $[P_{ij}]$ dont les lignes représentent les actions potentielles a_i et les colonnes les actions qui leur sont comparées, cette matrice est utilisée pour interpréter les résultats, ceci en faisant une analyse factorielle de cette matrice à l'aide de logiciel SPSS.

Cette matrice contient des informations plus riches que celles incluses dans le tableau d'évaluation initial, car elle tient en compte les paramètres du problème (poids des critères, type de critère, seuils d'indifférence et de préférences).

	TRISH	Partpartenaire	Evaluationpartenaire	Coût d'investissement	
a8	0,101977102249067	0,229565217391304	0,260869565217391	0,151726956521739	
a9	0,485720671339472	-0,0295652173913044	0,260869565217391	-0,826086956521739	
a10	0,0227350317273238	-0,0295652173913044	0,260869565217391	-0,601930434782609	
a11	-0,0988818876223609	1	0,260869565217391	0,268038260869565	
a12	-0,668115854172672	0,373913043478261	0,260869565217391	0,54184347826087	
a13	-0,724593652590554	0,300869565217391	0,782608695652174	-0,3252	
a14	-0,28804297475865	0,300869565217391	0,782608695652174	1	
a15	-0,201848974759791	0,147826086956522	0,782608695652174	-1	
a16	-0,702886460128246	0,147826086956522	0,782608695652174	-0,817147826086956	
a17	-0,704863935728765	0,438260869565217	0,782608695652174	0,042921739130435	
a18	-1	0,438260869565217	0,782608695652174	0,33151652173913	
a19	-0,0184654773601716	-0,798260869565217	-0,782608695652174	0,304386086956522	
a20	0,51885734364144E	-0,798260869565217	-0,782608695652174	0,576121739130435	
a21	0,58699560605095	-0,608695652173913	-0,782608695652174	-0,543234782608696	
a22	0,0077106520760717	0,000000000000000	0,702608695652174	0,271052173913044	

Fig. V.12 matrice des préférences

b) Matrice des surclassements

C'est une matrice carrée [S_{ij}] tel que :

- si S_{ij} = 1 ⇒ ai surclasse aj,
- si S_{ij} = 0 ⇒ ai indifférent de aj,
- si S_{ij} = -1 et S_{ji} = -1 ⇒ ai et aj sont incomparable.

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	±
a1	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	
a2	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a3	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a4	1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a5	1	1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a6	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
a8	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
a9	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
a10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	
a11	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	
a13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	
a14	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
a15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fig.V.13 Matrice des surclassements

PROMETHEE II:

Le logiciel trie les actions selon la méthode PROMETHEE II à l'aide des flux nets qui sont calculés à partir des flux positifs et négatifs.

	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16
Flux négatifs	0,1961	0,2691	0,2657	0,1821	0,1957	0,3347	0,2087	0,2525	0,3240	0,2380	0,3820	0,3838	0,2168	0,2920	0,4105
Flux positifs	0,4628	0,5383	0,5369	0,5246	0,4661	0,3025	0,3863	0,4483	0,3433	0,5331	0,3035	0,3243	0,4467	0,3599	0,2826
Flux nets	0,2667	0,2691	0,2711	0,3424	0,2703	-0,0322	0,1775	0,1957	-0,0192	0,2951	-0,0788	-0,0594	0,2298	0,0678	-0,1279

Le tri selon promethee II donne : 5,11,4,6,3,2,14,9,8,1,15,10,17,7,13,12,18,16,20,21,23,19,22,24

Fig.V.14 Les flux positifs, négatifs et nets de chaque action

Ainsi, le classement des actions selon PROMETHEE I qui constitue la solution de base de ce problème est :

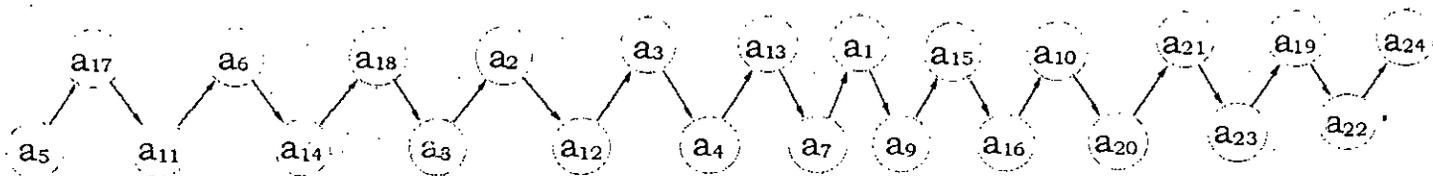


Fig.V.15 Présentation graphique de la solution de base PROMETHEE II

On résume ce résultat dans le tableau suivant :

Ordre	Actions
1	a ₅ (Sk-Linde-300-O ₁)
2	a ₁₇ (Sk-AP-300-O ₁)
3	a ₁₁ (Sk-AL-600-O ₁)
4	a ₆ (Sk-Linde-300-O ₂)
5	a ₁₄ (Sk-AP-300+300-O ₂)
6	a ₁₈ (Sk-AP-300-O ₂)
7	a ₈ (Sk-AL-(300+300)-O ₂)
8	a ₂ (Sk-Linde-(300+300)-O ₂)
9	a ₁₂ (Sk-AL-600-O ₂)
10	a ₃ (Sk-Linde-600-O ₁)
11	a ₄ (Sk-Linde-600-O ₂)
12	a ₁₃ (Sk-AP-300+300-O ₁)
13	a ₇ (Sk-AL-(300+300)-O ₁)
14	a ₁ (Sk-Linde-(300+300)-O ₁)
15	a ₉ (Sk-AL-(300+300)-O ₁)
16	a ₁₅ (Sk-AP-600-O ₁)
17	a ₁₆ (Sk-AP-600-O ₂)
18	a ₁₀ (Sk-AL-(300+300)-O ₂)
19	a ₂₀ (Az-HELAP-300+300-O ₂)
20	a ₂₁ (Az-HELAP-600-O ₁)
21	a ₂₃ (Az-HELAP-300-O ₁)
22	a ₁₉ (Az-HELAP-300+300-O ₁)
23	a ₂₂ (Az-HELAP-600-O ₂)
24	a ₂₄ (Az-HELAP-300-O ₂)

Tab.V.7 Classement des actions selon PROMETHEE I

5. Interprétation des résultats

Nous allons procéder à l'interprétation du résultat pour cela nous commençons par celle de :

a) PROMETHEE I

A partir du graphe obtenu de la solution de base (voir fig.V.11), on peut relever les remarques suivantes :

- 1- les meilleurs actions, jugées satisfaisantes peuvent être regroupées dans un noyau. Celui ci, sera formé donc d'actions non surclassées (qui n'ont pas de prédécesseurs) et incomparables entre elles. Les actions qui composent le noyau sont :

- a_5 (Sk-Linde-300-O₁).
- a_3 (Sk-Linde-600-O₁).
- a_{11} (Sk-AL-600-O₁).

- 2- Bien que l'action a_3 possède le coût le plus élevée, elle figure dans le noyau. Ceci est dû au fait qu'elle soit l'action la plus rentable et que le critère TRI est fortement pondéré.
- 3- L'action a_{11} est classée au 15^{ième} rang selon le critère TRI, mais sa rentabilité est acceptable. Du point de vue coût d'investissement, l'action a_{11} est parmi les actions les moins coûteuses, aussi, la part prise par le partenaire est relativement minime.

L'avantage principal de cette action, est la position sur le marché du partenaire qu'elle retient.

Ainsi, sa présence dans le noyau est justifiée.

- 4- Les action a_5 et a_{11} sont indifférentes vis à vis des critères coût d'investissement et part du partenaire respectivement. L'avantage principal de l'action a_5 est sa bonne rentabilité. Son inconvénient est la position non significative du partenaire qu'elle retient, ceci a peu d'influence puisqu'elle figure dans le noyau.
- 5- En éliminant les actions précédentes, et en constituant un nouveau noyau, on aura comme meilleures actions a_6 (SK-LINDE-300-O₂) et a_{17} (SK-AP-300-O₁). Ceci est justifié par le fait que :

- L'action a_6 est rentable et est indifférente de l'action a_5 sur les critères part partenaire, évaluation partenaire et coût d'investissement.
- L'action a_{17} a de très bonne évaluation sur les critères (coût d'investissement, évaluation partenaire, part partenaire), mais elle a pratiquement une mauvaise rentabilité, ceci devra pousser les décideurs à revoir de près cette action.

- 6- L'action a_4 présente une très bonne rentabilité mais, dû fait qu'elle soit très coûteuse, que la part du partenaire n'est pas significative, elle n'a pas été retenue.
- 7- Du fait que le partenaire HELAP est pénalisé sur le critère d'évaluation du partenaire par les décideurs, toute action ayant pour partenaire HELAP est classée en dernière liste.

b) PROMETHEE II :

D'après le graphe de surclassement PROMETHEE II (voir Fig.V.15), les cinq meilleures actions sont classées comme suit : a_5 (Sk-Linde-300- O_1), a_{17} (Sk-AP-300- O_1), a_{11} (Sk-AL-600- O_1), a_6 (Sk-Linde-300- O_2) et a_{11} (Sk-AP-300+300- O_2). Nous avons relevé les remarques suivantes :

- a_5 qui figure parmi les meilleurs actions selon PROMETHEE I est la meilleur action selon PROMETHEE II.
- a_{11} incomparable avec a_5 dans PROMETHEE I est classé 3^{ème} meilleure action selon PROMETHEE II.
- a_3 incomparable avec a_5 et a_{11} et qui figure dans les meilleures actions selon PROMETHEE I est classée 10^{ème} selon PROMETHEE II.

Ce classement est dû à la forte incomparabilité entre les actions :

- a_3 est incomparable avec les actions : $a_1, a_2, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{17}$ et a_{18} .
- a_{11} est incomparable avec les actions : $a_3, a_4, a_5, a_6, a_{14}, a_{17}, a_{18}$.
- a_5 est incomparable seulement avec les deux actions a_3, a_{11} et surclasse l'ensemble des autres actions.

Ainsi, on a remarquer que plus les actions sont incomparables entre elles dans PROMETHEE I, plus le classement selon PROMETHEE II est différent de ce dernier.

C) Plan GAIA

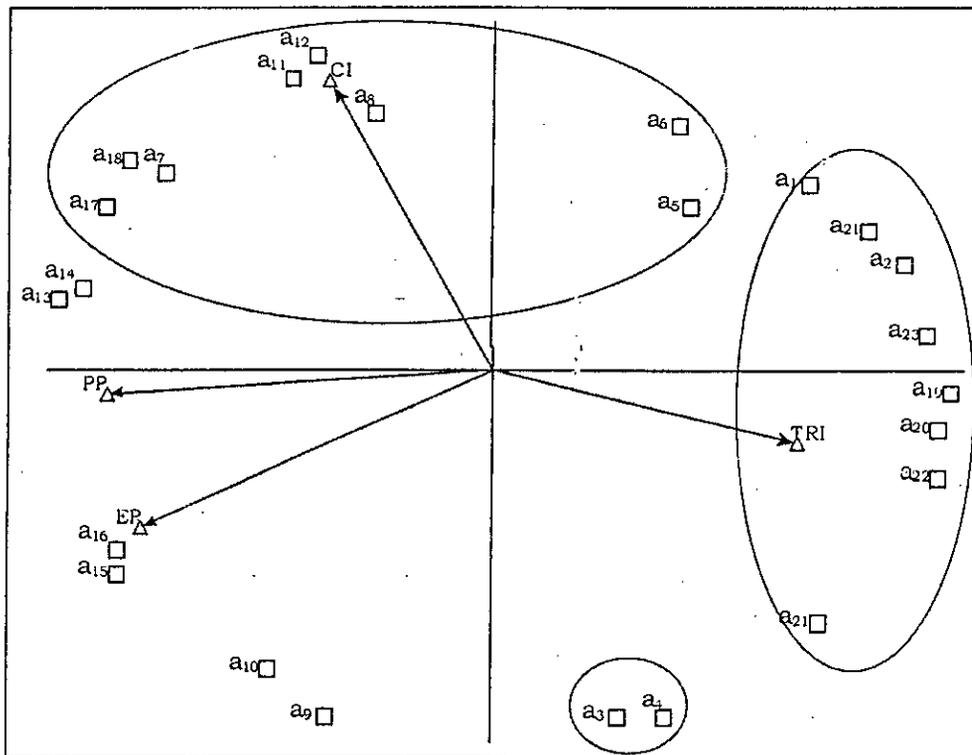


Fig. V.16 Représentation des actions et des critères par l'ACP¹

L'interprétation des résultats est simplifiée en utilisant les méthodes d'analyse des données, elle permet de visualiser le positionnement des actions et des critères, ainsi que les points forts et les points faibles de chaque action.

La qualité de représentation est de 85.5%, ainsi ce plan donne une bonne représentation des données.

Nous avons relevé les remarques suivantes sur cette carte :

- Les actions a_5 et a_6 se situent dans la direction des axes critères (TRI, CI) et donc sont bonnes concernant ces deux critères par contre elles sont mauvaises sur le critère EP car elles sont en opposition avec l'axe de ce dernier.
- Les actions classées en dernier sur les critères (EP, PP) et qui sont $\{a_{19}, a_{20}, a_{21}, a_{23}, a_{24}\}$, ont une position opposée aux axes de ces critères.
Parmi ces actions, celles qui figurent du côté supérieur de l'axe critère TRI ont une bonne rentabilité avec un coût d'investissement acceptable $\{a_{23}, a_{20}, a_2, a_{19}\}$, les autres figurant du côté inférieur, ont une bonne rentabilité avec un coût d'investissement élevée $\{a_{21}\}$.

¹ Analyse en Composantes Principales

- Les actions a_3 et a_4 se situent dans la même direction de l'axe critère TRI, ce qui justifie leur très bonne rentabilité tandis qu'elles se rapprochent de l'axe critère EP, bien qu'elles sont mauvaises sur ce dernier ; ceci s'explique par le fait qu'elles sont trop coûteuses et donc sont placées en opposition de l'axe critère CI
- Les actions a_{10} et a_9 sont placées dans la même direction que (TRI, EP, PP) justifiant leur bonne évaluation sur ces critères. Cependant elles sont placées en opposition de l'axe critère CI car elles sont coûteuses.
- les actions a_{15} et a_{16} sont très proches des axes critères EP et PP, puisqu'elles ont de très bonnes évaluations sur ces critères, et qu'elles sont mauvaises sur les critères CI et TRI.
- Les actions $\{a_{13}, a_{14}, a_{17}, a_{18}, a_{12}, a_7\}$ sont les moins rentables, très bonnes sur le critère EP, bien classées sur le critère CI et elles possèdent de petite et/ou moyenne part du partenaire. Ceci leur situe dans la même direction des axes critères EP,PP,CI et en opposition avec l'axe critère TRI.
- L'action a_{22} est très mauvaise sur les critères PP,EP,CI. Ainsi, le seul critère sur lequel elle est acceptable est le critère TRI, ce qui explique son fort rapprochement de l'axe de ce dernier.
- L'action a_8 est pratiquement moyenne sur tous les critères, mais mieux expliquée sur les axes critères CI et PP d'où son rapprochement de leurs axes.

On peut dire que le classement des actions selon les deux surclassement PROMETHEE I et PROMETHEE II est très satisfait en se référant à la représentation géométrique des actions et des critères.

Chapitre VI

Analyse de sensibilité et élaboration de la recommandation

INTRODUCTION :

En fixant la valeur de chaque paramètre de la méthode multicritère retenue, un système de préférence est défini. Ainsi, l'application de cette méthode obtiendra des résultats permettant à l'homme d'étude d'élaborer une recommandation.

Des valeurs particulières et différentes, attribuées à chaque paramètre pourraient conduire à d'autres résultats sensiblement distincts du résultat de référence.

De ce fait, définir un domaine de validité pour la recommandation peut se faire grâce à une analyse de robustesse.

I. Définitions [May, 94]

1. Analyse de robustesse

Analyse cherchant à déterminer le domaine de variation de certains paramètres dans lequel une recommandation reste stable. Elle sert à fournir au décideur une recommandation synthétique et robuste, qui l'informe quant à la capacité de la solution proposée à résister à des variations entre la réalité et le modèle censé la représenter.

Conduire une analyse de robustesse consiste à réaliser une analyse de sensibilité dans laquelle les paramètres de la méthode sont modifiés, pour juger la robustesse des résultats.

2. Analyse de sensibilité

Analyse consistant à répéter l'analyse multicritère originale en faisant varier les valeurs attribuées à l'origine aux différents paramètres de la méthode, elle vise à définir les paramètres qui conditionnent le plus étroitement la solution choisie, c'est-à-dire où il suffit d'une faible modification pour changer la solution proposée.

II. Démarche de l'analyse de sensibilité [May, 94]

Dans ce but, nous avons comparé, le résultat de la « solution de base » -correspondant aux valeurs initiales attribuées aux paramètres de la méthode PROMETHEE I et II, constituant les valeurs de référence- et ceux obtenus en appliquant la méthode en sensibilisant ses paramètres.

Les paramètres de PROMETHEE susceptible de faire l'objet d'une analyse de sensibilité sont les poids (w_j), les seuils d'indifférence (q_j), les seuils de préférences (p_j).

Donc, pour conduire cette analyse, nous adoptons une démarche pour chaque méthode.

PROMETHEE I

Compte tenu de la façon dont PROMETHEE I présente son résultat (préordre partiel), il est difficile d'interpréter les changements apportés sur chaque variation.

Ainsi, une identification d'un noyau¹ - contenant les meilleures actions non surclassées et incomparables entre elles - est indispensable pour conduire l'analyse de sensibilité sur PROMETHEE I.

- Repérer la solution de base (noyau obtenu par les valeurs références des paramètres).

¹ Problématique de choix

- Repérer la *solution alternative* (solution aboutissant à un noyau contenant les actions de la solution de base).

**La solution de base sera dite stable, si les variations apportées aux valeurs de référence donnent une solution de base.

PROMETHEE II

- Repérer la solution de base.
- Ensuite distinguer toutes les solutions qui présentent les traits communs suivants :

- Les actions a_5, a_{17}, a_{11}, a_6 tête de classement.
- Les actions $a_{14}, a_{18}, a_8, a_2, a_3$ groupe du milieu.
- Les actions $a_{15}, a_{16}, a_{10}, a_{20}, a_{21}, a_{23}, a_{19}, a_{22}, a_{24}$ groupe fin de classement.

Remarque : Ces solutions sont appelées *famille de la solution de base*.

** La solution de base sera dite stable, si les variations apportées aux valeurs de référence donnent une solution de base ou une famille de solution 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, afin d'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.

1. Variation des poids

Pour tester la stabilité du résultat face aux variations des poids, nous sensibilisons le poids de chaque critère autour de sa valeur initiale de référence, tout en respectant les contraintes suivantes :

w_1	$>$	w_2	$>$	w_3	$>$	w_4
TRI		EP		PP		CI
une variation de la valeur w_j est compensée par tous les autres poids						
TRI		EP		PP		CI

Fig. VI.1 Démarche de l'analyse de sensibilité du poids w_1 pour le critère TRI

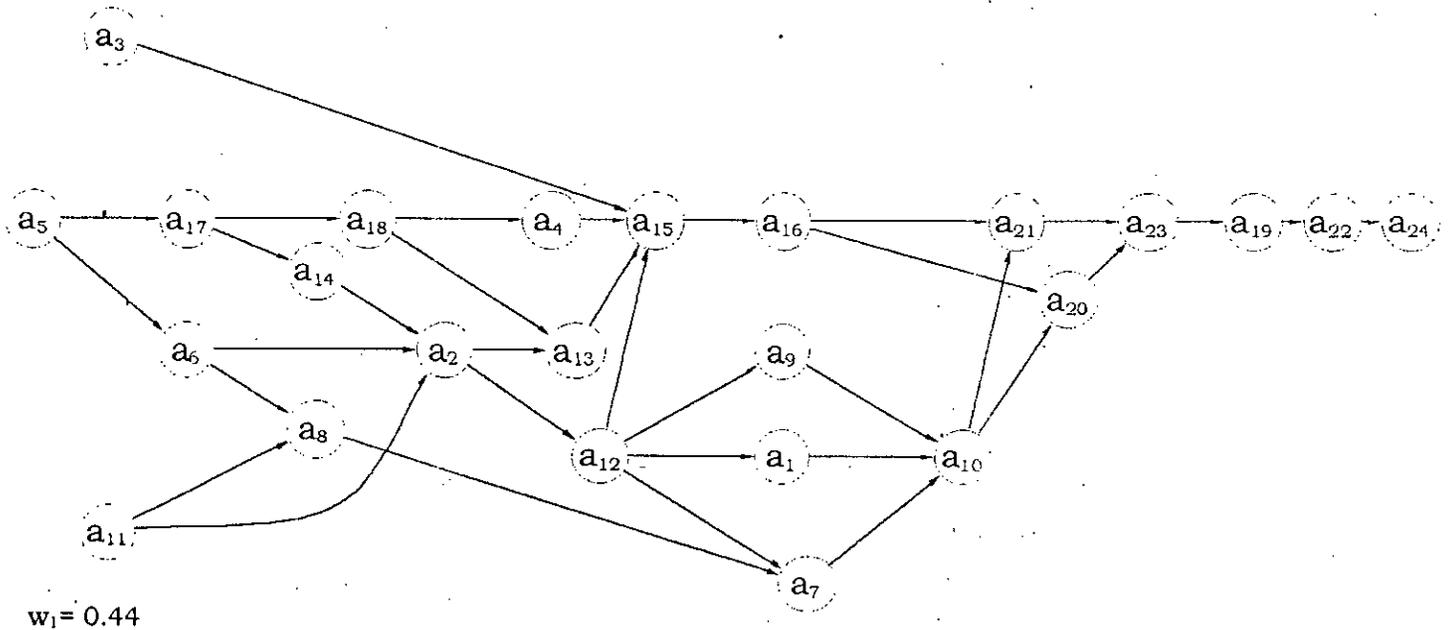
- La somme des poids égale à 1.
- Les valeurs des poids doivent respecter l'ordre d'importance des critères élaborés précédemment.

La variation des poids d'un critère, changera les valeurs attribuées aux poids des autres critères. Ceci est due à la normalisation des poids $\sum w_j = 1$.

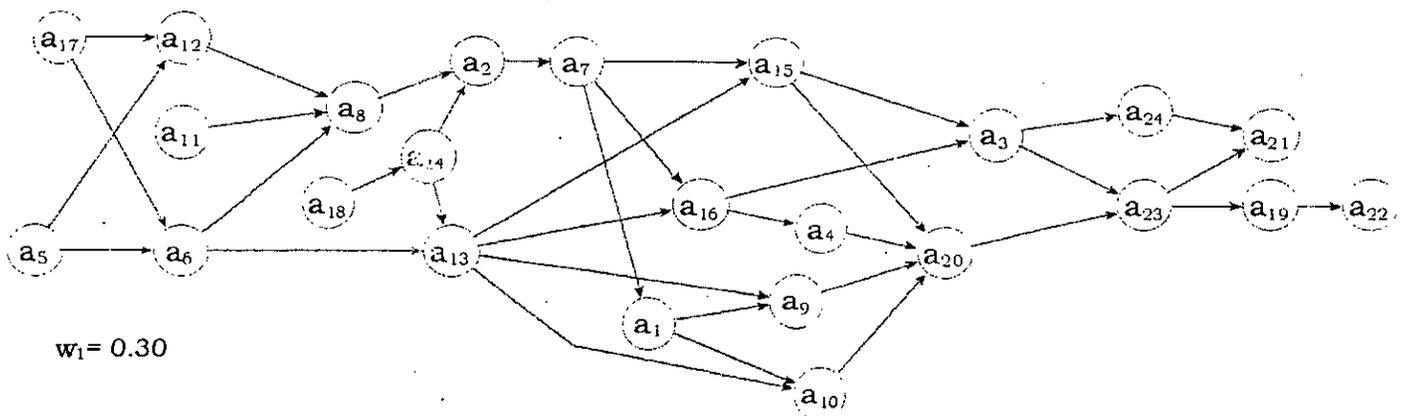
Remarque : Pour que l'analyse de sensibilité cible le poids du critère considéré, on suppose qu'une petite variation sera compensée par le cumul de très petites variations des autres poids. Celles-ci auront donc un effet négligeable relativement à ce critère.

a) PROMETHEE I

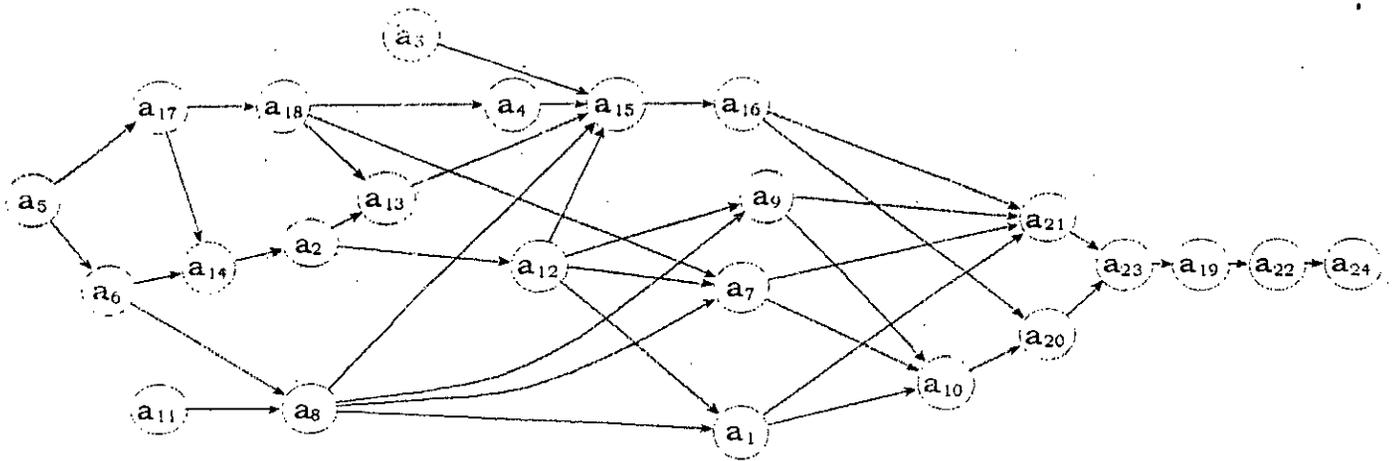
Nous avons présenté quelques graphes de surclassements pour différentes valeurs de poids du premier critère (TRI) :



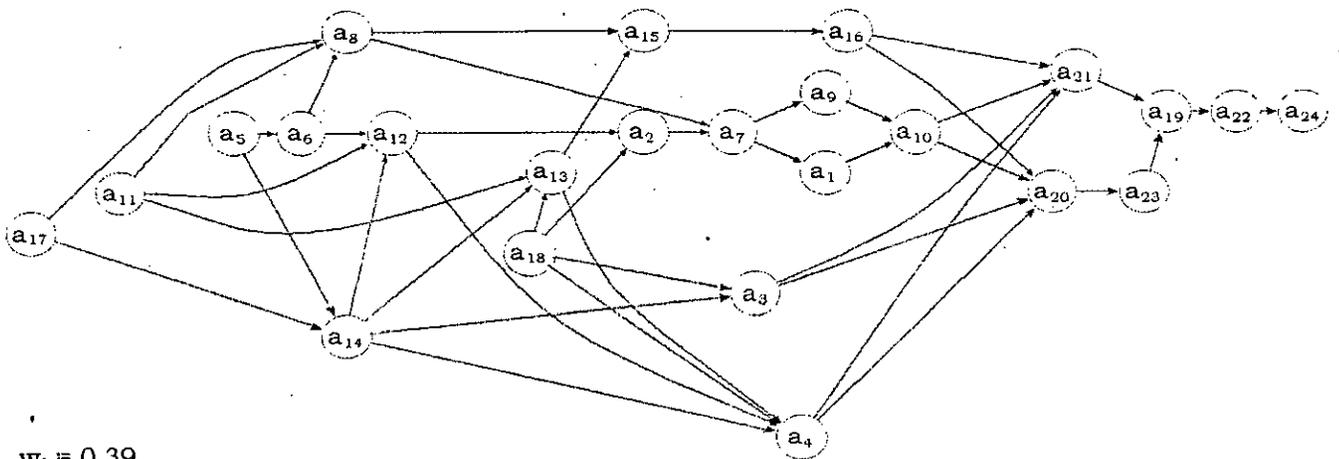
$w_1 = 0.44$



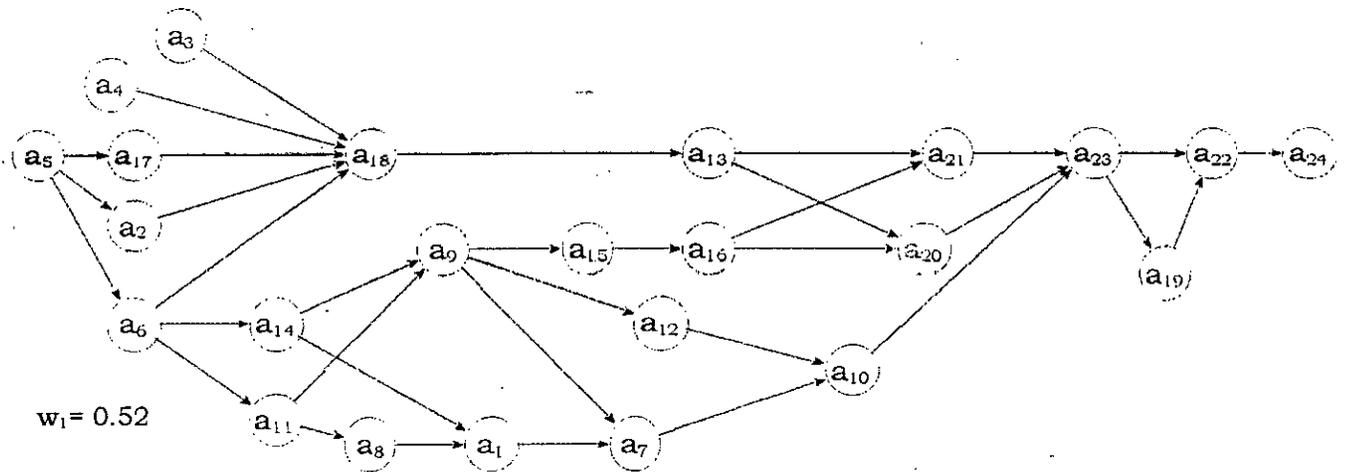
$w_1 = 0.30$



$w_1 = 0.46$



$w_1 = 0.39$



$w_1 = 0.52$

Fig. VI.2 Graphes de surclassement (PROMETHEE I) pour différentes valeurs de w_1

L'analyse de sensibilité, ainsi conduite a permis d'énoncer les remarques suivantes :

- $\{ a_5, a_{11}, a_3 \}$ constituent le noyau de la solution de base.
- a_5 est présente dans tous les noyaux.
- a_2, a_6, a_8, a_{14} n'apparaissent jamais dans la solution de base.
- Lorsque a_4 apparaît dans le noyau, sa présence n'est due qu'au poids élevé du critère taux de rentabilité.
- Lorsque a_{17}, a_{18} apparaissent dans le noyau, leur présence est due au poids du critère part de partenaire.

Pour l'ensemble des critère, les résultats sont schématisés comme suit :

SB= Solution de Base :-noyau= $\{ a_5, a_{11}, a_3 \}$.

SA= Autre Solution : noyau= $\{ a_{17}, a_5, a_{11}, a_{18} \}$.

b) PROMETHEE II

De la même manière, nous avons présenté quelques graphes de surclassement selon PROMETHEE II pour différentes valeurs de w_1 .

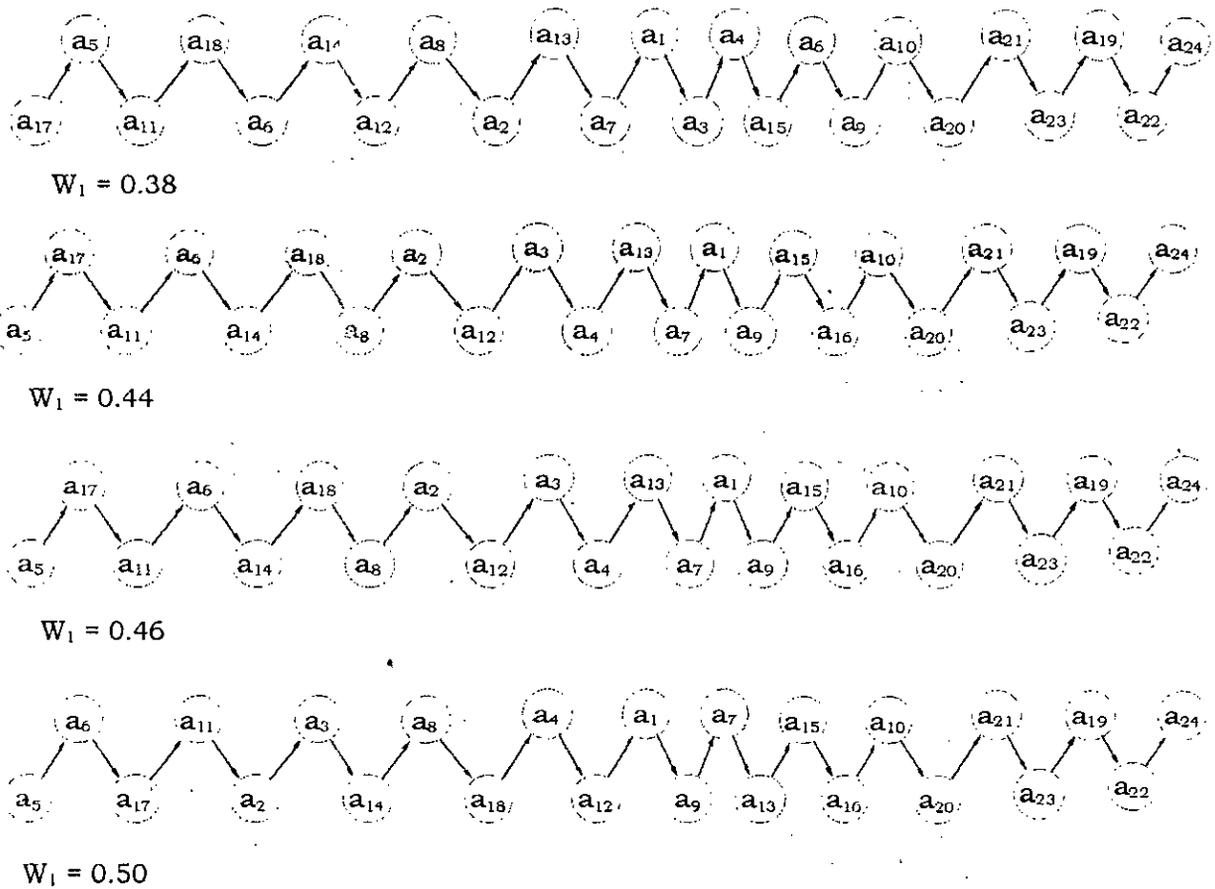
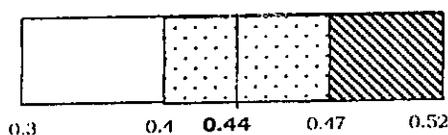


Fig. VI.3 Graphes de surclassement (PROMETHEE II) pour différentes valeurs de w_1

La figure suivante présente les résultats de l'analyse de sensibilité des poids pour chaque critère :

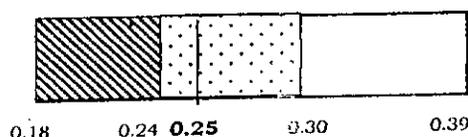
Critère 1 : Taux de rentabilité interne



Critère 2: Part du partenaire



Critère 3 : Evaluation du partenaire



Critère 4 : Coût d'investissement

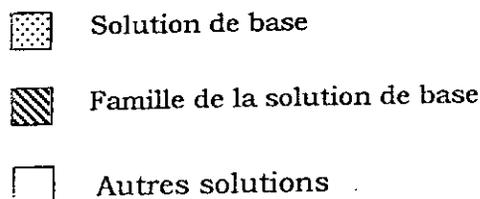
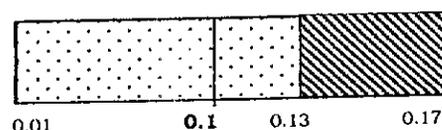


Fig. VI.4 Résultat des analyses de sensibilité des poids pour chaque critère d'évaluation

Ainsi cette analyse nous a permis d'énoncer les remarques suivantes :

- Nous pouvons remarquer qu'une diminution du poids w_1 présente une certaine robustesse avant d'entraîner une modification de la solution de base, par contre ce même résultat présente une grande stabilité (relativement obtenue en diminuant la valeur de w_1) quand la valeur du poids w_1 augmente par rapport à la valeur de référence.
- On peut remarquer que les poids des critères PP et CI ont pratiquement le même effet sur le résultat. Ce dernier est stable lorsqu'on varie leurs valeurs par rapport aux valeurs de référence le long de l'intervalle.
- La sensibilisation du poids du critère EP présente un résultat opposé par rapport à celui de la variation du poids du critère TRI.
- L'augmentation du poids du critère EP engendre une modification subite de la solution de base, par contre une diminution de la valeur de ce dernier présente un résultat robuste.

Remarque :

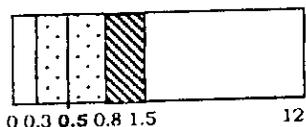
- La solution graphe de la méthode PROMETHEE I est utilisée pour expliquer et interpréter l'instabilité de PROMETHEE II.
- Nous pouvons remarquer que les actions en tête de classement de la solution de base (PROMETHEE II) appartiennent aux noyaux de la solution de base et de la solution alternative.
- Bien que l'action a_3 apparaisse dans le noyau, sa position sur le rangement total n'est pas acceptable, ceci est expliqué par le fait que a_3 est incomparable avec $\{a_5, a_{17}, a_{11}, a_6, a_{14}, a_{18}, a_8, a_2, a_{12}\}$.

2. Variation des seuils d'indifférence

L'étude de sensibilité sur les seuils d'indifférence a porté sur des valeurs tests pour chaque critère. Ainsi, nous avons obtenu les résultats suivants :

PROMETHEE I :

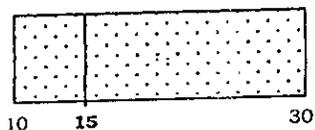
Critère 1 : TRI



Critère 2 : Evaluation du partenaire



Critère 3 : Part du partenaire



Critère 4: Coût d'investissement

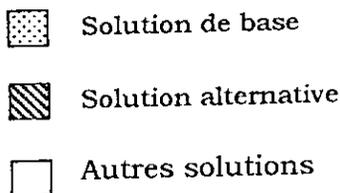
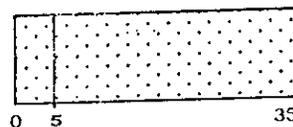


Fig. VI.5 Stabilité de la solution PROMETHEE I (seuils d'indifférence)

Critère 1 :

Valeurs testées entre $q_1 = 0$ et $q_1 = p_1 = 12$.

Entre $q_1 = 0.3$ et $q_1 = 0.8$, la solution de base reste valable.

Entre $q_1 = 0.8$ et $q_1 = 1.5$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_{11}, a_{18}, a_{17}, a_3 \}$.

Pour $q_1 > 1.5$ et $q_1 < 0.3$, nous obtenons d'autres solutions.

Critère 2 :

Les valeurs testées sont $q_1 = 0, 1$ et 2 .

Pour $q_1 = 0$ et 1 , la solution de base reste valable.

Pour $q_1 = 2$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_3 \}$.

Critère 3 :

Valeurs testées entre $q_1 = 10$ et $q_1 = p_1 = 30$.

La solution reste valable pour ces valeurs.

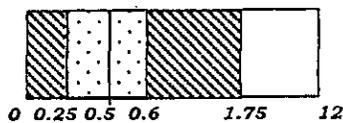
Critère 4 :

Valeurs testées entre $q_1 = 0$ et $q_1 = p_1 = 35$.

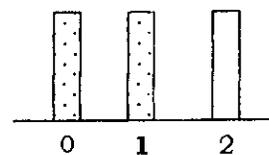
La solution reste valable pour ces valeurs.

PROMETHEE II :

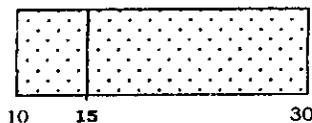
Critère 1 : TRI



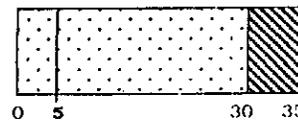
Critère 2 : Evaluation du partenaire



Critère 3 : Part du partenaire



Critère 4: Coût d'investissement



Solution de base

Famille de la solution de base

Autres solutions

Fig. VI.6 Stabilité de la solution PROMETHEE II (seuils d'indifférence)

Critère 1 :

Valeurs testées entre $q_1 = 0$ et $q_1 = p_1 = 12$.

Entre $q_1 = 0.3$ et $q_1 = 0.8$, la solution de base reste valable.

Entre $q_1 = 0.8$ et $q_1 = 1.5$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_{11}, a_{18}, a_{17}, a_3 \}$.

Pour $q_1 > 1.5$ et $q_1 < 0.3$, nous obtenons d'autres solutions.

Critère 2 :

Les valeurs testées sont $q_1 = 0, 1$ et 2 .

Pour $q_1 = 0$ et 1 , la solution de base reste valable.

Pour $q_1 = 2$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_{11}, a_{18}, a_{17}, a_3 \}$.

Critère 3 :

Valeurs testées entre $q_1 = 10$ et $q_1 = p_1 = 30$.

La solution reste valable pour ces valeurs.

Critère 4 :

Valeurs testées entre $q_1 = 0$ et $q_1 = p_1 = 35$.

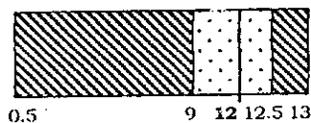
La solution reste valable pour ces valeurs.

3. Variation des seuils de préférence

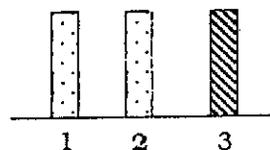
L'étude de sensibilité sur les seuils de préférences a porté sur des valeurs tests pour chaque critère. Ainsi nous avons obtenu ces résultats :

PROMETHEE I :

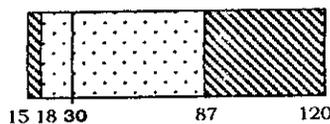
Critère 1 : TRI



Critère 2 : Evaluation du partenaire



Critère 3 : Part du partenaire



Critère 4: Coût d'investissement

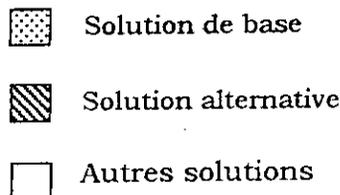
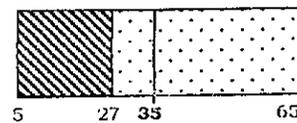


Fig. VI.8 Stabilité de la solution PROMETHEE I (Seuils de préférence)

Critère 1 :

Valeurs testées entre $p_1 = q_1 = 0.5$ et $p_1 = 13$.

Entre $p_1 = 9$ et $p_1 = 12$, la solution de base reste valable.

Pour $12.5 < p_1 < 13$ et $0.5 < p_1 < 9$, Nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_{11}, a_{18}, a_{17}, a_3 \}$.

Critère 2 :

Les valeurs testées sont $p_1 = 1, 2$ et 3 .

Pour $p_1 = 1$ et 2 , la solution de base reste valable.

Pour $p_1 = 3$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_3 \}$.

Critère 3 :

Les valeurs testées entre $p_1 = 15$ et $p_1 = 120$.

Pour $18 < p_1 < 87$ la solution reste valable pour ces valeurs.

Pour $15 < p_1 < 18$ nous obtenons la solution alternative suivante $\{ a_5, a_{11}, a_{17} \}$.

Pour $87 < p_1 < 120$ nous obtenons la solution alternative suivante $\{ a_5, a_{11}, a_8, a_3 \}$.

Critère 4 :

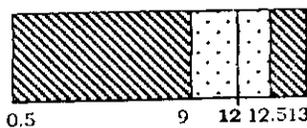
Les valeurs testées entre $p_1 = 5$ et $p_1 = 65$.

Pour $27 < p_1 < 65$, la solution reste valable pour ces valeurs.

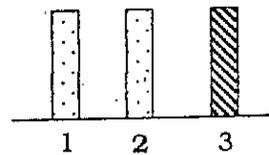
Pour $5 < p_1 < 27$, nous obtenons une solution alternative $\{ a_5, a_{11} \}$.

PROMETHEE II :

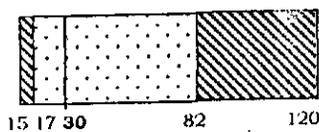
Critère 1 : TRI



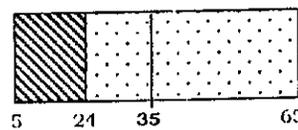
Critère 2 : Evaluation du partenaire



Critère 3 : Part du partenaire



Critère 4: Coût d'investissement



- Solution de base
- Famille de la solution de base
- Autres solutions

Fig. VI.7 Stabilité de la solution PROMETHEE II (Seuils de préférence)

Critère 1 :

Valeurs testées entre $p_1 = q_1 = 0.5$ et $p_1 = 13$.

Entre $p_1 = 9$ et $p_1 = 12$, la solution de base reste valable.

Pour $12.5 < p_1 < 13$ et $0.5 < p_1 < 9$, Nous obtenons une famille de solutions de base.

Critère 2 :

Les valeurs testées sont $p_1 = 1, 2$ et 3 .

Pour $p_1 = 1$ et 2 , la solution de base reste valable.

Pour $p_1 = 3$, nous obtenons une famille de solutions de base.

Critère 3 :

Les valeurs testées entre $p_1 = 15$ et $p_1 = 120$.

Pour $17 < p_1 < 82$ la solution reste valable pour ces valeurs.

Pour $15 < p_1 < 17$ et $82 < p_1 < 120$, nous obtenons une famille de solutions de base.

Critère 4 :

Les valeurs testées entre $p_1 = 5$ et $p_1 = 65$.

Pour $27 < p_1 < 65$, la solution reste valable pour ces valeurs.

Pour $5 < p_1 < 24$, nous obtenons une famille de solutions de base.

4. Elaboration de la recommandation

- a. Dans le cas où l'entreprise retiendrait Linde comme partenaire sans tenir compte de sa position sur le marché, l'action a_5 mérite d'être retenue.
- b. Dans le cas où il est envisagé de collaborer avec un partenaire ayant une position sur le marché très significative, une de ces actions (a_{17}, a_{11}) peut répondre aux préoccupations de l'entreprise.
- c. Dans le cas où la SONATRACH insiste sur l'adoption du nouveau montage (création de deux filiales) les actions a_{19}, \dots, a_{24} peuvent être définitivement éliminées.
- d. Les critères «Evaluation partenaire» et « Coût d'investissement », ne permettent pas de différencier clairement les actions du point de vue petite et grande capacité. Ainsi, si d'autres considérations sont prises sur l'axe stratégique pénétration du marché (précisément le critère « part partenaire »), l'action a_4 peut substituer l'action a_5 surtout qu'elles sont incomparables d'après le résultat de PROMETHE I.
- e. Les actions réalisées avec le partenaire HELAP présentent peu de risque pour la SONATRACH du fait de l'expérience qui relie ces deux partenaires, les infrastructures déjà disponibles sur le site d'Arzew qui engendré un coût d'investissement minimal pour ces actions par rapport à ceux de Skikda, ceci avantage l'action a_{20} qui est en tête de classement de cette liste d'actions relative au site de Arzew d'après les résultats de PROMETHEE I et II.

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail était d'apporter un outil d'aide à la décision d'investissement, pour la réalisation d'une unité d'extraction et de liquéfaction d'hélium.

La diversité des possibilités qui s'offrent à l'entreprise correspondant au : site d'implantation, à la technologie appliquée, au dimensionnement et au partenaire retenu, fait apparaître une panoplie de configurations qui peuvent être retenues pour réaliser ce projet d'investissement.

Le choix d'une des configurations est conditionné par des considérations économiques et stratégiques qui se traduisent par plusieurs critères. Ceci nous a mené à adopter une approche multicritère.

L'élaboration du modèle multicritère s'est fait en trois étapes. Pour la première étape, il s'agissait de déterminer un ensemble d'actions potentielles qui représente les différentes configurations sus-cités.

Pour la deuxième étape, il s'agissait de déterminer une famille cohérente de critères (faisant intervenir le plus d'éléments d'informations caractérisant le problème) permettant de cerner les objectifs stratégiques et économiques de l'entreprise.

La troisième étape, s'agissait d'établir le tableau d'évaluations, ce dernier enregistre les évaluations des actions sur chaque critère.

Après avoir élaboré le modèle multicritère et explicité les préférences du décideur à partir des évaluations, nous avons appliqué la méthode multicritère PROMETHEE, que nous avons jugé la mieux adaptée au problème qui nous a été posé, afin de synthétiser ces préférences sur l'ensemble des critères.

En outre, la méthode multicritère retenue offre une grande simplicité de mise en œuvre (informations nécessaires faciles à obtenir par le décideur). Ainsi, elle permet d'obtenir deux types de résultat :

Le premier : PROMETHEE I, aboutissant à un rangement partiel, distinguant les actions incomparables dont les informations précédentes ne peuvent confirmer leur position dans ce classement. Ainsi, cette façon de faire peut relever d'une problématique de choix où il est question de déterminer un noyau contenant les actions les plus satisfaisantes.

Le deuxième : PROMETHEE II, aboutissant à un rangement total, éliminant l'incomparabilité observée sur le résultat précédent, et ne retenant que la préférence et l'indifférence pour établir le classement.

La méthode (PROMETHEE) présente un avantage qui est l'introduction d'une méthode d'analyse de données qui permet de présenter graphiquement le positionnement des actions par rapport aux critères sur un même plan.

La méthode (PROMETHEE) a fait l'objet d'une analyse de sensibilité, faisant varier les valeurs des paramètres de cette dernière pour enfin tester la stabilité de la solution obtenue par rapport aux valeurs référentielles de ces même paramètres, et d'élaborer une recommandation synthétique fondée sur des conclusions robustes.

Références bibliographiques

- [And, 95] A.ANDENMATTEN
Evaluation du risque de défaillance des émetteurs d'obligation. Une approche par l'aide multicritère à la décision.
Presse Polytechnique Universitaire Romandes 1995
- [Bel & Ham,99] M.BELHADJ & S.HAMDANI
Aide à la décision d'investissement pour la réalisation des ouvrages de transport électrique HT et très HT du réseau national. Ingéniorat en Génie Industriel.
ENP1995
- [Bou & Roy,93] D.BOUYSSOU et B.ROY
Aide multicritère à la décision : Méthode et cas.
Economica 1993
- [Bran & Mar ,90] P.BRANS et B.MARESCHAL
Aide multicritère à la décision PROMETHEE : le cerveau du décideur.
Centre de Statistique et de Recherche Opérationnelle, Universités Libres de Bruxelles 1990
- [Brans & Vincke ,85] J.P.BRANS et P.VINCKE
A preference ranking organisation method.
Vol31 Management science. n°6 (1985).
- [Cam,98] CAMEL
Helium market. 1998
- [DIB.00] M^{me} DIB
Cours d'analyse des données 4^{ème} année Génie Industriel.
ENP 2000
- [Dor ,81] C.DORVAL
Choix des investissements.
Techniques de l'ingénieur. Vol A.4450. 1981
- [Ham,84] R.HAMOUTENE
Etude de la valorisation de l'hélium extrait du gaz naturel dans le monde, perspectives de production et de commercialisation de l'Algérie vers la CEE.
DEA en économie de l'énergie. Université de Paris II 1984
- [Mar,84] J.MARGERIN
Choix des investissements. Présélection - Choix-Contrôle.
Les éditions d'organisation 1984

- [Mar,84] B.MARSHAL
Aide à la décision multicritère : développements récents
des méthodes PROMETHEE.
cahiers du C.E.R.O 1987
- [May, 94] Y.MAYSTRE
Méthodes multicritères ELECTRE. Description, conseils
pratiques et cas d'application à la gestion
environnementale.
Presse polytechniques et universitaires romandes 1994
- [Sch,85] A.SCHARLIG
Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la
décision multicritère.
Presse polytechniques Romandes 1985
- [Vin,89] P.VINCKE
L'aide multicritère à la décision.
Ellipses 1989

ANNEXES

Annexe 1

Les unités de liquéfaction GNL :

Unité	Nombre de trains de liquéfaction	Capacité de liquéfaction (mm m ³ /an
Arzew GL4Z	3	2
Arzew GL2Z	6	17.5
Arzew GL1Z	6	17.8
Skikda GL1K	6	11.2

Symboles :

million cubic footmm cf.
million mètre cube.....mm m³.

Conversions :

Volume : 1 cubic foot # 30 litre.
1 million de cubic foot/ jour # 10 millions m³/ an.

Formules du calcul économique : [Mar,84]

- Cash-Flow = RNE - Amortissements.
- RNE = RBE-IBS.
- RNE : Résultat Nette d'Exploitation.
- RBE : Résultat Brut d'Exploitation.
- RBE = Chiffre d'affaires (CA) - Charges.
- IBS Impôt sur le bénéfice ou l'impôt sur le RBE.

- Chiffre d'affaires = Quantité x Prix.

$$- VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\text{Cash-flow}}{(1+a)^i}$$

VAN : Valeur actuelle nette.
I₀ : Investissement initial.
a : Taux d'actualisation.
n : Durée de vie de l'investissement.

Taux de Rentabilité Interne (TRI) = a₀ tel que a₀ est le taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette (VAN) est nulle.

Annexe 2

Evaluation de la rentabilité de la SONATRACH

a. HYPOTHESES

Taux d'actualisation	11%
Options (1 ou 2)	1
Capacité	600
Taux de chargement 1ère année	66%
nombre d'années de saturation	5

Partenaire	Air Products	1	
	2	Linde	2
		Air Liquide	3
		Helap	4

Site	Skikda	1
	1	Arzew	2

Partenaire	Investissements	68,28
	investissement 2001	20%
	part du partenaire	30%

prix vente gaz de charge \$/mcf	17,5	% augmentation du prix de gaz de charge / an	102%	% variation du prix d'Hélium sur le marché(2000-2009)(2010- 2020)	5%	-3%
Prix de vente d'hélium (jvp , jvc) \$/mmcf	48	Taux de change(\$/DA)	77	1 tonne= mc (Azote liquide)	800	
Prix de vente d'hélium (jvc , marche) \$/mmcf	65	production d'Azote en tonne / an (600)	70	% augmentation du prix de l'azote / an	110%	
Prix de vente d'hélium (jvc , partenaire) \$/mmcf	62	consommation de l'azote pour la production de 1mm cf d'hélium (en tonne)	0,07	%de réduction du CA JVC (frais JVC)	5%	
prix de vente d'azote (jvp,SH) \$/litre ou DA/tonne ou DA/mc	6000	% réductions jvp O2/ jvp O1 charges et 600 à 300:		%d'augmentation des frais ransport d'hélium		7%
prix de vente d'azote (SH,marche) \$/litre (DA/mc)	7000	% de réduction investissement / JVPO1	10%	40%		
frais du transport hélium \$/mmcf	10,2	% de réduction Energie / JVP O1	5%	40%		
frais du transport azote (% CA Azote- SH)	5%	% de réduction Mains d'oeuvres / JVP O1	5%	40%		
% d'augmentation du pr.vente d'hélium	5%	% Autres / JVP O1	5%	40%		

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
300	300	300	300	300	300	300	300
4804	4660	4520	4385	4253	4126	4002	3882
1441321	1398081	1356139	1315455	1275991	1237711	1200580	1164563
130954	144049	158454	174299	191729	210902	231993	255192
422830	431286	439912	448710	457684	466838	476175	485698
124334	133215	142096	150977	137176	142663	144090	156930
86617	93279	103274	106605	109937	113268	116599	119931
42746	44456	46166	47876	49586	51296	53005	54715
676527	702237	731448	754168	754383	774065	789869	817274
33187	34515	35896	37331	38825	40378	41993	43672
321860	321860	321860	321860	321860			
1031574	1058612	1089203	1113360	1115067	814442	831862	860946
540701	483519	425390	376395	352653	634172	600711	558808
162210	145056	127617	112918	105796	190251	180213	167643
378490	338463	297773	263476	246857	443920	420497	391166
700350	660323	619633	585336	568717	443920	420497	391166
712443	1372766	1992399	2577735	3146452	3590373	4010870	4402036

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
48804,7857	47340,6421	45920,4228	44542,8102	43206,5259	41910,3301	40653,0202	39433,4296
1108800	1108800	1108800	1108800	1108800	1108800	1108800	1108800
235620	235620	235620	235620	235620	235620	235620	235620
976095,713	946812,842	918408,457	890856,203	864130,517	838206,602	813060,403	788668,591
399019,347	387048,766	375437,303	364174,184	353248,959	342651,49	332371,945	322400,787
5357,200	5357,200	5357,200	5357,200	5357,200	5357,200	5357,200	5357,200

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
130953,789	144049,168	158454,085	174299,493	191729,443	210902,387	231992,626	255191,888
144049,168	158454,085	174299,493	191729,443	210902,387	231992,626	255191,888	280711,077
7202,4584	7922,70424	8714,97467	9586,47213	10545,1193	11599,6313	12759,5944	14035,5538
5892,92051	6482,21256	7130,43382	7843,4772	8627,82492	9490,60741	10439,6682	11483,635

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
422829,609	431286,201	439911,925	448710,164	457684,367	466838,055	476174,816	485698,312
358560,866	318652,5	279009,554	243142,388	216675,628	119223,931	90428,4125	59190,9198
5892,92051	6482,21256	7130,43382	7843,4772	8627,82492	9490,60741	10439,6682	11483,635
775497,555	743456,489	711791,045	684009,075	665732,171	576571,378	556163,56	533405,597

Annexe 3 Evaluation des partenaires

Perspective de production d'hélium en Europe par compagnies				
Compagnies	1997	2000	2005	2010
Praxair	-	-	-	-
BOC	3.8	3.8	1.7	1.7
AP	7.1	12	11.9	11.9
AL	5.7	5.9	11.2	12.7
Linde	-	-	-	-

Source Européennes /distribution/ part de marché (mm m ³) 1998						
Production offre et distribution						
Source	Capacité	AP	AL	BOC	Praxair	autre
Pologne	2.1	-	-	2.1	-	-
Russie	5.7	0.3	-	2.0	-	-
Algérie	17	7.1	2.8	1.4	-	3.1
Importation		-	1.0	0.2	1.6	1.6
Part compagnies marché	30%	16%	20%	24%	7%	8%

Profil des distribution primaires en Europe (mm m ³)				
	1997	2000	2005	2010
Praxair	-	-	-	-
BOC	3.8	3.8	1.7	1.7
AP	7.1	12	11.9	11.9
AL	5.7	5.9	11.2	12.7
Autre	0.8	0.8	1.7	2.0
Importation	4.2	1.4	1.7	7.1

Distribution d'hélium (mm m ³) entre compagnies						
Marché	Source					Part marché
	AP	AL	BOC	Praxair	Autre	
AP	4.5	-	-	-	-	19%
AL	-	2.8	-	-	-	12%
BOC	-	-	3.7	-	-	15%
Linde	1.0	-	-	0.3	-	6%
Autre	1.9	1.1	0.7	-	4.9	38%

Nombre de dépôts	
compagnies	Europe
AP	8
BOC	7
Praxair	6
AL	4
Linde	6
Autre	8

Annexe 4

Méthode de détermination des poids

[May, 94] Pour la détermination des poids nous avons proposé la méthode décrite par J.SIMOS(1990), et qui a été retenue par les décideurs. Le principe de Cette méthode consiste en la transformation des rangs des critères en poids. La transformation se fait comme suit :

- 1- Le décideur ordonne les critères à sa convenance dans un classement permettant les ex æquo et l'introduction de rangs n'ayant aucun critère permettant de renforcer les différences.
- 2- Inscire les critères dans la seconde colonne en face du rang obtenu dans le classement inverse, en tenant compte des ex æquo et des espaces.
- 3- Attribuer à chaque critère, y compris aux espaces vides, un poids : le critère le moins bien placée obtient le poids 1, le suivant 2, etc.
- 4- Le poids moyen des critères de rang r est égal à la somme des critères de ce rang divisé par le nombre de critères de ce rang.
- 5- Le poids relatif est obtenu en divisant le poids des critères de rang (r) par la somme des poids, non compris les poids des espaces blancs.
- 6- On peut contrôler qu'en multipliant, pour chaque rang, les poids relatifs par le nombre de critères de ce rang (N), puis en faisant la somme sur tous les rangs, on obtient bien 100%.

Rang	Cartes	Rang inverse
1	TRI	5
2		4
3	EP	3
4	PP	2
5	CI	1

Rang inverse	Critère de rang r	Nombre de critère rang r	poids	Poids moyen	Poids relatif
r		N	P_r	$Q_r = \frac{\sum Pr}{Nr}$	$R_r = \frac{Q_r}{\sum P}$
1	Coût d'investissement (CI)	1	1	1	0.10
2	Part Partenaire(PP)	1	2	2	0.18
3	Evaluation partenaire(EP)	1	3	3	0.27
4	-	-	4	-	-
5	Taux de Rentabilité interne (TRI)	1	5	5	0.45
			11		

Annexe 5 Glossaire

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 : un critère, est une référence par rapport à laquelle on mesure les conséquences d'une action, il se manifeste par une échelle continue ou discrète, sur laquelle on peut situer chaque action potentielle dans un processus de décision.

Etape d'avancement du processus de décision : ensemble des éléments et des conditions de travail caractéristiques de la situation créée par le déroulement de l'étude et résumant l'histoire antérieure dans ce qu'elle impose comme données ou comme contraintes.

Joint venture (coentreprise) : est un partenariat entre deux entreprises copropriétaires qui se partagent le contrôle (et les risques) de l'exploitation.

Niveau de concordance : c'est un paramètre noté (s) qui reçoit une valeur fixée tel que :

$$\frac{K[c(bSa)]}{K[F]} \geq s \quad \text{et} \quad \frac{1}{2} \leq s \leq 1 - \frac{\text{Min}K_j}{K[F]}$$

$C(aSb)$: ensemble des critères affirmant la préférence de (a) sur (b).
K : cardinale.

Niveau du processus d'aide à la décision : étape de la méthodologie d'aide à la décision, pour laquelle des négociateurs spécifiques sont définies, l'homme d'étude doit chercher à leur apporter une réponse..

Processus de décision : succession d'étapes au cours duquel les multiples actions, qui vont conditionner la décision globale, sont définies, la décision globale ne constitue donc qu'une petite partie de ce processus.

Relation de préférence : Relation binaire entre deux actions dans laquelle quatre situations de préférence sont possibles pour un décideur : il préfère a_i à a_k , a_k à a_i , il est indifférent entre a_i et a_k , il ne sait pas s'il préfère a_i ou a_k .

Relation de surclassement : Relation binaire dans laquelle il est possible d'affirmer sans risque d'erreur que le décideur préfère a_i à a_k .

Relations emboîtées : en fixant une séquence de valeurs pour le niveau de concordance (tel que : $s^1 > s^2 > \dots > s^h$), et en reportant successivement ces h valeurs dans une condition de concordance, on obtient une séquence de h systèmes de préférence (S) qui seront appelés emboîtés pour traduire le fait que :

$$S^1 \subset S^2 \subset S^3 \dots \subset S^h .$$

Vecteur de performance : Vecteur caractérisant l'action potentielle par des évaluations sur chaque critère.

$$\text{Noté : } g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$$

Taux de substitution : notion traduisant l'idée de compensation entre une perte sur un critère et un gain sur un autre.

- Soient :
- un vecteur de performance $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$
 - un critère de référence (axe commun) noté n , muni d'une variation unitaire δ_n .

Par définition, le *taux de substitution* noté $r_{jn}(g, \delta_n)$ entre le critère j et le critère de référence n , est la quantité de l'accroissement (v) qui s'avère compatible avec l'indifférence entre deux actions potentielles caractérisées par les vecteurs performance g et g^v tel que :

$$g^v = (g_1, g_2, \dots, g_{j-1}, g_j + v, g_{j+1}, \dots, g_n + \delta_n)$$

seuil de Veto :

soient :

- a, b deux actions potentielles.
- Une famille de critères F .

Si
$$g_j(a) \geq g_j(b) \quad \forall j, n \in F \text{ et } j \neq n$$
$$g_n(b) - g_n(a) \geq v_n$$

Alors l'action (b) est meilleure que (a), la quantité v_n est appelé seuil de veto.

Annexe 6 Quelques liens vers des sites intéressants sur :

1. L'aide multicritère à la décision

www.lamsade.dauphine.fr

www.enpc.fr

www.irit.fr

www.u-bourgogne.fr

www.smg.ulb.ac.be Service de Mathématiques de la Gestion-Université Libre de Bruxelles

www.ulb.ac.be/philo/infodoc Section INFODOC -Université Libre de Bruxelles

www.visualdecision.com Visual Decision Inc.

2. Les principaux producteurs des gaz industriels dans le monde particulièrement production d'hélium :

www.airproducts.com

Air Products and Chemicals, Inc.

www.airliquide.com

Air Liquide.

www.linde.com

Linde.

www.praxair.nsf

Praxair

www.boc.com

British Oxygen Company