

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

Université Abderrahmane Mira – Bejaïa  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique



## *Mémoire de fin d'études*

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques*

## *Thème*

**METHODES MULTICRITERES D'AIDE A LA DECISION DANS L'INTEGRATION DES  
SMART GRIDS DANS LES RESEAUX CONVENTIONNELS**

*Etude de cas*

**Présenté par :**

- **TOUATI Sami**
- **TOUATI Farid**

**Encadré par :**

- M<sup>r</sup> MEDJOU DJ Rabah**
- M<sup>lle</sup> IBERRAKEN Fairouz**

**Devant le jury :**

- **M<sup>me</sup> AOUZELLAG. N**
- **M<sup>r</sup> ZIANE KHODJA. A**

Promotion Juin 2013

## REMERCIEMENTS

*Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le cadre du projet de Master sous la direction de Mr : RABAH MEDJOU DJ, à qui nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements pour avoir dirigé cette étude.*

*Il nous est difficile de trouver les mots et les expressions pour le remercier pour sa générosité, la confiance qu'il nous a accordée tout au long de ces mois, mais aussi pour ses conseils et son esprit scientifique.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude aux enseignants qui nous font l'honneur de composer le jury de notre mémoire.*

*Nous remercions tout particulièrement notre co-promotrice Melle IBERRAKEN FAIROUZ qui a énormément contribué dans la réalisation de ce modeste travail, tous nos amis pour leur aide intellectuelle et psychologique précieuse, pendant la réalisation de notre travail en particulier notre ami BIZAK.*

# *Dédicaces*

*A mes chers parents, pour leur persévérance  
et pour avoir suscité ma vocation  
et qui m'ont permis d'achever mes études*

*A mes frères, **Hakim**, **Ammar** et **Farouk***

*Et à mes sœurs, **Ghanía**, **Nabíla** et **Radía***

*Et à mes neveux, **Imad**, **Mounír**, **Sameh**, **Yanis** et **Cílou***

*A tous mes amis et collègues,*

*A tous mes enseignants,*

*A tous ceux que j'aime,*

*Je dédie cet humble travail*

*Sami*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes précieux parents pour leur exprimer ma gratitude et  
l'amour que j'ai pour eux.*

*A mes frères Riad et Djââfer.*

*A ma sœur Naoual.*

*A ma chère copine Hamida*

*A tous mes amis.*

*A toute la promotion Electrotechnique 2012-2013*

*Farid*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques des différents types de décision.....	15
<b>Tableau 2</b> : Les trois dimensions de la phase de compréhension du problème .....	16
<b>Tableau 3</b> : Echelle relative de Saaty.....	24
<b>Tableau 4</b> : Synthétisation des résultats.....	26
<b>Tableau 5</b> : Random Index.....	27
<b>Tableau 6</b> : Structure générale de la super matrice.....	31
<b>Tableau 7</b> : Comparaison des critères.....	73
<b>Tableau 8 - 9</b> : Comparaison des sous critères.....	74
<b>Tableau 10 – 16</b> : Comparaison des Alternatives. ....	75 - 77
<b>Tableau 17</b> : Synthèse des résultats.....	77
<b>Tableau 18</b> : Comparaison des critères.....	78
<b>Tableau 19 – 20</b> : Comparaison des sous critères.....	78
<b>Tableau 21</b> : Synthèse des résultats.....	79



## Liste des figures

<b>Fig. 1 :</b> Schéma organisationnel et fonctionnel du groupe Sonelgaz pour l'année 2010.....	11
<b>Fig. 2 :</b> Modèle de processus décisionnel.....	17
<b>Fig. 3 :</b> Démarches à suivre dans la méthode AHP.....	22
<b>Fig. 4 :</b> Arborescence d'une hiérarchisation simple.....	23
<b>Fig. 5 :</b> La hiérarchisation avec des sous critères.....	23
<b>Fig. 6 :</b> Arborescence des scénarios.....	24
<b>Fig. 7 :</b> Connections dans un réseau.....	28
<b>Fig. 8 :</b> Exemple d'une structure réseau avec des groupe et éléments.....	29
<b>Fig. 9 :</b> Configuration SCADA de centre de dispatching.....	46
<b>Fig.10 :</b> Les taches d'un opérateur.....	47
<b>Fig. 11 :</b> Compteur intelligent utilisé en Allemagne.....	53
<b>Fig. 12 :</b> Construction de la hiérarchie.....	72

# Table des matières

Introduction générale.....	1
<b>1 Aperçu sur la prise de décision au niveau de SONELGAZ</b>	
Introduction .....	4
1.1 Description de la hiérarchie .....	5
1.1.1 Définitions .....	6
1.1.2 La hiérarchie au sein de la Sonelgaz .....	7
1.1.3 Schéma organisationnel de groupe Sonelgaz .....	7
1.2 Définition du groupe d'experts.....	12
1.2.1 Rôle de l'expert .....	12
1.3 Y-a-t-il une stratégie dans la prise de décision ? .....	13
1.3.1 Qu'est-ce qu'une décision ? .....	13
1.3.2 Les différents types de décisions possibles .....	14
1.3.3 Caractéristiques des différents types de décision .....	15
1.3.4 Processus de prise de décision .....	16
1.3.5 La prise de décision dans le cas d'un projet smart grid .....	17
Conclusion.....	18
<b>2 Méthodes multicritères d'aide à la décision</b>	
Introduction .....	19
Introduction à l'aide multicritère à la décision.....	19
Méthodes d'analyse multicritères.....	20
2.1 Analytic Hierarchy Process AHP .....	21
2.1.1 Présentation de la méthode.....	21
2.1.2 Les étapes du Processus de la Hiérarchie Analytique .....	22
2.2 Analytic Network Process ANP .....	28
2.2.1 Description .....	28
2.3 Critères économique à avenir incertain .....	32
Décision dans l'incertitude et décision dans le risque.....	32
2.3.1 Critères pour la décision dans un univers mesurable (Risque) .....	33
2.3.2 Critères pour la décision dans un univers non mesurable (incertain).....	37

Conclusion.....	41
-----------------	----

### **3 Intégration des smart grids**

Introduction .....	42
3.1 Constat.....	43
3.1.1 Présentation du système Scada.....	43
3.1.2 Le système de communication au niveau du Scada .....	44
3.1.3 Les différentes configurations des systèmes SCADA.....	45
3.1.4 Les outils d'aides à la décision dans le system Scada.....	46
3.1.5 Progrès de la Sonelgaz en matière des systèmes Scada .....	49
3.2 Proposition d'une nouvelle stratégie de comptage .....	50
3.2.1 Smart metring et compteurs intelligents.....	51
3.2.2 Fonctionnement des compteurs intelligents .....	52
3.2.3 Type des compteurs évolués.....	52
3.2.4 avantages du compteur intelligent.....	53
3.3 Avantages de l'intégration des Smart grid dans la réduction des investissements... 54	
3.3.1 Bénéfices environnementaux .....	55
3.3.2 Bénéfices économiques .....	55
3.3.3 Bénéfices sociétaux .....	56
Conclusion :.....	57

### **4 Application aux conditions de Sonelgaz**

4.1 Quelques définition .....	58
4.2 Etat d'art et visions des pays du monde sur les Smart grid.....	61
4.2.1 1 <sup>er</sup> groupe : l'Europe.....	62
4.2.2 2 <sup>ème</sup> groupe : les Etats-Unis .....	65
4.2.3 3 <sup>ème</sup> groupe : Pays émergents (Asie Pacifique) .....	66
4.3 Étude de cas : Un réseau intelligent aux conditions de la Sonelgaz.....	66
4.3.1 La solution peut venir de réseaux intelligents .....	67
4.3.2 Potentiel Algérien favorisant l'intégration des Smart grid.....	68
4.3.3 Comment utiliser la méthode AHP dans le cadre des projets réseaux intelligents ?.....	70
4.4 Application de la méthode AHP .....	70
4.4.1 Les critères de décision .....	71

4.4.2	Construction de la hiérarchie.....	71
4.5	Développement d'un programme informatique pour le calcul.....	72
4.6	Résultats et interprétations .....	73
4.6.1	A court et à moyen terme .....	73
4.6.2	A long terme .....	77
	Conclusion.....	80
	Conclusion générale .....	81
	Bibliographie	
	Annexes	

## **Introduction générale**

Aujourd'hui le réseau électrique connaît des bouleversements qui poussent les gérants à reconsidérer la manière dont l'électricité est produite, distribuée et consommée. Ces majeurs défis tels que : l'augmentation de la consommation électrique, la diversification et l'apparition de nouveaux usages comme la voiture électrique, la nécessité de dé-carboniser l'environnement, ainsi que l'augmentation de la production décentralisée à partir de sources renouvelables mettent à l'épreuve la solidité et la réactivité des réseaux électriques. Par ailleurs, la caractéristique de l'électricité est qu'elle est difficile à stocker : à tout moment, la quantité d'électricité demandée par le consommateur doit être égale à la quantité injectée sur le réseau de manière quasi immédiate.

Les déséquilibres entre la production et la consommation, généralement en heure de pointe, se traduisent par des variations de fréquence ou de tension sur le réseau qui peuvent endommager les équipements électriques. Un déséquilibre trop important provoque des coupures et des pannes de courant qui mènent à de nombreux résultats qui se traduisent par de lourds investissements ou à entreprendre des décisions de lourdes conséquences en opérant des délestages volontaires.

La Sonelgaz (Société nationale de l'électricité et du gaz) a été créé en 1969. On lui a donné le monopole de la distribution et de la vente de gaz naturel dans notre pays, de même pour la production, la distribution, l'importation, et l'exportation d'électricité.

En l'an 2010, la production d'électricité Algérienne a atteint 45,2 térawatts heure (TW/h), en hausse de 5,6% par rapport à l'année 2009. De plus, le coût des branchements illicites est estimé à plus de 25% du chiffre d'affaires de la SDA (filiale de SONELGAZ). [1]

Et pendant des décennies, la Sonelgaz a répondu à l'augmentation des besoins énergétiques des consommateurs en adoptant la loi du «toujours plus» : plus de câbles, plus épais, plus de voltages...etc. avec des réseaux de distribution BT (basse tension) complètement «aveugles» et «ignorants», et des déperditions massives d'électricité sur l'ensemble du réseau. Aujourd'hui le réseau algérien rencontre plusieurs problèmes et reste toujours vulnérable, comme le confirme le blackout de 2003, où le nord algérien a sombré dans le noir pendant une durée de 12 minutes à 4h30 min. cet incident s'est produit au moment de la pointe de demande.

Apporter une réponse efficace à ces défis requiert des réseaux plus « intelligents ». L'intégration de ressources énergétiques distribuées supplémentaires, qu'elles soient domestiques ou industrielles, permet de créer une nouvelle génération de réseaux électriques, et des consommateurs à même d'assurer leur propre gestion proactive de leur consommation.

L'interprétation de ce qu'est le Smart Grid varie beaucoup car ses priorités varient d'une région à l'autre. Chaque pays met donc un accent particulier sur certains aspects du Smart grid. Aux États-Unis, par exemple les autorités observent une dégradation de la fiabilité dans plusieurs régions causée par le manque d'investissement et l'âge avancé des équipements aussi de la complexité et de l'interconnexion de leur réseau, l'écroulement d'une seule infrastructure pourrait entraîner des effets en cascade, ce qui pousse les industries et les services d'électricité à moderniser à grande échelle leurs installations afin de réduire les coûts d'opération de leur réseau et de diminuer des événements indésirables comme les blackouts, tout en augmentant leur fiabilité, leur efficacité et leur sécurité. En Europe ce n'est que récemment que l'impact environnemental est devenu une préoccupation. L'urgence d'une réflexion globale au titre du développement durable apparaît désormais.

L'intégration des smart grid au réseau algérien nécessite des études approfondies en termes de décision, cela conduit à l'utilisation des outils d'aide à la décision plus efficaces, donc on doit faire appel aux techniques de la recherche opérationnelle qui regroupent plusieurs méthodes à savoir : les méthodes d'analyse multicritère ou, plus exactement, les méthodes d'aide multicritère à la décision, ce sont des méthodes assez récentes et en plein développement.

Les outils d'aide à la décision permettent d'apporter des réponses pertinentes à des problématiques diverses mettant en œuvre plusieurs choix possibles (implantation des sites industriels, constitution de portefeuilles de valeurs, etc.), d'aider au diagnostic et, plus généralement, de faciliter la prise de décision stratégique ou opérationnelle en environnement imprécis et/ou incertain.

Par rapport à la spécificité du thème que nous abordons à savoir, méthodes multicritères d'aide à la décision de l'intégration des smart grids aux réseaux traditionnels : Application aux conditions SONELGAZ, un nombre de réflexions pertinentes méritent d'être posées :

- **Quels sont les problèmes que rencontre le réseau électrique algérien ?**
- **Quelles sont les solutions investiguées par les gestionnaires de ces réseaux électriques ?**
- **Quel est l'apport des smart grids dans un réseau traditionnel ?**
- **Quelles sont les différents contextes des smart grid à travers le monde ?**
- **Quel est l'outil d'aide à la décision qui permet aux managers des réseaux d'adapter un modèle smart grid au réseau Algérien ?**
- **Quel est le modèle le plus adéquat aux conditions de la SONELGAZ ?**

Cela conduit à expliciter l'objet de notre travail qui consiste à accompagner les gestionnaires de la SONELGAZ dans leur prise de décision afin d'adapter un modèle Smart Grid qui concorde aux réalités du pays en se basant sur les expériences des pays qui ont déjà une longueur d'avance sur ces réseaux intelligents. Nous commençons dans le premier chapitre avec un aperçu sur la hiérarchie de groupe Sonelgaz et ses différents organes de gouvernance afin d'aboutir à comprendre qu'elle est la stratégie de prise de décision en terme des Smart grid qui doit être appliquée au sein de la Sonelgaz. Le deuxième chapitre de ce mémoire est consacré aux méthodes multicritères d'aide à la décision, à savoir : Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP) et les critères économiques à avenir incertain. Un intérêt particulier sera accordé à la méthode AHP, supposée comme un processus transparent et utile dans la résolution des conflits. Le troisième chapitre est réservé pour l'intégration de Smart grid, en donnant un aperçu sur les systèmes SCADA (Supervisory control and data acquisition), puis nous abordons le comptage intelligent et on finira le chapitre avec les avantages des Smart grids dans la réduction des investissements. Le quatrième chapitre fera l'objet d'une application, qui commencera d'abord par un aperçu sur l'électricité durable, la fiabilité et la sécurité du réseau qui seront deux critères à intégrer dans la méthode AHP, puis un tour du monde des plus grands projets smart grids et les visions développées par chaque groupe de pays, qui sera introduit en état d'art. Il s'agit d'introduire les différents critères qui accompagnent leurs objectifs régionaux, économiques et politiques. Puis on applique la méthode AHP pour l'étude de cas, les résultats et les discussions seront mis en exergue à la fin de ce mémoire.

# *Chapitre 1*

## *Aperçu sur la prise de décision au niveau de la SONELGAZ*

### **Introduction**

En Algérie, la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz sont confiés à une unique entreprise, SONELGAZ (Société Nationale de l'Electricité et du Gaz). Elle a été créée en 1969, en remplacement de l'entité précédente Électricité et Gaz d'Algérie (EGA). En 2002, le décret présidentiel N° 02-195, a convertit l'établissement public à caractère industriel et commercial Sonelgaz en holding de Sociétés par actions « Sonelgaz.spa » entièrement détenue par l'état, qui exerce par le biais de ses filiales les activités de production, de transport et de distribution de l'électricité et du Gaz

La loi N°02-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution de Gaz par canalisation stipule que l'état demeurera l'actionnaire de Sonelgaz.spa. Cette nouvelle loi consacre la démonopolisation de la production d'électricité et la distribution du Gaz par canalisation, les activités de la production d'électricité sont désormais ouvertes à la concurrence. Cette promotion donne ainsi à Sonelgaz la possibilité d'élargir ses activités à d'autres domaines relevant du secteur de l'énergie et aussi d'intervenir hors des frontières de l'Algérie [2].

La réorganisation de Sonelgaz en groupe industriel a connu un début de concrétisation avec la filialisation des activités liées à la production d'électricité, la gestion du réseau de transport d'électricité ainsi que la gestion du réseau transport du Gaz pour le marché national en donnant naissance à compter du premier Janvier 2004 aux trois filiales suivantes : SPE, GRTE et GRTG.

La distribution quant à elle est passée par une première phase de restructuration de l'activité en quatre directions générales se substituant à la direction centrale de la distribution depuis juillet 2004, elles sont appelées à devenir des filiales autonomes à partir de janvier 2006 [3].

Cette évolution de l'organisation de Sonelgaz en groupes industriels et la mise en place d'entités juridiquement autonomes favorisera la mise en place de relations contractuelles et donc une plus grande transparence et maîtrise des coûts.

La transformation de Sonelgaz en Groupe libère la maison-mère qui se recentre ainsi sur ses missions de pilotage des entités. Désormais, le cap stratégique est mis sur le développement industriel du Groupe à la faveur d'une meilleure efficacité de gestion et une concentration des efforts sur les vocations entrepreneuriales. L'année 2009 s'est distinguée par le début de la mise en œuvre de la stratégie de Sonelgaz en matière d'intégration nationale [4].

En juillet 2009, la société Rouiba Eclairage, le principal fournisseur national en matière d'éclairage public s'est associé au groupe Sonelgaz comme filiale, cette association divulgue les ambitions du groupe en matière des énergies renouvelables. La société a pour mission de développer une plateforme industrielle du solaire en produisant, d'ici à 2013 les premiers panneaux solaires fabriqués localement. l'objectif étant de mettre à la disposition du marché national des panneaux solaires, et d'arriver à l'horizon de 2020 à produire 600 mégawatts de capacité en solaire, soit l'équivalent de ce que consomme le Sud algérien aujourd'hui et la moyenne de consommation électrique du Nord algérien à l'indépendance [5].

Sonelgaz est aujourd'hui érigé en Groupe industriel composé de 35 filiales et 5 sociétés en participation. Ainsi, les filiales métiers de base assurent la production, le transport et la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz par canalisations [6].

Le processus de réorganisation amorcé au lendemain de la publication du décret présidentiel n° 02 - 195 a donné forme à une nouvelle gouvernance articulée autour de deux organes [4] :

L'Assemblée Générale et le Conseil d'Administration.

Le conseil d'administration est l'organe suprême dans la prise des décisions stratégiques qui concerne l'avenir du groupe, Il se tient au moins une fois par année et est présidé par le ministre chargé de l'énergie.

## **1.1 Description de la hiérarchie**

Nous vivons dans une société dont l'organisation est hiérarchisée, que ce soit dans le travail, la production, l'entreprise; ou dans l'administration, la politique, l'Etat ou encore dans la recherche scientifique. La hiérarchie n'est pas une invention de la société moderne. Ses

origines remontent loin bien qu'elle n'ait pas toujours existé, et qu'il y ait eu des sociétés non hiérarchiques qui ont très bien fonctionné. Mais dans la société moderne le système hiérarchique (ou, ce qui revient à peu près au même, bureaucratique) est devenu pratiquement universel. Dès qu'il y a une activité collective quelconque, elle est organisée d'après le principe, et la hiérarchie du commandement et du pouvoir coïncide de plus en plus avec la hiérarchie des salaires et des revenus.

### **1.1.1 Définitions**

Le concept de hiérarchie tiré des vocables grec *hieros* (« sacré ») et *archos* (« commencement », ou « ce qui est premier ») ou plus certainement *arkhê* (« pouvoir », ou « commandement ») s'applique à plusieurs domaines, physiques ou moraux [7].

#### **❖ Définition du dictionnaire**

Organisation d'un groupe, d'un ensemble tel que chacun de ses éléments se trouve subordonné à celui qu'il suit.

#### **❖ Étymologiquement parlant**

La notion de hiérarchie est basée sur le caractère plus ou moins sacré attribué à une personne, un concept ou une chose. C'est, au départ, un critère qui permet d'établir un ordre de supériorité ou de priorités. Ceci explique son usage fréquent dans les classifications mythologiques et théologiques, et permet de voir la cohérence existant avec le sens pris par ses acceptations actuelles [7].

#### **❖ Au sein d'une entreprise**

La hiérarchie est l'organisation des personnes. Qui a quel rôle, qui s'occupe de quoi, qui contrôle les activités de qui? Certains ont plus d'autorité que d'autres. Les employés dépendent toujours d'un "supérieur hiérarchique", c'est à dire quelqu'un qui a plus d'autorité et qui contrôle leur travail. Eux-mêmes dépendent de supérieurs, etc. jusqu'au grand patron de l'entreprise ! Dans une grande entreprise, les employés sont divisés en différents groupes ou "services", chacun est chargé d'un travail spécifique [8].

#### **- Gain dans les échelons**

La hiérarchie, c'est un peu comme une échelle imaginaire. Quand on commence dans une entreprise, on est généralement en bas de l'échelle et le grand patron est tout en haut. Entre les deux, se trouvent nos supérieurs hiérarchiques. L'avantage, c'est que plus les années ne passent, plus son expérience n'est grande. Du coup, on peut monter les échelons au fur et à mesure et, on peut aussi, devenir le supérieur hiérarchique de quelqu'un de qui on a envie !

#### **- Une toile d'araignée géante**

Dans une entreprise, tous les services fonctionnent ensemble car les employés dépendent les uns des autres. L'administration donne les ordres, la direction des ressources humaines (DRH) emploie les gens et les place dans l'entreprise, la fabrication fabrique le produit, la distribution le distribue, etc. Et si l'un des services ne fonctionne plus, les autres seront également bloqués. Finalement, c'est comme dans une toile d'araignée où tout est relié, si l'un des fils lâche, la toile dégringole !

### **1.1.2 La hiérarchie au sein de la Sonelgaz**

La gouvernance du Groupe Sonelgaz est articulée autour de deux organes principaux que sont l'Assemblée Générale et le Conseil d'Administration. La composition de ces deux organes est donnée ci-après telle que prévue par le décret présidentiel n°11-212 du 2 juin 2011. Par ailleurs le Groupe dispose d'un Comité Exécutif, d'un Comité d'Audit, d'un Comité de Coordination Groupe et d'un Comité d'Ethique (Organe consultatif) [9].

#### **1. L'Assemblée Générale**

Le Groupe Sonelgaz est doté d'une Assemblée Générale (AG). Elle est l'organe suprême où se prennent les décisions stratégiques concernant l'avenir du Groupe.

L'AG de la holding est composée de représentants de l'Etat propriétaire du capital social, à savoir : Le ministre chargé de l'énergie, le ministre chargé de l'intérieur et des collectivités locales, le ministre chargé des finances, le ministre chargé de la prospective, un représentant de la présidence de la république.

L'AG est présidée par le ministre chargé de l'énergie. Le Président Directeur Général de la société holding Sonelgaz assiste aux travaux de l'Assemblée Générale. Le secrétariat de l'AG est assuré par la société holding Sonelgaz. Aux prérogatives étendues énumérées dans les articles 9.2 et 9.3 des nouveaux statuts, l'AG statue notamment sur :

- La synthèse des programmes généraux d'activités de la société holding Sonelgaz ;
- Les plans de développement des sociétés filiales ;
- Les rapports des commissaires aux comptes;
- Le bilan social et les comptes de résultats ;
- L'affectation des résultats ;
- L'augmentation et la réduction du capital social ;
- La création de sociétés et prises de participation en Algérie et à l'étranger ;
- Et enfin, les sorties d'actifs de la société holding et des filiales conformément aux règles et procédures que l'Assemblée adopte.

## **2. Le Conseil d'Administration**

Organe collégial de gestion, le Conseil d'Administration (CA) contrôle l'exercice des activités au sein du Groupe Sonelgaz, notamment la réalisation de son projet social, tout en faisant respecter les lois et règlements en vigueur. Il examine, approuve et statue, le cas échéant, sur, notamment :

- Les orientations stratégiques ;
- Le processus décisionnel, notamment en matière de relations entre la société holding Sonelgaz et ses filiales et inter-filiales ;
- La synthèse des programmes généraux d'activités de la société holding Sonelgaz ;
- Le budget de la société holding Sonelgaz ;
- Les projets de bilan et de comptes de résultats de la société holding Sonelgaz ;
- Les projets de concours financiers ;
- Les projets de création de sociétés, de prises de participation tant en Algérie qu'à l'étranger ;
- La nomination des cadres dirigeants du Groupe et des cadres principaux des sociétés filiales.

Le CA est présidé par le Président Directeur Général de la société holding Sonelgaz et est composé des membres suivants :

- Le Président Directeur Général de la société holding Sonelgaz ;
- Deux représentants du ministre chargé de l'énergie ;
- Un représentant du ministre chargé des finances ;
- Un représentant du ministre chargé de la prospective ;
- Un représentant du ministre chargé des collectivités locales ;
- Un représentant du ministre chargé de l'industrie ;
- Un représentant du ministre chargé de l'environnement ;
- Deux représentants des travailleurs ;
- Le P-DG de la filiale chargée du transport de l'électricité de la société holding Sonelgaz ;
- Le P-DG de la filiale chargée du transport du gaz de la société holding Sonelgaz ;
- Le P-DG d'une filiale chargée de la production de la société holding Sonelgaz ;
- Le P-DG d'une filiale chargée de la distribution de l'électricité et du gaz de la société holding Sonelgaz. Les Présidents Directeurs Généraux des filiales ainsi désignées assistent aux travaux du CA avec voix consultative.

### **3. Le Comité Exécutif**

Le Comité Exécutif est l'organe supérieur d'aide à la décision et au pilotage. Présidé par le PDG de la société holding Sonelgaz, il est composé des cadres dirigeants responsables de fonctions stratégiques au niveau de la société holding ainsi que des Directeurs Généraux chargés des Activités des Industries Energétiques (DGIE), de Distribution et des Technologies Associées (DGDT), de Travaux et de Production Industrielle (DGTI), de Prestations de Services (DGPS), du Développement Industriel et de l'Intégration Nationale (DGDI).

### **4. Le Comité d'Audit**

C'est une instance indépendante à laquelle incombe la mission d'émettre des avis sur la qualité de la gestion de Sonelgaz. Le Comité d'Audit traduit la volonté de Sonelgaz d'être un Groupe transparent dans ses processus décisionnels et de gestion, l'objectif visé étant de

présenter au Conseil d'Administration des comptes de gestion marqués du sceau d'un processus de contrôle et de bonne gouvernance.

Il est composé de quatre (4) membres nommés par le Conseil d'Administration.

### **5. Le Comité de Coordination Groupe**

Composé des membres du Comité Exécutif ainsi que de tous les P-DG des filiales du Groupe Sonelgaz et présidé par le P-DG de la société holding Sonelgaz, le Comité de Coordination Groupe (CCG) est chargé principalement de la coordination générale des activités assurées par l'ensemble des filiales du Groupe (tableaux de bord trimestriels, ...).

### **6. Le Comité d'Ethique**

Le Comité d'Ethique des sociétés du Groupe Sonelgaz a été institué par décision du 15 mars 2011. Le Conseil d'Administration de Sonelgaz, dont il est une instance consultative, a approuvé sa composante le 12 juin 2011 (un président et quatre membres).

Il a pour missions principales de promouvoir les pratiques éthiques au sein des sociétés du Groupe Sonelgaz et de veiller au respect et à l'évolution des dispositions du code de l'éthique.

Le code d'éthique pour les sociétés du Groupe adopté, réaffirme, entre autres, les valeurs essentielles (valeurs et pratiques saines de gestion, engagements et comportements de loyauté et d'intégrité) vis-à-vis des clients, fournisseurs et prestataires, collaborateurs, partenaires publics ou privés, et plus généralement vis-à-vis de la société civile.

#### **1.1.3 Schéma organisationnel du groupe Sonelgaz**

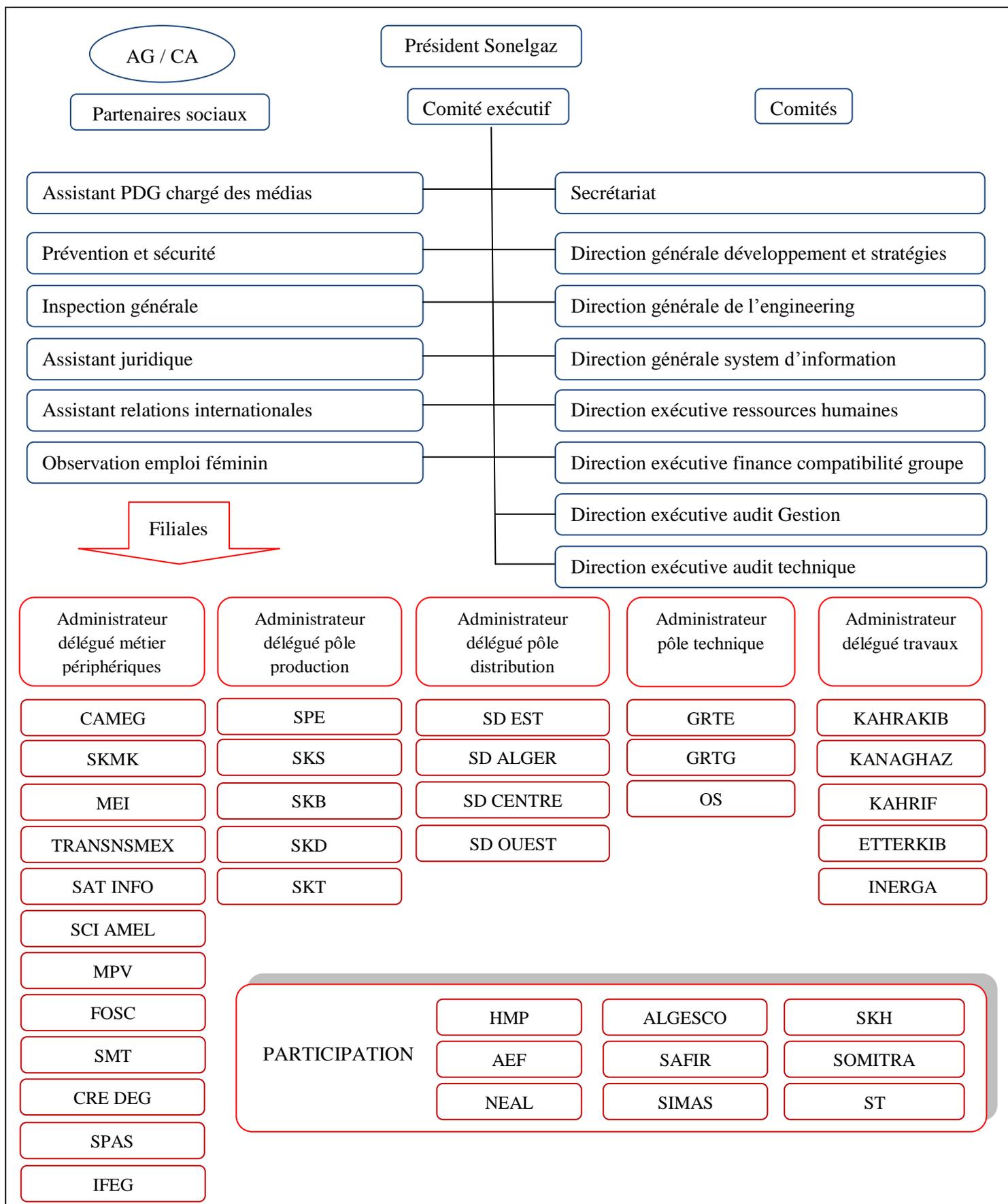


Fig.1 : Schéma organisationnel et fonctionnel du groupe Sonelgaz pour l'année 2010 [10]

## **1.2 Définition du groupe d'experts**

La fonction de l'expert consiste à résoudre un problème ou porter un diagnostic sur un cas dont la technicité excède le savoir propre de celui qui le sollicite.

Les experts de la Sonelgaz ou les détenteurs d'informations liées aux compétences spécifiques qu'ils possèdent, jouent donc un rôle essentiel pour favoriser ces échanges. Dans le groupe leur mission est très centrée sur ce rôle d'agent de communication, chargé de conseiller, d'informer, et d'animer des réseaux. Les experts interrogés semblent avoir bien intégré ce rôle, et les compétences relationnelles (information, conseil, formation) sont celles qu'ils mentionnent spontanément le plus comme compétences requises dans leur métier.

Dans une entreprise de haute technologie comme la Sonelgaz, confrontée à un environnement instable et complexe, la littérature laissait présager une forte reconnaissance des fonctions d'expert, bénéficiant d'une assez grande autonomie. Nous avons en effet trouvé, du moins dans les documents publiés et dans le discours des responsables, une organisation faisant une large place aux experts : ils ne sont pas limités au domaine scientifique, ils peuvent évoluer sur une filière spécifique, ils bénéficient de formations adaptées, et ils font l'objet d'une "charte" interne précisant leurs missions et leurs responsabilités.

Les experts considèrent qu'ils travaillent dans des conditions satisfaisantes, mais les possibilités offertes en termes de rémunération ou de statut ne sont pas toujours à la hauteur de leurs attentes. Ils souhaitent avoir encore plus d'occasions d'utiliser et de développer leurs connaissances, et surtout de disposer de temps libre pour mettre en œuvre leurs propres idées ou se consacrer à des activités extra-professionnelles. La possibilité d'utiliser et de développer les connaissances ressort comme une priorité, mais les experts de cette entreprise ne sont pas des "électrons libres", qui valoriseraient l'autonomie et la spécialisation technique au détriment de leur attachement à l'organisation [11].

### **1.2.1 Rôle de l'expert**

La méthode est approuvée par l'expérience de nombreuses années de pratique. Mais bien qu'elle soit considérée comme robuste au regard de l'usage qui en est prévu, sa maîtrise nécessite des connaissances, le savoir-faire et de l'expérience qui restent l'affaire d'ingénieurs spécialistes. Ainsi, ces experts sont à même de : trier toutes les données disponibles pour retenir celles qui sont pertinentes, connaître les ordres de grandeur pour détecter les

incohérences des données, connaître les outils et les modèles pour choisir les mieux adaptés, faire les approximations nécessaires pour simplifier les calculs sans altérer les résultats, vérifier et interpréter les résultats pour proposer des solutions efficaces [11].

❖ **Conseiller et orienter les différents niveaux de décision**

- Informer dans les domaines scientifique, technique ou tertiaire : analyse, évaluation et intérêt pour le Groupe.
- Animer des réseaux de relations dans leurs disciplines, amorcer des coopérations.
- Conseiller les responsables de programmes.

Ces missions mettent l'accent sur le rôle de l'expert comme agent de communication au niveau de chacune des trois composantes de leur métier, la composante stratégique, la composante opérationnelle, et la composante relationnelle. Il est précisé que l'expert a une responsabilité particulière dans la capitalisation et la transmission de l'expérience et des connaissances, et qu'il intervient à tous les stades de la réalisation d'un programme, depuis la prospective jusqu'à la réalisation, l'évaluation et la maintenance. Il a pour devoir de développer sa compétence par des études personnelles, mais aussi des formations internes, des conférences, des publications, et toutes sortes de contacts extérieurs. Au-delà de ses compétences techniques, il lui est demandé de posséder de bonnes compétences relationnelles, mais aussi d'avoir une bonne culture économique et juridique et une bonne connaissance de l'organisation [11].

### **1.3 Y-t-il une stratégie dans la prise de décision ?**

L'entreprise en tant que structure socialement organisée suppose que soient définies les modalités de la prise de décision dans son organisme. Cette action repose entre autre sur les informations détenues par les décideurs qui leur permettent de prendre des décisions en adéquation avec les objectifs poursuivis par l'entreprise. Pour étudier comment une entreprise prend une décision, il faut se poser un certain nombre de questions relatives à la définition même de la notion de décision.

#### **1.3.1 Qu'est-ce qu'une décision ?**

On peut définir la décision comme étant un « acte par lequel un ou des décideurs opèrent un choix entre plusieurs options permettant d'apporter une solution satisfaisante à un problème donné ».

Au sens classique du terme on assimile la décision à l'acte par lequel un individu (disposant du pouvoir de décider) prend les mesures favorisant la création et la répartition des richesses dans une entreprise en s'appuyant sur un ensemble d'informations à sa disposition sur le marché [12].

### **Les évolutions du concept de décision**

La décision n'est plus un acte unique et constant fondé sur la recherche du profit mais repose sur un ensemble successif de décisions de moindre portée. La décision n'est plus fondée sur la recherche d'un seul objectif mais intègre un nombre plus important de variables. La décision intervient dans un contexte plus aléatoire dans le sens ou la manière d'atteindre l'objectif poursuivi peut passer par différents types d'actions. Ces évolutions sont compréhensibles car elles ne font que souligner les mutations du système productif : l'environnement de l'entreprise est devenu plus complexe, plus incertain aussi et la prise de décision ne repose plus sur un seul individu mais peut être partagée entre un nombre élevé d'acteurs agissant au sein de l'entreprise. Cette multiplication du nombre de décideurs reflète par ailleurs la diversité des décisions qui doivent être prises dans une entreprise [12].

### **1.3.2 Les différents types de décisions possibles**

On distingue traditionnellement trois grands types de décisions qui doivent être prises dans une entreprise [12]:

#### **1. Les décisions stratégiques**

Les décisions stratégiques engagent l'entreprise sur une longue période puisqu'elles conditionnent la manière dont l'entreprise va se positionner sur un marché afin de retirer le maximum de profit des ressources qu'elle mobilise. On cherche alors à répondre à la question essentielle de l'entreprise : « quoi produire ? » et son corollaire qui est « quels moyens mettre en œuvre de manière efficace pour produire ? ». En définitive, il s'agit de définir la manière dont l'entreprise va s'insérer dans son environnement.

#### **2. Les décisions administratives ou tactiques**

Les décisions administratives doivent alors permettre de définir comment les ressources de l'entreprise doivent être utilisées pour parvenir à réaliser les objectifs définis dans le cadre des

décisions stratégiques. Il s'agit alors d'organiser la collecte et l'affectation des ressources matérielles, humaines, financières et technologiques au sein de l'entreprise.

### 3. Les décisions opérationnelles

Ces décisions s'appliquent dans le cadre de la gestion courante de l'entreprise et concerne l'utilisation optimale des ressources allouée dans le cadre du processus productif de l'entreprise (gestion des stocks, gestion de la production...).

#### 1.3.3 Caractéristiques des différents types de décision

La classification par l'entreprise des différentes décisions (stratégiques, tactiques et opérationnelles) est importante car elle conditionne l'élaboration des processus internes de prise de décisions adaptés à leurs spécificités [13].

<b>Caractéristiques</b>	<b>Stratégique</b>	<b>Tactique</b>	<b>Opérationnelle</b>
<b>Domaine de la décision</b>	Relations avec l'environnement	Gestion des ressources	Utilisation des ressources dans le processus de transformation
<b>Horizon de temps</b>	Long terme	Moyen terme	Court terme
<b>Effet de la décision</b>	Durable	Bref	Très bref
<b>Réversibilité de la décision</b>	Nulle	Faible	Forte
<b>Procédure de décision</b>	Non programmable	Semi programmable	Programmable
<b>Niveau de la prise de décision</b>	Direction générale	Directions fonctionnelles	Chefs de services, chefs d'atelier
<b>Nature des informations</b>	Incertaines et exogènes	Presque complètes et endogènes	Complètes et endogènes

*Tableau 1 : Caractéristiques des différents types de décision [13]*

### 1.3.4 Processus de prise de décision

Dans les années 60, un schéma très général expliquant le processus mental de la prise de décisions a été proposé. Dans ce modèle, le processus de résolution d'un problème passe par quatre phases bien distinctes. [14]

**1) La phase de compréhension et de perception du problème :** Il s'agit pour le décideur de procéder à une analyse détaillée et précise du problème. Il faut observer l'environnement dans lequel évolue l'entreprise pour détecter les situations qui nécessitent une prise de décision. La phase de Compréhension et de Perception du problème comprend trois dimensions qui sont présentées dans le tableau ci-dessous :

<b>Perception d'une situation décisionnelle</b>	<b>Recherche d'informations</b>	<b>Perception des composantes du problème</b>
Le décideur doit prendre conscience de la nécessité de la prise de décisions	Cette démarche doit être facilitée par l'utilisation d'un système d'information	Le décideur doit tenir compte des objectifs suivis et des contraintes pour cerner le véritable problème

Tableau 2 : Les trois dimensions de la phase de compréhension du problème

**2) La phase de conception :** Lorsque le problème a été identifié, on peut passer à la deuxième phase : la phase de conception. Cette étape du processus de décision conduit le décideur à recenser toutes les solutions envisageables pour résoudre le problème. Dans un premier temps, le décideur organise et structure les informations recueillies. Dans un second temps, il confronte ce problème à ses objectifs et met en évidence les écarts entre situation réelle et situation souhaitée. Enfin, il recense les différentes alternatives avec leurs avantages et inconvénients.

**3) La phase de sélection :** La phase de sélection consiste à sélectionner la meilleure solution en tenant compte des contraintes concrètes (objectifs préétablis) et abstraites (Intuition du décideur...). Cette phase est généralement courte mais retardée en raison de l'appréhension du décideur. Le développement de l'intelligence artificielle et des techniques d'aide à la décision peut jouer un rôle considérable dans la sélection de la solution, même si le décideur est le seul responsable.

4) *La phase d'évaluation* : Cette dernière vise à confirmer le choix effectué ou à remettre en question le processus de décision en réactivant l'une des trois phases précédentes. Après l'ultime phase d'évaluation, la décision retenue est concrétisée sous la forme de programmes d'actions, diffusés auprès des personnes et services concernés. L'application et les effets de la décision pourront être contrôlés. Ce contrôle confirmera ou infirmera le bien-fondé de la décision.

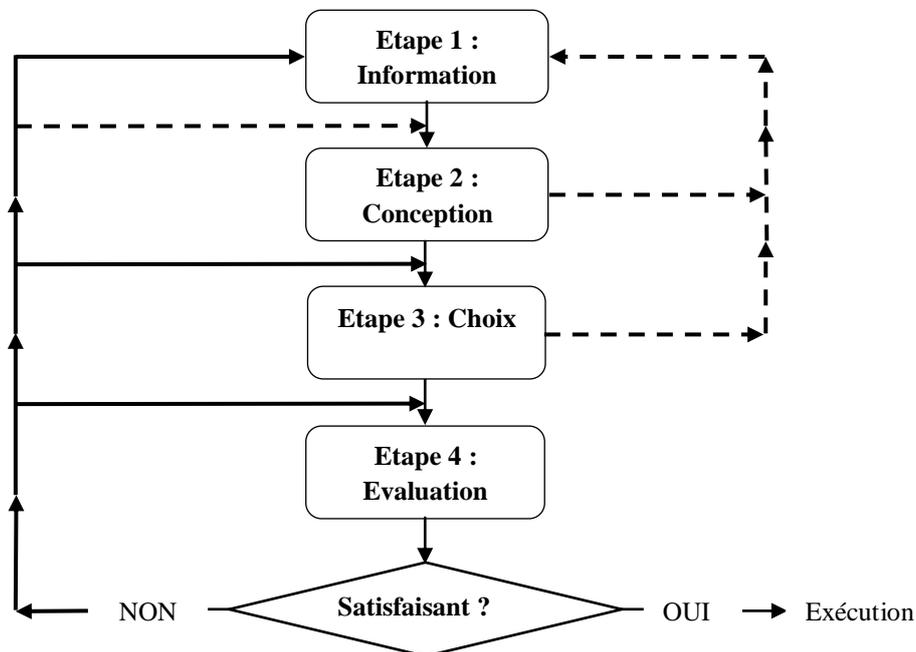


Fig. 2 : Modèle de processus décisionnel [15]

### 1.3.5 La prise de décision dans le cas d'un projet Smart grid

Les projets smart grids sont une composante essentielle dans le développement durable en général et dans l'électricité durable en particulier. Un des objectifs est d'assumer l'efficacité énergétique où l'on distingue plusieurs aspects relatifs à la maîtrise de la construction visant l'économie d'énergie, deux domaines relevant du Génie civil et de la finance. Il y a lieu d'assurer la régulation et la réglementation, un volet relevant du juridique. Par rapport au domaine du génie électrique, on souligne le volet relatif à la gestion de la maintenance, de la télémessure, c'est-à-dire de la télégestion. Donc, le projet smart grid est global, il est pris en charge par un groupe de travail constitué d'experts de plusieurs spécialités.

**Conclusion**

Dans toute entreprise, des décisions sont souvent prises et qui vont conditionner et orienter son avenir. Il y a ainsi des décisions de financement, des décisions d'investissement, ou encore des décisions d'exploitation. Les dirigeants prennent les décisions stratégiques alors que les responsables des sous-systèmes prennent les décisions techniques ou tactiques. Les chefs d'équipes, quant à eux, prennent les décisions de régulation (ou décisions opérationnelles). Les exécutants prennent les décisions d'exploitation. Concernant celles relatives aux smart grids, et par rapport à Sonelgaz, avant qu'elles soient entérinées par le conseil d'administration de l'entreprise, l'avant-projet doit être conçu par des experts de différents domaines, à savoir : le technique, l'environnement, l'économique et surtout le financier. Donc, les décideurs auront à leur disposition des variantes permettant d'atteindre les objectifs sous contraintes de critères spécifiques aux conditions de l'entreprise.

# Chapitre 2

## *Méthodes multicritères d'aide à la décision*

### **Introduction**

Les méthodes multicritères d'aide à la décision regroupent des méthodes permettant d'agréger plusieurs critères avec l'objectif de sélectionner une ou plusieurs actions, options ou solutions. Contrairement aux techniques classiques de la recherche opérationnelle les méthodes multicritères ne fournissent pas de solution (objectivement les meilleurs), c'est pourquoi le mot *AIDE* paraît important.

#### **Introduction à l'aide multicritères à la décision**

L'aide à la décision multicritère constitue une branche d'étude majeure de la recherche opérationnelle impliquant plusieurs écoles de pensée, principalement américaine avec les travaux de Thomas L. Saaty et européenne avec ceux de Bernard Roy et du LAMSADE (Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision). Il s'agit de méthodes et de calculs permettant de choisir la meilleure solution ou la solution optimale parmi tout un ensemble de solutions, l'alternative de type OUI-NON n'étant qu'un cas particulier du cas général [16].

Les problématiques de référence d'aide multicritère à la décision sont [17]:

- ***Un choix ou une procédure*** : Eclairer la décision par le choix d'un sous ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous ensemble contenant des meilleurs actions (optimums) ou, à défaut, des actions satisfaisantes.
- ***Un tri ou procédure d'affectation*** : Eclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie.

- *Un rangement ou une procédure de classement* : Eclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie les « plus satisfaisantes » des actions en classes d'équivalences, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.
- *Une description ou une procédure cognitive* : Eclairer la décision par description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.

### Méthodes d'analyse multicritère

De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon choix. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur, et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit créer ce choix.

L'objectif des méthodes multicritères est ainsi d'aider à prendre une décision (ou à évaluer entre plusieurs solutions, sans avoir forcément le choix à effectuer au final dans les situations de choix où aucune possibilité n'est parfaite; et où différents critères entrent en conflit. L'idée de base est de considérer tous les critères entrant en compte; leur attribuer un poids lié à leur importance relative; de noter chaque action par rapport à tous les critères; et finalement d'agréger ces résultats. Le concept de pondération et agrégation est toutefois utilisé par toutes les méthodes d'analyse multicritère [18].

Toutes ces méthodes multicritères passent par les étapes suivantes [19]:

- Identifier l'objectif global de la démarche et le type de décision
- Dresser la liste des actions ou solutions potentielles
- Identifier les critères ou standards qui orienteront les décideurs
- Juger chacune des solutions par rapport à chacun des critères
- Agréger ces jugements pour choisir la solution la plus satisfaisante

Un grand nombre de méthodes ont été étudiées, les plus connues sont [19]:

- **WSM** (*Weight Sum Method*)
- **WPM** (*Weight Product Method*)
- **AHP** (*Analytic Hierarchy Process*)
- **ANP** (*Analytic Network Process*)
- **ELECTRE**(*Outranking method* )

Plusieurs méthodes existent encore dans la littérature dans le cadre de notre travail nous allons présenter trois types de méthodes multicritères dont : l'AHP, l'ANP, et les critères économiques à avenir incertain.

## 2.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

### 2.1.1 Présentation de la méthode

La méthode AHP est un outil d'aide à la décision. La méthode permet notamment aux dirigeants de structurer les problèmes complexes auxquels ils sont confrontés en émettant des jugements selon leur expérience et les données informationnelles disponibles. Son application est simple, elle peut se faire par un individu seul ou en groupe [20].

Pour comprendre l'AHP, il faut d'abord connaître la signification de chacun des trois mots qui la constitue ; Analytic (Analyse), Hierarchy (Hiérarchie), Process (processus) [17] :

- **Analytic « Analyse »** : Signifie la séparation d'entité en ses éléments constitutifs. L'analyse est à l'opposé de la synthèse, qui implique de remonter ou de combiner des pièces pour en faire une entité. Dans ce sens, AHP devrait s'appeler la procédure de synthèse hiérarchique par ce que de par son principe, AHP nous aide à mesurer et synthétiser la multitude de facteurs impliqués dans des décisions complexes.
- **Hierarchy « Hiérarchique »** : les grands organismes sont presque universellement hiérarchiques en structure. Cela veut dire, ils sont divisés en unités qui sont subdivisées en plus petites unités, qui sont, à leur tour, subdivisées et ainsi de suite. La subdivision hiérarchique n'est pas une caractéristique particulière aux organismes humains. Elle est commune pratiquement à tous les systèmes complexes. La hiérarchisation est une approche adaptée pour que l'intelligence puisse faire face à la complexité.
- **Process « Procédure »** : Une procédure est une série d'actions, de transformation, ou de fonctions qui génère une fin ou un résultat. La procédure d'analyse hiérarchique (AHP) n'est pas une formule magique ou un modèle qui aboutit la bonne réponse, mais plutôt un processus qui aide le décideur dans sa quête pour prendre la meilleure décision.

### ➤ Axiomes de la méthode AHP

Toutes les théories se basent sur un ensemble d'axiomes. Au départ AHP était basée sur trois axiomes simples [21]:

1. **Axiome de réciprocité** : requiert que si,  $P_c(E_A, E_B)$  est la comparaison par paire de l'élément  $A$  et  $B$  tout en respectant leur élément parent, élément  $C$ . il représente combien de fois l'élément  $A$  est plus important que l'élément  $B$ , alors  $P_c(E_B, E_A)$  sera égale à  $\frac{1}{P_c(E_A, E_B)}$
2. **Axiome d'homogénéité** : stipule que les éléments comparés ne devraient pas différer trop, sinon il y'aura une grande erreur de jugements. Lors de la décomposition hiérarchique des objectifs, on devrait essayer d'arranger les éléments dans un faisceau de sorte qu'ils ne diffèrent pas par plus qu'un ordre de grandeur.
3. **Axiome d'indépendance** : annonce que les jugements ou les priorités des éléments ne dépendent pas des éléments plus bas dans la hiérarchisation. Cet axiome est indispensable pour appliquer la décomposition hiérarchique.

#### 2.1.2 Les étapes du Processus de la Hiérarchie Analytique

Pour prendre une décision d'une manière organisée et pour générer des priorités nous devons au premier temps définir le problème et déterminer le type des connaissances recherchées puis de décomposer la décision en étapes, ces étapes sont illustrées sur la figure 3.

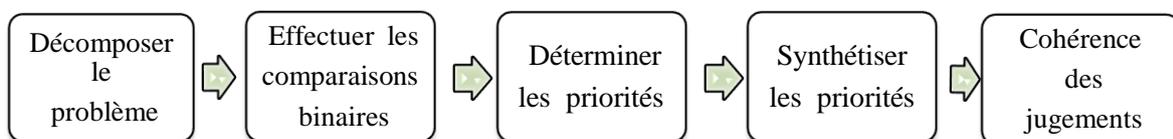


Fig.3 : Démarches à suivre dans la méthode

#### 1. Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique

Le point de départ de la méthode est de définir une arborescence hiérarchique avec l'objectif cible ou le but de la décision au sommet (niveau 1), puis identifier les critères qui influencent la décision (niveau 2). Et les sous-critères s'il y a lieu, le niveau de la hiérarchie comprendra les différentes solutions de rechange ou les alternatives, choisies au préalable [19].

Ces trois catégories de données constituent chacune un niveau dans la représentation hiérarchique. Un problème est constitué au minimum de trois niveaux. Les personnes qui

l'utilisent doivent provenir du milieu pour porter des jugements et avoir une connaissance suffisante et valable.

On représente les différentes arborescences des hiérarchisations sur les schémas qui suivent [17]:

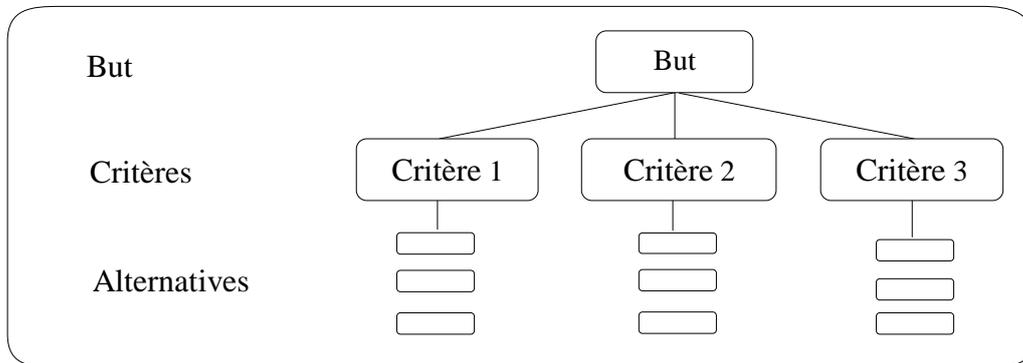


Fig.4 : Arborescence d'une hiérarchisation simple

**But** : C'est la précision et la formulation de l'objectif global.

**Critère** : Il est placé dans le premier niveau de l'arborescence. Cette première décomposition de l'objectif global en entités, dites critères, exerçant une influence sur ce but sans intermédiaire. Ils sont supposés indépendants.

**Alternatives** : Toutes les solutions de rechange réalisables qui sont disponibles pour atteindre le but final ou bien c'est l'ensemble des objets, candidats, alternatives...que l'on va explorer dans le processus de décision.

D'autres types d'hiérarchisations sont utilisés. Quand des sous critères sont inclus, permettant plus de détails, on ajoute un niveau de l'arborescence.

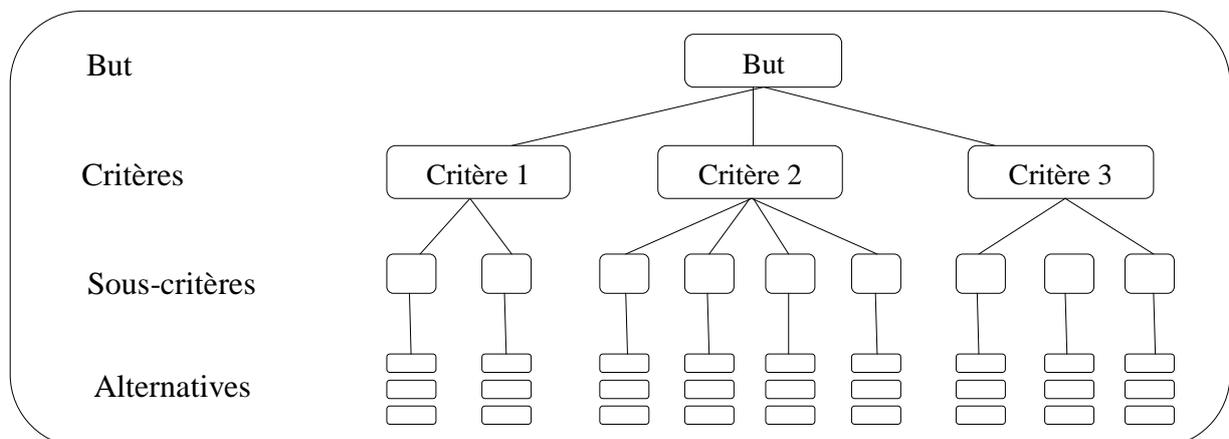


Fig.5 : La hiérarchisation avec des sous critères

Dans le cas où les préférences des critères et des alternatives dépendent des conditions de future, qui très difficile à cerner, on recourt à une modélisation par scénarios, chose permise par l'AHP.

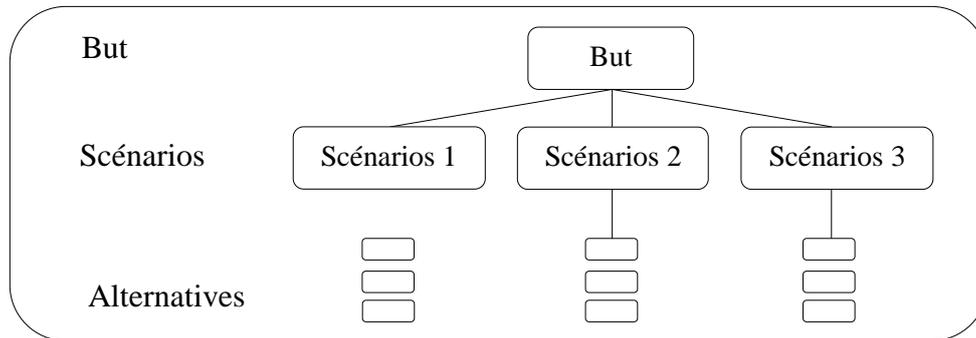


Fig.6 : Arborescence des scénarios

**2. Effectuer les comparaisons binaires (comparaison deux à deux)**

En arrangeant le problème en modèle hiérarchique, on procède à l'étape de comparaison. Il s'agit à cette étape de comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur en attribuant une note chiffrée sur une échelle prédéfinie (voir le tableau 1) à la façon dont on ressent la différence entre les deux critères [17].

Cette étape est une opportunité pour le(s) décideur(s) de donner leur(s) jugements, ce qui caractérise la méthode AHP des autres méthodes, cette comparaison s'appellent comparaisons par paires (pairwise comparaisons).

Intensité de la référence	Valeur associée
Importance égale des deux critères	1
L'importance d'un critère est jugé légèrement supérieure à celle d'un autre	3
L'importance d'un critère est jugé fortement supérieure à celle d'un autre	5
L'importance d'un critère est attesté supérieur à celle d'un autre	7
Un critère est supérieur de façon absolue à un autre	9
Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	2, 4, 6, 8

Tableau 3 : Echelle relative de Saaty [22]

Le matrice de comparaison est sous la forme suivante :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{w_2}{w_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ou

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La relation entre les poids  $W_i$  et les jugements  $a_{ij}$  est donné par la relation suivante [23] :

$$a_{ij} = \frac{W_j}{W_i} \quad (3)$$

### 3. Détermination des priorités

Une fois cette matrice remplie, on va ensuite effectuer trois calculs nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités [24] :

- **Additionner les colonnes de la matrice** : Tous les éléments d'une même colonne sont additionnés;
- **Normaliser la matrice** : Chaque entrée de la matrice est divisée par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entre les éléments;
- **Calculer la moyenne des lignes** : Tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée sont additionnés et ensuite divisés par le nombre d'entrées qu'elle comporte. On obtient un vecteur qui s'appelle le vecteur de priorité, chaque valeur de ce vecteur représente le poids du critère correspondant par rapport à l'objectif cible. « Plus cette valeur est grande, plus le critère correspondant est important ».

### 4. Synthétisation des priorités

Dans cette étape on construit une matrice combinée contenant les critères (Vecteurs propres des

critères qui sont disposés horizontalement, voir le tableau 4 ) et les alternatives (vecteurs de priorité des options comparés a chaque critère). On trouve les poids pondérés en additionnant les produits des poids de chaque critère par le poids de chaque alternative par rapport à chaque critère. Enfin on obtient un vecteur des priorités des alternatives par rapport a l'objectif cible ou bien le but, et la meilleure action est celle ayant le poids maximal.

Critères $\Rightarrow$	A	B	C	D	
[Y] vecteur propre des critères	■	■	■	■	Choix optimal $\sum [ X * Y ]$
Alternative 1	■	■	■	■	■
Alternative 2	■	■	■	■	■
Alternative 3	■	■	■	■	■
	[X] vecteurs propres normalisés de chaque option en regard au critère				Le plus élevé est le Meilleur

Tableau 4 : Synthétisation des résultats [24]

**Cohérence des jugements**

La cohérence des résultats doit également être vérifiée pour chacune des matrices d'évaluation A en calculant un indice appelé indice de cohérence CI, il permet d'évaluer les calculs effectués, en d'autres termes, il permet de vérifier si les valeurs de l'échelle (1-9) attribuées par le décideur sont cohérentes ou non, on peut calculer un indice de cohérence pour une matrice donnée par la relation suivante [25] :

$$CI = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} \tag{4}$$

n : nombre d'éléments comparés

$\lambda_m$  : valeur propre maximale. On calcule  $\lambda_m$  en résolvant l'équation suivante :

$$\det (A - \lambda I_d) = 0 \tag{5}$$

$I_d$  : est la matrice identité.

Plus l'indice de cohérence CI devient grand et plus les jugements de l'utilisateur sont incohérents et vice versa.

$CI$  est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation. Le ratio de cohérence est ensuite calculé en utilisant la formule qui suit [25] :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Où  $RI$  est un indice de cohérence obtenu par un grand nombre de simulations. Il est donné dans le tableau 5.

Si  $CR > 0.1$  il est recommandé que le décideur révise quelques jugements.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tableau 5 : Random Index [25]

### Causes d'incohérence [17]

- (a) Faute d'écriture : La plus répandue des causes est une erreur de saisie.
- (b) Manque d'informations : Si une information nous manque sur les facteurs comparés alors le jugement va être un peu aléatoire.
- (c) Manque de concentration : Il arrive parfois que la personne est fatiguée au moment de comparer, ou bien elle n'est pas intéressée par la décision.
- (d) La réalité n'est pas toujours cohérente : La réalité n'est pas souvent complètement cohérente, et quelque fois fortement incohérente. Le meilleur exemple est tiré du sport : quand une équipe A bat l'équipe B et B gagne sur l'équipe D, la logique veut que A bat D mais la réalité n'est pas toujours vraie car il arrive que D batte A.
- (e) Un modèle structurel inadéquat : Il arrive que la décomposition en arborescence du problème n'est pas adéquate car les facteurs comparables, sera de deux ordres (violation de deuxième axiome).

### Analyse de sensibilité

A ce niveau le but recherché, le classement est constitué mais que se passera-t-il si un paramètre d'entrée (jugement) est modifié ? Réaliser cette étape va permettre de cerner le degré de sensibilité aux objectifs de la solution finale. Ce qu'on aura à faire sera de perturber les priorités des objectifs, puis constater les changements survenus sur le classement et enfin apprécier ces constatations.

## 2.2 Analytic Network Process ANP

Beaucoup de problèmes de décision ne peuvent pas être structurés hiérarchiquement lorsque l'interaction d'éléments de niveau supérieur avec des éléments de niveau inférieur et leurs dépendances doivent être prise en compte. C'est pourquoi L'ANP (Processus d'Analyse Réseau) a été développée. Il fournit une solution pour les problèmes qui ne peuvent être structurés hiérarchiquement. Non seulement l'importance des critères détermine l'importance des alternatives, comme dans une hiérarchie, l'importance des alternatives déterminent eux-mêmes l'importance des critères. Par conséquent, bon nombre de problèmes peuvent être modélisés à l'aide d'un schéma appelé « réseau ».

### 2.2.1 Description

Le Processus du Réseau Analytique (ANP), introduit par Saaty (2005, 2006) est une généralisation du Processus de la Hiérarchie Analytique (AHP) (Saaty, 1980) et il est maintenant considéré l'une des méthodes multicritères les plus complètes. L'ANP est devenu populaire récemment, parce qu'il autorise les deux interactions entre les éléments d'un même groupe (dépendance intérieure) et les interactions entre les groupes (dépendance externe) pour capturer la complexité de la réalité. Voir figure 7 [26].

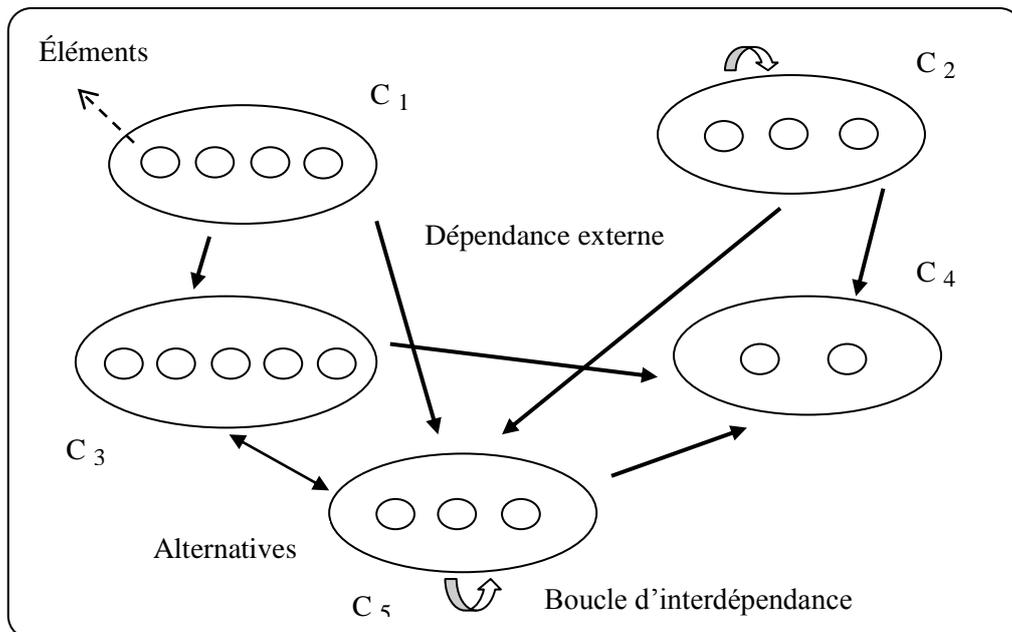


Fig. 7 : Connections dans un réseau [27]

Opérativement, l'ANP est structurée comme un réseau pour représenter le problème, elle est basée aussi sur les comparaisons par paire pour établir le rapport dans la structure. Les applications de l'ANP sont maintenant assez communes dans beaucoup de champs : politique, logistique, économie et finance. Son processus d'application peut être résumé dans cinq phases principales [26]:

**Etape 1 : structuration du problème de la décision et construction du modèle.**

Il y a deux types de modèles qui peuvent être développés dans la technique ANP : le modèle du réseau complexe et le modèle structuré simple. Le réseau "simple" est une approche de la modélisation libre qui n'est pas supportée par n'importe quel guide ou structure prédéterminée. Il consiste en un réseau qui a des cycles qui relient ces composants et des boucles qui relient un composant à lui-même. Le réseau "complexe", ou le réseau BOCR (Bénéfices, Opportunités, Coûts, Risques), autorise la simplification du problème structuré et la classification des questions dans des catégories traditionnelles des aspects positifs et négatifs.

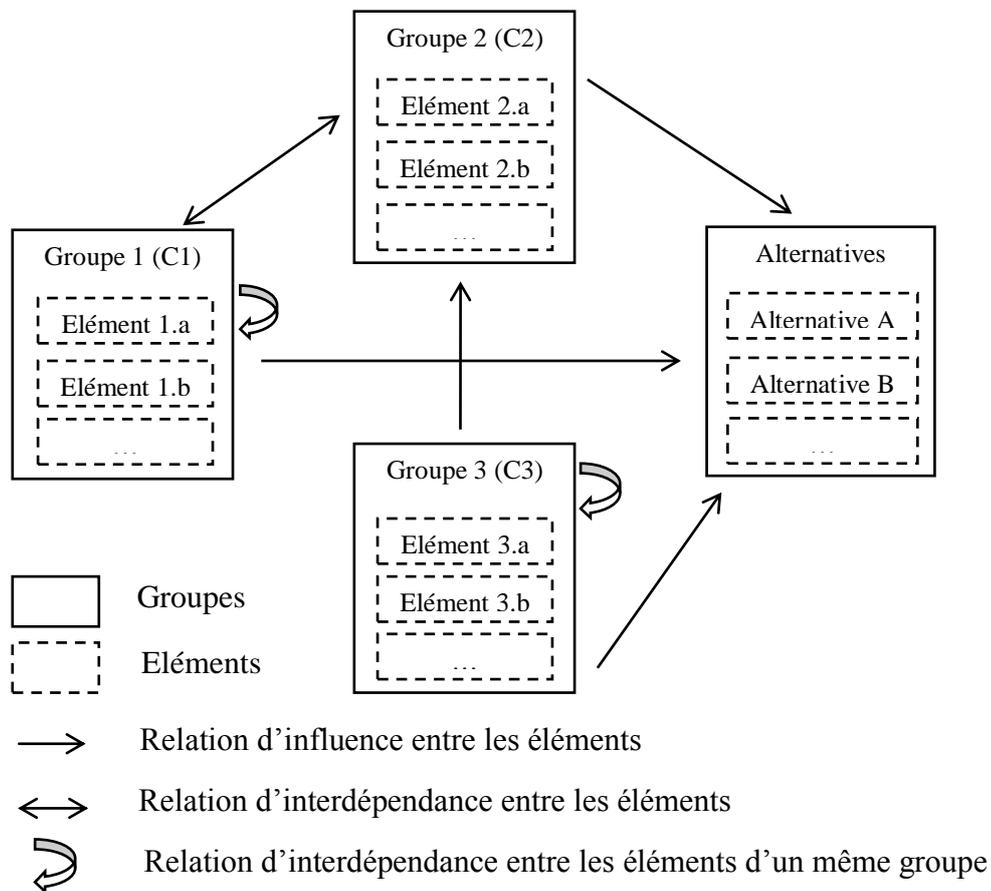


Fig. 8 : Exemple d'une structure réseau avec des groupes et éléments

**Etape 2 : comparaison par paire (pairwise comparison)**

Dans cette étape, des séries de comparaisons par paire seront faites pour établir l'importance relative des différents éléments avec le respect de certains composants du réseau. Dans le cas d'interdépendances, les composants avec le même niveau sont vus comme des composants dirigeants de chacune des autres (l'un influence l'autre). Dans les comparaisons par paire, une échelle de 1 à 9 est utilisée pour donner des jugements, en traduisant des variables qualitatives en valeurs numériques. (Voir tableau 2 : échelle de comparaison de Saaty).

**Etape 3 : Formation de la super-matrice**

Pendant le développement de la technique ANP, trois super-matrices différentes sont extraites:

1. la super matrice non-pesée (initiale).
2. la super matrice pesée qui est stochastique (aléatoire). Elle est obtenue en multipliant les valeurs de la super matrice non-pesée par le poids des groupes. De cette façon il est possible de considérer le niveau de la priorité assigné à chaque groupe.
3. la super matrice limite est la dernière matrice de l'analyse obtenue en multipliant la super-matrice pesée plusieurs fois, en prenant en considération les influences indirectes. La super matrice limite représente le vecteur de la priorité de tous les éléments de l'analyse.

Les éléments de la super matrice tiennent compte de la résolution d'interdépendances qui existe parmi les éléments du système. C'est une portion de matrice où chaque sous matrice est composée d'un ensemble de rapports entre et dans les niveaux comme représenté à l'étape 1. La forme générale de la super-matrice est décrite dans le tableau 7 ; où  $C_N$  dénote le groupe  $N$ ème ( $N$  : nombre des groupes),  $e_{Nn}$  dénote l'élément  $n$ ème dans le groupe  $N$ ème, et  $W_{ij}$  sont des blocs de matrice qui consistent en vecteurs du poids de la priorité de l'influence des éléments dans le  $i$ ème groupe avec le respect du  $j$ ème groupe. Si le  $i$ ème groupe n'a aucune influence au  $i$ ème groupe lui-même,  $W_{ij}$  deviendra des zéros. La super-matrice obtenue dans cette étape est appelée « super-matrice initiale ».

Le vecteur propre obtenu par la comparaison des groupes et qui concerne le contrôle des critères est appliqué à la super matrice initiale comme poids du groupe. Cela résulte en une matrice chargée d'un poids (c'est la matrice pesée).

		C <sub>1</sub>				C <sub>2</sub>				...	C <sub>N</sub>			
		e <sub>11</sub>	e <sub>12</sub>	...	e <sub>1n1</sub>	e <sub>21</sub>	e <sub>22</sub>	...	e <sub>2n2</sub>		e <sub>N1</sub>	e <sub>N2</sub>	...	e <sub>NnN</sub>
C <sub>1</sub>	e <sub>11</sub>	W <sub>11</sub>				W <sub>12</sub>				...	W <sub>1N</sub>			
	e <sub>12</sub>													
	...													
	e <sub>1n1</sub>													
C <sub>2</sub>	e <sub>21</sub>	W <sub>21</sub>				W <sub>22</sub>				...	W <sub>2N</sub>			
	e <sub>22</sub>													
	...													
	e <sub>2n2</sub>													
...	...	...				...				...	...			
C <sub>N</sub>	e <sub>N1</sub>	W <sub>N1</sub>				W <sub>N2</sub>				...	W <sub>NN</sub>			
	e <sub>N2</sub>													
	...													
	e <sub>NnN</sub>													

*Tableau 6 : Structure générale de la super matrice*

**Etape 3 : Priorités finales**

Dans la dernière étape, la super-matrice chargée d'un poids (pesée) est faite pour converger pour obtenir un ensemble des poids stable à long terme. La super-matrice est élevée à une limite inférieure, tel que dans équation (7), pour obtenir une matrice où toutes les colonnes sont identiques et chacune donne le vecteur de la priorité global. De plus, dans le cas d'un réseau complexe, il est nécessaire de synthétiser le résultat des priorités des alternatives pour chaque structure de BOCR dans le but d'obtenir leur synthèse totale.

**Etape 4 : Analyse de sensibilité**

L'analyse de la sensibilité est fondée sur la question “ qui si ” pour voir si la réponse finale est stable quand les entrées des jugements ou priorités, sont changés.

### 2.3 Critères économiques à avenir incertain

Le choix rationnel en avenir incertain est un sujet classique, auquel Pascal apporta des contributions pionnières. Dans son célèbre pari, il introduit l'espérance mathématique des gains (la somme des gains pondérée par les probabilités) comme maximande du problème de décision. Le paradoxe de Saint Petersburg de Bernoulli suggère de substituer le critère de l'espérance mathématique de l'utilité des gains (la somme de l'utilité des gains pondérée par les probabilités) à celui de l'espérance des gains. Les progrès de la réflexion conduiront aux deux synthèses modernes, qui dérivent le critère de choix d'une axiomatique plus fondamentale.

Dans le cas où les probabilités sont objectives, c'est-à-dire reflètent des lois de probabilité scientifiquement avérées (avec toute l'ambiguïté que peut recouvrir ce terme), l'avenir est dit risqué et l'axiomatique de Von Neumann conclut à l'utilisation du critère de l'espérance de l'utilité.

Dans le cas où les événements ne sont pas régis par des lois mises scientifiquement en évidence, Savage établit qu'un acteur rationnel au sens de son axiomatique évaluée, ou tout se passe comme si il évaluait, les conséquences à l'aune de l'espérance mathématique de l'utilité, étant donné que l'espérance mathématique est alors calculée à l'aide de probabilités subjectives qui ont (presque) toutes les propriétés formelles des probabilités [28].

Il existe plusieurs façons de traiter les décisions. Tout dépend déjà si l'univers est mesurable (risqué) ou non mesurable (incertain). Dans cette partie de travail nous allons illustrer les différents critères de décision. Tout d'abord celles utilisables en univers mesurable, puis celle utilisé en univers non mesurable.

#### **Décision dans l'incertitude et décision dans le risque**

##### *Décision dans l'incertitude*

Si lorsque interviennent des variables qui ne sont ni maîtrisées par l'entreprise, ni même probabilisables en raison de la trop grande complexité de l'environnement et des conditions d'évolution du marché, on parlera de décisions « incertaines ». Ce sont souvent les décisions les plus importantes (décisions stratégiques). En d'autres termes, c'est une situations de choix où les résultats des actions ne peuvent pas être prévus avec certitude ; les conséquences de la décision, les valeurs des variables essentielles sont incertaines.

On suppose que cette incertitude soit probabilisée, c'est à dire que le résultat obtenu ne dépend que de la réalisation d'évènements de probabilités connues. On utilise alors le terme de « *décision dans le risque* »

### 2.3.1 Critères pour la décision dans un univers mesurable (Risque)

On définit un **risque** par l'ensemble des évènements possibles qui peuvent en résulter, ainsi que par la probabilité associée à chacun de ces évènements. Les différents critères de décision dans le risque sont [29]:

#### 1. Critère de pascal : maximum de l'espérance mathématique

*« Vous avez deux choses à perdre : le vrai et le bien, et deux choses à engager : votre raison et votre volonté, votre connaissance et votre béatitude; et votre nature a deux choses à fuir : l'erreur et la misère. Votre raison n'est pas plus blessée, en choisissant l'un que l'autre, puisqu'il faut nécessairement choisir. Voilà un point vidé. Mais votre béatitude ? Pesons le gain et la perte, en prenant choix que Dieu est. Estimons ces deux cas : si vous gagnez, vous gagnez tout; si vous perdez, vous ne perdez rien. Gagez donc qu'il est, sans hésiter. »* Pensées, Blaise Pascal (1670).

Ce critère consiste à évaluer l'espérance mathématique (E) des résultats de chaque action. Ce fut le premier cas d'utilisation d'un raisonnement en termes d'espérance mathématique de gain.

#### Explication :

Soit un ensemble D à 2 décisions  $D = \{d_1, d_2\}$  avec la matrice des résultats :

	$S_1(p_1)$	$S_2(p_2)$	...	$S_j(p_j)$	...	$S_J(p_J)$
$d_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1J}$
$d_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2j}$	...	$a_{2J}$

Si  $\forall j : a_{1j} > a_{2j}$ , alors  $d_1$  domine  $d_2$

L'espérance mathématique se calcule ainsi :

$$E[d_i] = \sum_{j=1}^J p_j a_{ij} \quad (7)$$

Le choix de la meilleure décision correspond à la maximisation de l'espérance mathématique de chaque décision, soit :

$$M a x_i \sum_{j=1}^J p_j a_{ij} \quad (8)$$

Fonction de valorisation :

Évaluer la moyenne des résultats de chaque action

$$V_{a_j} = \frac{1}{n} \sum_{e_i=e_1}^{e_i=e_n} R_{a_j, e_i} \quad (9)$$

Critère de choix :

Choisir l'action dont la moyenne est la plus élevée.

$$a^* \in \arg \max (V_{a_j}) \quad (10)$$

## 2. Critère de Markowitz

Le critère de Markowitz (1952) a été déterminé pour arbitrer entre la possession des différents titres financiers ou portefeuilles financiers.

Basiquement, le risque d'un titre ou d'un portefeuille peut être mesuré par la dispersion de son cours (ses cours) tout au long du temps, et être utilisé pour prévoir son évolution future, la dispersion des cours ou rendement d'un titre peut être mesurée par l'écart-type. Cette mesure de la dispersion va compléter l'information de l'investisseur sur le rendement ou le cours moyen du titre ou du portefeuille.

A priori, un investisseur va préférer les titres les plus rentables mais impliquant le moins de risque.

Fonction de valorisation : la fonction de valorisation est caractérisée par un couple composé par l'espérance mathématique de la décision et sa variance.

$$\left\{ \begin{array}{l} E(d_i) = \sum_{s_j=1}^{s_j=n} (p_j R_{ij}) \\ \sigma^2(d_i) = \sum_{s_j=1}^{s_j=n} p_j (R_{ij} - E(d_i))^2 \end{array} \right. \quad (11)$$

Critère de choix n°1:

$$d_k \succ d_l \text{ si } \left\{ \begin{array}{l} E(d_k) \geq E(d_l) \text{ et } \sigma(d_k) < \sigma(d_l) \\ \text{ou bien} \\ E(d_k) > E(d_l) \text{ et } \sigma(d_k) \leq \sigma(d_l) \end{array} \right. \quad (12)$$

Cette règle de comparaison est assez restrictive :

Elle ne prend pas en considération le fait qu'un fort écart type puisse être compensé par une forte espérance.

Donc ce critère ne fonctionne pas toujours : il faut le compléter

Critère de choix n° 2:

$$d_k \succ d_l \quad \text{si} \quad \frac{E(d_k)}{\sigma(d_k)} > \frac{E(d_l)}{\sigma(d_l)} \quad (13)$$

Cette règle consiste à mesurer le pourcentage d'espérance par unité d'écart type.

La meilleure stratégie sera celle qui aura la plus grande espérance par unité d'écart type.

Critère de choix n° 3:

$$d_k \succ d_l \quad \text{si} \quad \frac{E(d_k) - E(d_l)}{\sigma(d_k) - \sigma(d_l)} > \lambda \quad (14)$$

Cette règle apporte la notion de déplacement mesuré par le taux marginal de substitution entre  $E(x)$  et  $\sigma$ . On peut donc changer de stratégie à condition que le taux d'échange soit élevé.

Remarque : Il faut toujours tester deux actions de tel façon que le numérateur et le dénominateur soit positif

**3. Critère de Bernoulli ( Paradoxe de Saint Petersburg )**

Bernoulli critique le critère de PASCAL à partir d'un exemple simple connu sous l'appellation Paradoxe de Saint-Pétersbourg: Un mendiant possède un billet de loterie lui permettant de gagner 20.000 Ducats avec une probabilité égale à 0,5. Un riche marchand lui propose d'acheter ce billet avec 9.000 Ducats. Le mendiant accepte, ce qui est contraire au paradigme Pascalien !

Formalisation de ce problème :

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
d <sub>1</sub>	0	20000
d <sub>2</sub>	9000	9000
Probabilité {s <sub>j</sub> }	0,5	0,5

$$E(d1) = 0,5 * 0 + 0,5 * 20000 = 10000$$

$$E(d2) = 0,5 * 9000 + 0,5 * 9000 = 9000$$

*Donc : d\* = d1*

Pourquoi le mendiant préfère vendre son billet de loterie ?

Bernoulli : ce n'est pas le gain en lui-même qui intéresse les individus mais plutôt l'utilité que le gain procure.

Un individu k va évaluer la valeur du pari avec une fonction du type :

$$EU^k(d_i) = \sum_{s_j=1}^{s_j=n} p_j U^k(r_{ij}) \tag{15}$$

Le critère de choix consiste donc à déterminer la décision qui maximise la fonction d'évaluation des conséquences.

$$d^* \in \arg \max EU^k(d_i) \tag{16}$$

**2.3.2 Critères pour la décision dans un univers non mesurable (incertain)**

En univers incertain, le décideur n'a pas suffisamment d'informations pour connaître ou prévoir les différents événements liés à la décision. Dans de telles situations, il peut faire

appel à certains critères de la théorie des jeux. C'est un instrument de recherche qui permet l'analyse des décisions des agents économiques [14].

Un très grand nombre de critères de décision face à l'incertain ayant été développés au cours du siècle nous nous limiterons ici à la présentation des critères les plus significatifs, les critères de : Laplace, Wald, Savage et Hurwitz chacun d'eux correspond à un type de comportement particulier des dirigeants d'entreprise [30].

### 1. Critère de Maximax

Mode d'évaluation et de comportement qui consiste, devant les différents parties à prendre (en matière de décision, de politique, de stratégie), à se concentrer sur le meilleur résultat (max) à attendre de chacun d'eux (dans les conditions ou les réactions les plus favorables) et à prendre le parti correspondant au meilleur (max) de ces résultats potentiels. Le critère du Maximax caractérise les "gros joueurs", optimistes et aventureux. Il consiste à :

- Retenir, pour chaque décision (ou stratégie) et en fonction de chaque état la nature, le résultat attendu le plus élevé.
- Puis parmi ces résultats, retenir la décision qui donne le résultat le plus important parmi ces meilleurs résultats.

Fonction de valorisation :

On détermine le résultat maximum que peut reporter chaque action, cette fonction est formulée comme suit :

$$V_{a_j} = \sup_{e_i} (R_{a_j, e_i}) \quad (17)$$

Critère de choix :

Choisir la fonction dont la fonction de valorisation est la plus élevée :

$$a^* \in \arg \max (V_{a_j}) \quad (18)$$

### 2. Critère de Wald (Le critère de Maximin)

L'adoption de ce critère correspond à une attitude prudente du preneur de décision : celui-ci chercher à identifier pour chaque stratégie possible l'état de nature qui conduirait aux moins

bons résultats. Après quoi, il cherchera à se couvrir en adoptant la stratégie qui est susceptible de lui fournir, si l'évolution de la concurrence s'avère défavorable à l'entreprise, le résultat le moins mauvais possible (le Maximum des Minimum potentiels), il consiste à :

- Pour chaque décision (ou stratégie), de retenir le résultat le plus faible ;
- Parmi les moins bons résultats, choisir le plus élevé des moins des moins bons résultats des différentes stratégies.

Ce critère est trop pessimiste, en effet l'utilisateur de ce critère est pessimiste qui se dit : « *Je n'ai pas de chance donc je vais choisir l'action qui a le plus grand résultat minimum, je suis certain d'avoir au moins ce minimum* »

Fonction de valorisation :

Déterminer le résultat minimum que peut rapporter chaque action :

$$V_{a_j} = \inf_{e_i} (R_{j,i}) \quad (19)$$

Critère de choix :

Choisir l'action dont la fonction de valorisation est la plus élevée :

$$a^* \in \arg \max (V_{a_j}) \quad (20)$$

### 3. Critère de Savage (Le Minimax regret)

Ce critère privilégie la prudence. Si l'on disposait d'une connaissance parfaite de l'état de la nature qui va se réaliser, on retiendrait alors la stratégie donnant le résultat le plus élevé. On calcule le manque à gagner entre cette valeur et la valeur correspondant à la stratégie choisie si cet état de la nature survient. Une matrice des manques à gagner est réalisée. La décision à retenir est celle pour laquelle le regret maximal est le plus faible, donc ce qui importe le plus est de minimiser regret. Savage a introduit la notion de regret (Le regret que l'on reçoit ultérieurement sur l'erreur commise après le choix d'une action), logique de « si j'avais su, qu'aurais-je dû faire ? », ainsi il a proposé une fonction de valorisation qui mesure le manque à gagner en ayant pas choisis la bonne action pour chaque état de de la nature.

Fonction de valorisation :

$$V_{a_j} = \sum_{e_i=1}^{e_i=n} \left( \sup_{a_j} (R_{a_j, e_i}) - R_{a_j, e_i} \right) \quad (21)$$

Critère de choix : Choisir l'action dont la fonction de regret est la plus faible :

$$a^* \in \arg \min (V_{a_j}) \quad (22)$$

#### 4. Critère de Laplace

Le critère de Laplace consiste à effectuer une simple moyenne arithmétique des gains espérés (ce qui revient à calculer l'espérance en équiprobabilité), associés pour chaque stratégie aux divers états de la nature puis à retenir la stratégie dont la moyenne est la plus élevée.

L'avantage de ce critère réside dans sa simplicité de calcul, son inconvénient majeur est d'être peu réaliste : on prétend raisonner en avenir indéterminé, c'est-à-dire dans le cadre d'une situation où l'on ne peut pas, ou l'on ne veut pas, affecter une probabilité de réalisation à chacun des états de la nature, alors que le choix du critère même équivaut à leur donner une équiprobabilité. En outre, il correspond à un type de comportement des dirigeants d'entreprise tout à fait particulier, caractérisé par une neutralité à l'égard du risque.

Ce critère est dit critère de la raison insuffisante car n'ayant pas les probabilités d'occurrence des états de la nature, il les suppose équiprobable (uniforme) identique ce qui nous place dans un univers risqué (mesurable mais équiprobable).

Fonction de valorisation :

Évaluer la moyenne des résultats de chaque action :

$$V_{a_j} = \frac{1}{n} \sum_{e_i=e_1}^{e_i=e_n} R_{a_j, e_i} \quad (23)$$

Critère de choix :

Choisir l'action dont la moyenne est la plus élevée :

$$a^* \in \arg \max (V_{a_j}) \quad (24)$$

### 5. Critère de Hurwicz

Compromis entre le critère Maximax et Maximin : on évalue une décision en réalisant une somme pondérée avec un facteur  $\alpha \in [0, 1]$  entre la meilleure conséquence et la pire conséquence.

Le facteur  $\alpha$  permet de décrire simplement l'attitude du décideur face à l'incertitude totale. Ce critère possède des propriétés décisionnelles intéressantes (indépendance vis-à-vis d'une tierce alternative, décision rationnelle, capacité de description assez fidèle...).

Ce critère est à mi-chemin entre ceux de Maximax et Maximin, il considère que l'agent décideur ne sera ni complètement optimiste ni complètement pessimiste.

Fonction de valorisation :

Déterminer une fonction prenant en compte le pire des résultats avec la probabilité  $\alpha$  et le meilleur résultat avec la probabilité  $(1 - \alpha)$  :

$$V_{a_j} = \alpha \cdot \inf_{e_i} (R_{a_j, e_i}) + (1 - \alpha) \sup_{e_i} (R_{a_j, e_i}) \quad (25)$$

Critère de choix :

Choisir l'action dont la fonction de valorisation est la plus élevée :

$$a^* \in \arg \max (V_{a_j}) \quad (26)$$

**Conclusion**

La pérennité d'une entreprise dépend de l'ensemble des décisions prises à chaque que nécessaires. Le rôle d'un conseil d'administration est justement d'entériner des décisions prises aux niveaux hiérarchiques de cette dernière. Plusieurs décideurs se font assister par des groupes d'experts de chacun des domaines qui concernent l'activité de l'entreprise. Il est utile de baser toute décision sur un outil scientifique modulable et prenant en compte des revirements de situation d'une part et l'incertitude des données et de la connaissance des résultats au préalable. On a introduit la méthode AHP, supposée comme étant un outil d'aide à la décision prônant la transparence et permettant la résolution des conflits. Comme, on a introduit aussi, les critères économiques à avenir incertain inspirés de la théorie des jeux ; souvent utilisé dans un environnement concurrentiel. Ces outils sont outils dans la décision d'option à l'intégration des smart grids aux réseaux conventionnels existants qui sera traitée dans le chapitre suivant.

# Chapitre 3

## *Intégration des smart grids*

### **Introduction**

Historiquement, les réseaux électriques ont une architecture centralisée et une communication unidirectionnelle, du producteur au consommateur. Le déploiement des smart grids accompagne la modernisation des réseaux et des infrastructures vers une architecture décentralisée. L'objectif est d'intégrer une multitude de sources d'énergie renouvelable, de toutes tailles, et de permettre de nouveaux modes d'utilisation et de stockage de l'électricité.

A l'intérieur de ce réseau électrique évolué, le consommateur final disposera des outils et services lui permettant de connaître sa consommation et d'interagir en temps réel. L'approche est donc orientée vers une demande active grâce à des compteurs intelligents, ou « *smart meter* », et des échanges bidirectionnels.

Les différences régionales entre les entreprises d'électricité sont importantes, causées par leurs sources d'énergie, la géographie, le contexte d'affaires, etc. De plus, les exigences réglementaires, les contraintes politiques et une technologie qui évolue rapidement. En conséquence, l'interprétation de ce qu'est le Smart Grid varie beaucoup. Malgré ceci, l'analyse des principales définitions utilisées aux États-Unis, en Europe et ailleurs nous force à constater que les éléments suivants sont toujours présents, mais à des degrés divers [31]:

- Intégration des technologies numériques et informatiques ;
- Fiabilité accrue ;
- Sécurité ;
- Flexibilité ;
- Efficacité (électrique et économique) ;
- Intégration de la production décentralisée ;
- Développement durable ;
- Participation des consommateurs.

La disponibilité de l'énergie électrique dépend de la disponibilité des systèmes de contrôle du réseau. En tant qu'éléments du développement des Smart Grids, ces systèmes de contrôle deviennent plus dépendants des technologies de l'information, tenant compte d'une meilleure commande et d'une fiabilité plus élevée. Les Smart Grids exigeront des degrés plus élevés de connectivité de réseaux téléinformatiques, SCADA et celui d'internet.

### **3.1. Constat**

#### **3.1.1 Présentation du système SCADA**

Les systèmes SCADA (système de contrôle et acquisition des données) sont utilisées pour surveiller et commander une installation ou des équipements dans l'industrie, la télécommunication, l'énergie et le transport, ces systèmes généralisent le transfert des données entre la centrale SCADA et un certain nombre d'automates programmable, c'est-à-dire entre l'ordinateur central et les terminaux de commande.

Dans l'industrie énergétique, le système SCADA est une technique de suivi et de pilotage informatique de procédés de production, transport et distribution de l'énergie. La supervision concerne l'acquisition des données et la modification manuelle ou automatique des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables, donc il est capable de gérer à distance des problèmes liés aux coupures électriques en isolant les pannes par ordinateur à partir d'une base suivant des détecteurs installés dans diverses zones de distribution. Il permet également de communiquer avec le compteur à distance à l'aide d'un modem qui fait le transfert de données à une centrale [32].

Il assure en temps réel le fonctionnement, le contrôle et le réglage à distance des équipements du système de puissance. C'est un système centralisé à boucle fermée et qui fonctionne avec une petite intervention humaine, il est constitué généralement:

- D'une station maitresse (SCADA master) ou station principale,
- D'une interface homme machine (HMI) qui présente les données d'un processus à un opérateur humain et à travers la HMI, l'opérateur humain surveille et commande ce processus,

- Quelques unités de terminaux distants RTU (Remote Terminal Units) répartis géographiquement dans de vastes régions et interconnectées tous à la station maîtresse à travers plusieurs chaînes de communications efficaces.

La station maîtresse est composée d'un seul PC dans les plus petits systèmes SCADA et peut inclure plusieurs serveurs et des logiciels d'applications variés dans les grands systèmes SCADA. Le terme station maîtresse se réfère généralement aux serveurs et aux logiciels disponibles pour communiquer avec les RTU, ensuite avec le logiciel de la HMI qui fonctionne dans la station de travail. Des données peuvent également être transmises à un historien pour des analyses du processus.

Les RTU sont installés dans les postes et les centrales électriques. Ils sont connectés aux équipements physiques et à partir de différents capteurs et instruments de mesures, ils lisent les données telles que l'ouverture /fermeture des appareils de coupure, les mesures de la tension, courant ou puissance,... etc. convertissent (grâce à leurs convertisseurs logiques programmables) ces données à des valeurs digitales et les transmettent à la station maîtresse où elles seront compilées et arrangées de manière qu'un opérateur de salle de commande employant une HMI puisse prendre des décisions et donner des ordres aux RTU. Sous les ordres des opérateurs, les RTU peuvent aussi commander des équipements, tels que l'ouverture / fermeture d'un interrupteur.

### **3.1.2 Le système de communication au niveau du SCADA**

La communication est d'une importance majeure pour le système SCADA. La disponibilité et le coût des chaînes de communication influent profondément sur la conception des stations maîtresse et des RTU.

Une communication faible ou avec bruit produit des erreurs et des pertes de messages et limite la vitesse avec laquelle l'acquisition des données et le control sont exécutés, ce qui affecte l'interface homme machine et les applications software (logiciel). Les systèmes SCADA utilise les moyens de télécommunication suivant les lignes téléphoniques, liaisons hertziennes (ondes radio, satellite), fibres optiques et le Courant Porteur en Ligne CPL (Power Line Carrier).

➤ **Les liaisons hertziennes (ondes, satellites)**

Dans une liaison hertzienne, c'est une onde électromagnétique qui porte l'information à transmettre. Une onde électromagnétique est constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique  $H$ , couplés entre eux : les deux champs sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase.

La longueur d'onde ( $\lambda$ ) est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période, c'est la distance entre deux maximums consécutifs.  $\lambda = c/F$  ou  $\lambda = cT$ .

➤ **Les liaisons par courant porteur en ligne CPL**

Le courant porteur en ligne CPL appelé aussi PLC (Power Line Communication) est une technique utilisant les lignes électriques de basse et moyenne tension électrique et de fréquence (50 ou 60Hz) pour y faire circuler un signal de hautes fréquences (1.6 MHz à 30 MHz).

➤ **Les fibres optiques**

Une fibre optique est un fil en verre très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans la transmission de données, il peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers de Kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'informations.

### **3.1.3 Les différentes configurations des systèmes SCADA**

Les différentes configurations des systèmes SCADA sont dictées par le nombre des RTU, le lieu des RTU, les facilités de communication offertes, les équipements et les techniques de communication offertes. Différentes configurations peuvent être utilisées, la configuration choisie est déterminée suivant les besoins du système, l'accessibilité aux chaînes de communication et le facteur du coût.

Le centre de dispatching national emploie la configuration SCADA suivante [34]:

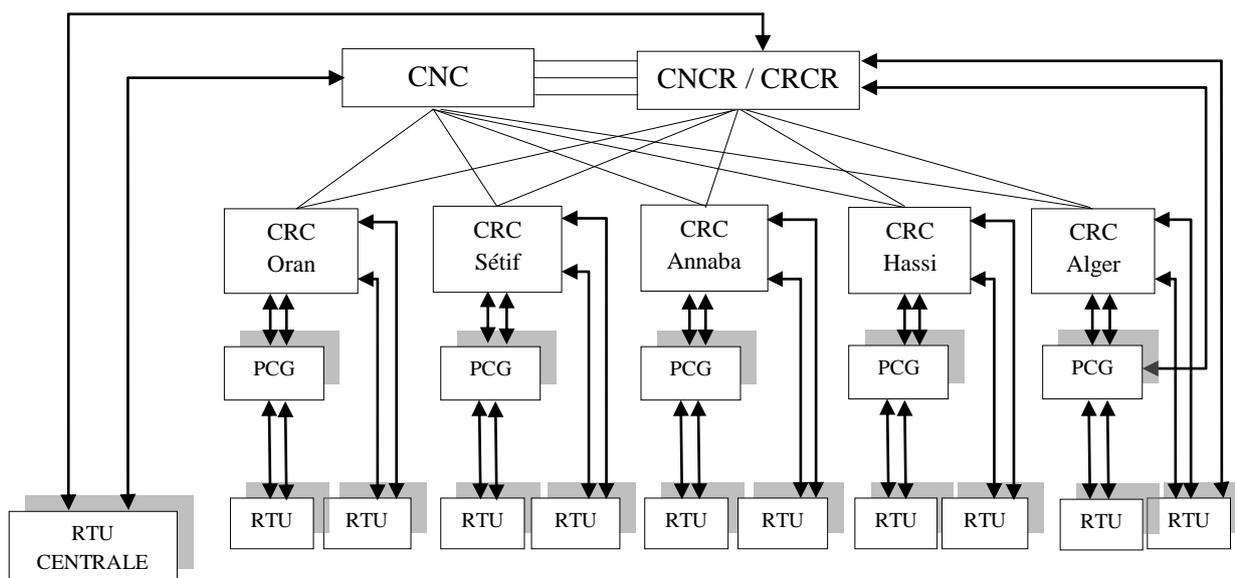


Fig.9 : Configuration SCADA du centre de dispatching

CNCR : Le centre national de repli.

CRCR : Le centre de conduite régional de repli d'Alger.

PCG : Groupements de Postes de Conduite, chaque groupement de postes peut télécommander directement plusieurs postes asservis (PA) et exécuter les instructions des centres de conduites.

En cas de défaillance du CNC, toutes les données des postes et PCG des régions d'Oran, d'Annaba, de Sétif, et de Hassi Messaoud sont réparties au même temps au CNC et au CNCR/CRCR, de même que les informations provenant des postes PCG de la région d'Alger sont réparties au CRC d'Alger et au CNCR/CRCR simultanément, de même les données des centrales de production qui ne transitent pas par les CRC arrivent directement au CNC et au CNCR.

### 3.1.4 Les outils d'aides à la décision dans le système SCADA

**A- Rôles des opérateurs aux centres de conduite :** La conduite en temps réel du système électrique est assurée à tout instant par les opérateurs des salles de conduite, les dispatchers. Leurs tâches principales peuvent être regroupées en quatre grandes fonctions [33] :

- ❖ **Surveiller** : A partir des masses d'information qui leur parviennent, les dispatchers suivent l'évolution du système électrique. Ils vérifient notamment que les principaux paramètres sont conformes aux consignes d'exploitation et prennent connaissance de tout changement d'état du réseau (déclenchement d'une ligne par exemple).
- ❖ **Analyser** : La surveillance directe de l'état du réseau ne suffit pas pour garantir de bonnes conditions de sécurité, il faut aussi s'assurer que toute nouvelle situation issue d'un incident banal n'a de conséquence excessives ou non maîtrisables. Grâce à des outils d'analyse, les dispatchers doivent vérifier qu'ils respectent l'ensemble des règles de sécurité.
- ❖ **Anticiper** : Tout événement nouveau doit être intégré pour prévoir les différentes évolutions possibles du système. Dès que l'on s'écarte du programme prévisionnel, les dispatchers doivent estimer les conséquences éventuelles et préparer les parades associées.
- ❖ **Agir** : Lorsque les analyses ont permis de déterminer les meilleures mesures correctives, ou plus simplement pour exécuter le programme prévisionnel, les dispatchers doivent agir directement (manuvres sur le réseau par les dispatchers régionaux) ou transmettre téléphoniquement ou informatiquement des instructions précises et dépourvues d'ambiguïté aux opérateurs des installations de production et de transport.

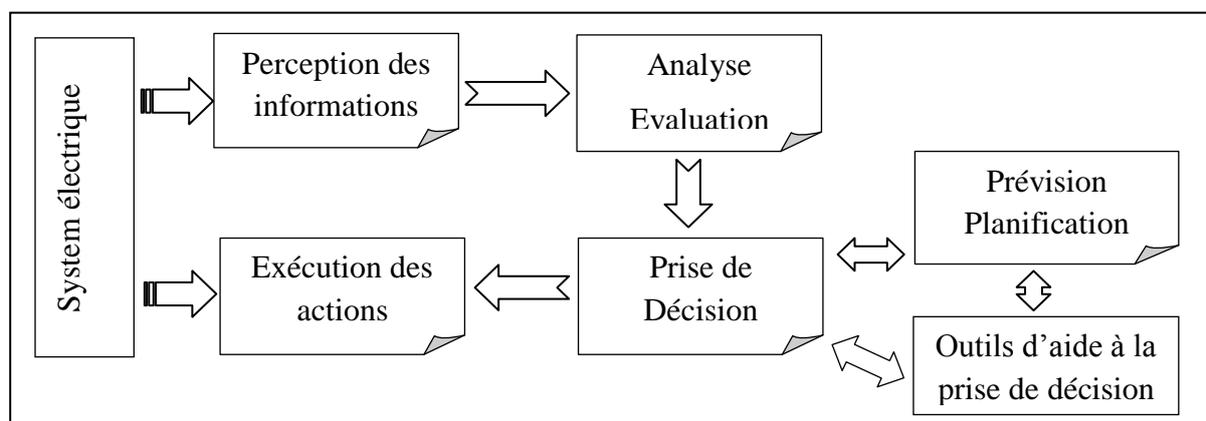


Fig.10 : Les tâches d'un opérateur

### B- Les outils d'aides à la décision

En conduite des réseaux, les fonctions SCADA, le bon sens physique des opérateurs ne suffisent pas à assurer la conduite du système électrique. La complexité des phénomènes en

jeu, leur non linéarité, leur vitesse d'évolution et le couplage instantané entre des installations très distantes rendent nécessaires des outils sophistiqués d'anticipation et d'aide à la décision.

En plus de la télésurveillance, de la télécommande et des capacités d'enregistrement d'un système SCADA, plusieurs autres systèmes (logiciel) peuvent lui être intégrés pour améliorer le fonctionnement et aider les opérateurs. Les systèmes les plus importants sont les suivants :

- Le système de gestion d'énergie **EMS** (Energy Management System) pour l'analyse du réseau et le contrôle et la gestion des unités de production.
- Le simulateur d'entraînement **DTS** (Digital Training Simulator) pour l'entraînement des opérateurs et pour la formation initial des nouveaux opérateurs.
- Le système de gestion de la distribution **DMS** (Distribution Management System) pour le contrôle, l'analyse et la gestion du système de distribution.

- **Le système SCADA /EMS**

Le système SCADA/EMS a des capacités énormes pour faire fonctionner le gigantesque système de puissance d'une manière fiable et sûre, il assure les fonctions SCADA souvent appelées analyses primaire et les fonctions EMS appelées analyses secondaire [34].

**Analyse primaire** : (cycle de quelques secondes), elles concernent en temps réel :

- L'acquisition des données provenant des RTU.
- Le traitement de ces données (surveillance de dépassements des seuils, gestion des événements et des alarmes, archivages historiques des données, ... etc.)
- La télécommande.

**Analyse secondaires** : (cycles de quelques minutes), il s'agit de calculs de réseau exécutés en temps réel à l'aide de modèle mathématique.

- **Le simulateur d'entraînement DTS (Digital Training Simulator)**

Pour l'entraînement des opérateurs et pour la formation initiale des nouveaux opérateurs. Plusieurs réseaux de transport d'électricité réputés pour leur fiabilité ont connu d'importants incidents ces dernières années, dans ce contexte, la formation des opérateurs pour approfondir

leur compréhension des phénomènes physiques et apprendre à réagir correctement aux aléas est nécessaire, les simulateurs d'entraînement récent jouent, à ce titre un rôle prépondérant, ils sont capable de simuler des incidents complexes jusqu' à la panne générale et reste quantitativement précis [34].

- **DMS (Distribution Management System)**

Pour aider les électriciens à réduire leurs coûts d'exploitation et de maintenance tout en améliorant le service au consommateur. Le module DMS offre une panoplie de fonctions modélisation et gestion évoluées du réseau, commutation et localisation électronique des points de mesure intégrées, gestion des demandes d'intervention et des incidents, administration du personnel, traitement des enregistrements et affichages d'événements [35].

### **3.1.5 Progrès de la Sonelgaz en matière des systèmes SCADA**

Dès les années 1990, le Groupe Sonelgaz a entamé un large plan de modernisation des réseaux de distribution. La télé-conduite des réseaux moyenne tension (MT) en fait partie, et le premier centre de télé-conduite a été réalisée en 1997. Ce projet s'inscrit dans une vision à long terme et dont l'aboutissement sera l'installation du système dans tous les centres de distribution.

D'où le nombre important de projets réalisés depuis. Trois BCC (Bureau Central de Conduite) ont été prévus pour la distribution. Le premier a été mis en service en mai 2003. Il s'agit du BCC d'Alger. Le deuxième, celui d'Oran, est en cours de réalisation et sera mis en service au courant de l'année. Le contrat qui vient d'être mis en place pour celui d Constantine sera effectif en 2006. Cinq micro-SCADA sont opérationnels depuis 2003 dans les centres de Blida, Sétif, Annaba, Chlef et Batna. Un projet de dix micro-SCADA est en cours d'évaluation technique. Le coût global de ces projets est d'environ 200 millions de dollars [36].

#### **1. BCC d'Alger**

Le BCC d'Alger a été réalisé par le consortium Efacec-Schneider. Il permet la téléconduite de 47 installations HT/MT et MT/MT et environ 400 points de manœuvre sur le réseau MT. L'extension décidée pour ce BCC permettra de rajouter 700 points à télé-manœuvrer.

**2. BCC d'Oran**

Ce dernier est en cours de réalisation par le fournisseur Areva. Il permettra la téléconduite de 41 postes HT/MT et MT/MT et environ 900 ouvrages MT.

**3. BCC de Constantine**

La réalisation de celui-ci a été confiée à ABB. Ce projet consiste en la téléconduite de près de 60 postes HT/MT et MT/MT et 870 ouvrages MT.

**4. Projet des 10 micro-SCADA**

Ce projet concerne la réalisation de systèmes de téléconduite du réseau électrique moyenne tension. Ces systèmes sont destinés à dix centres de distribution : Béchar, Bejaïa, Biskra, Chlef, Djelfa, Mostaganem, Ouargla, Saïda, Skikda et Tizi Ouzou.

Ce nouveau dispositif permet de répondre aux besoins des clients de Sonelgaz et de préserver, à la veille de l'ouverture du marché de l'électricité, une très grande part du marché.

**3.2 Proposition d'une nouvelle stratégie de comptage**

Avec la libéralisation du marché de l'énergie, une quantité de données sans cesse croissante doit être fournie en temps réel aux acteurs des marchés dérégulés, par les équipements de comptage d'énergie. L'introduction de tarifications complexes et de courbes de charges pour ajuster la capacité de production à la demande requiert des protocoles de communication efficaces et sécurisés pour les besoins des applications de collecte, de publications de données et de facturation [37].

L'essor des technologies de l'information et des nouvelles technologies de télécommunication pour la téléphonie & visiophonie mobile sur les réseaux des opérateurs Telecom, induit des nouvelles infrastructures de communication, Les compteurs d'électricité, sont dits intelligents lorsqu'ils sont conçus de façon à mettre à disposition de l'utilisateur les données de consommation en temps réel et qu'ils permettent de piloter la consommation de façon à réduire au maximum les coûts.

Une nouvelle technologie dite « intelligente » se développe à grande vitesse depuis quelques années dans le secteur de l'énergie, provoquant une véritable révolution dans l'industrie des compteurs électriques. En vue de la création de « réseaux intelligents » (smart grid), les « compteurs intelligents » (smart meter) sont présentés aujourd'hui comme des instruments incontournables pour faire face à l'évolution du marché de l'énergie et des pratiques de consommation. Ils déclenchent les passions des industriels de l'énergie, distributeurs d'électricité et autres acteurs de la distribution énergétique, soucieux de se faire une place au soleil dans ce qui apparaît de plus en plus comme le marché lucratif actuel [38].

En règle générale, les compteurs intelligents sont numériques, ou du moins les données de mesure sont-elles numérisées. Pour la communication et la commande, on utilise des modules séparés ou intégrés, par exemple pour la lecture à distance, pour la commande à distance afin de pouvoir utiliser au mieux les tarifs en fonction des horaires ou des charges, ou encore pour mettre en marche ou arrêter les compteurs prépayés. L'un des principaux objectifs est de représenter les données de consommation, soit sur un appareil d'affichage séparé, soit sur un ordinateur domestique.

### **3.2.1 Smart metring et compteurs intelligents**

Le comptage intelligent est, sans aucun doute, un sujet qui a récemment mobilisé beaucoup d'attention. De nombreux pays y compris l'Europe sont déjà impliqués dans des projets de comptage intelligent sur des échelles d'étude locale ou à plus grande échelle. On prête de nombreux avantages aux systèmes de comptage intelligent que nous analyserons en détail dans ce chapitre. Le comptage intelligent passe, en règle générale, par la mise en œuvre d'un outil de supervision chez le client final assurant la lecture, le traitement, ainsi que le retour des données de consommation que n'appelle aujourd'hui le compteur intelligent ou smart meter.

Un compteur dit « **intelligent** » est un appareil électronique capable de transmettre de façon constante des informations sur la consommation d'un client à un centre de contrôle, c'est-à-dire au fournisseur d'énergie. Il permet donc de relever à distance et automatiquement la consommation d'énergie (sans déplacement d'un agent) et de piloter la distribution à partir d'un point central (ouverture, fermeture, limitation de puissance, prépaiement, etc.) [39].

### 3.2.2 Fonctionnement des compteurs intelligents

Le comptage électrique évolué constitue l'interface de communication entre le réseau électrique et l'installation du consommateur. Associées aux systèmes informatiques (dédiés et ceux de l'entreprise), aux systèmes SCADA/DMS-EMS de télé-conduite et management des réseaux électriques (existant et ceux en cours de développement), aux réseaux de télécommunications et à internet en plein essor en Algérie, constituent « l'intelligence » collective. Un concentrateur, installé dans un poste de distribution, collecte par courant porteur en ligne (CPL) toutes les informations en provenance des compteurs évolués, recueille les données des différents équipements électriques situés dans son environnement (transformateurs, disjoncteurs, etc.) et les communique au gestionnaire de réseau de distribution (GRD).

Le système informatique du GRD est accessible par les fournisseurs d'énergie qui reçoivent régulièrement les données de comptage de leurs clients pour la facturation de l'énergie [40].

### 3.2.3 Type des compteurs évolués

Dans ce paragraphe on va citer deux types de compteur (AMR, AMM) les plus utilisés dans le monde [40] :

#### ❖ Le compteur AMR

Un compteur AMR est un compteur disposant de technologies avancées, dites AMR (*Automated Meter Reading*) qui identifient de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique d'un foyer, d'un bâtiment ou d'une entreprise, et la transmettent, par téléphone ou courants porteurs en ligne (CPL), au gestionnaire des données de comptage, les compteurs « intelligents » peuvent notamment établir des factures en temps réel et repérer les postes qui le plus au client. Ils peuvent éventuellement l'informer de microcoupures ou de pertes sur le réseau électrique coûtent. Du point de vue de l'entreprise, ils permettent des gains de productivité important via la suppression des emplois de personnels chargés du relevé des compteurs.

### ❖ Le compteur de type AMM

Lorsque le compteur est en plus programmable à distance et équipé d'un appareil de coupure à distance, il est dit AMM (*Advanced Meter Management*). Cette deuxième qualité est capitale car elle va bien au-delà du simple relevé à distance et ouvre l'ensemble du réseau de distribution d'électricité à des évolutions profondes génériquement connues sous le nom de « réseau intelligent ». Cependant, ces compteurs ont également des inconvénients importants pour l'utilisateur en termes de coût et d'atteinte potentielle à la vie privée notamment. Selon les sources, les termes « compteurs communicants », « compteurs évolués » ou « smart meters » sont également employés pour désigner cette nouvelle génération de compteurs d'électricité. La notion de « compteur intelligent » renvoie plus souvent au compteur électrique.



Fig.11 : Compteur intelligent utilisé en Allemagne

### ❖ avantages du compteur intelligent

Les avantages que procure la modernisation du comptage intéressent aussi bien les clients que les distributeurs et les producteurs d'énergie électrique [40].

#### Avec les clients

Une facturation basée sur les consommations réelles grâce au relevé d'index à distance donc les clients seront également facturés de manière régulière non plus estimées (et donc la disparition des factures estimées). De mieux suivre la consommation électrique du foyer donc une meilleure maîtrise des dépenses en énergie, de sa par le client peut participer à la

réalisation de l'équilibre (offre /demande) par la maîtrise de sa consommation, et dans certain cas, par sa contribution dans l'injection de sa propre électricité d'origine renouvelable dans le réseau électrique.

### **Avec les distributeurs**

- Une diminution des coûts de gestion grâce notamment au traitement à distance de nombreuses opérations qui nécessitent actuellement le déplacement d'un agent (le relevé périodique, le changement de puissance souscrite, la résiliation ou la remise en service de l'accès au réseau, la coupure ou le rétablissement...).
- Une réduction des fraudes et des réclamations.
- Une détection au plus près des incidents qui surviennent sur le réseau électrique donc le diagnostic est facilité pour réalimentation en électricité des clients est plus rapide.
- Une plus grande richesse d'informations et des possibilités de proposition aux clients de nouvelles offres (information sur les coupures, les pertes sur le réseau électrique, le profil de consommation, relevé à distance sans que le client soit présent, la mise en service distante...).

### **Avec les producteurs**

- Une aide à l'installation du photovoltaïque en permettant l'utilisation d'un compteur unique qui enregistre à la fois les index de production et de consommation.
- Une meilleure maîtrise des pointes de consommation plus une électricité moins chère et fiable.

Par rapport à cette partie du travail, elle a été bien développée et explicitée dans un mémoire de fin d'étude soutenue au département de génie électrique, juin 2013 [41].

## **3.3 Avantages de l'intégration des Smart grids dans la réduction des investissements**

Les bénéfices attendus de la mise en œuvre de réseaux électriques intelligents sont d'ordre environnemental, économique et sociétal, Ainsi que le niveau des investissements consentis est à la hauteur de l'intérêt porté aux réseaux électriques intelligents et pour quantifier ces retombées en termes financiers, l'Electric Power Research Institute aux Etats-Unis estime

qu'un investissement de 165 milliards de dollars (121 milliards d'euros) dans les technologies de réseaux intelligents, leur intégration et leur développement générera entre 638 milliards de dollars (467 milliards d'euros) et 802 milliards de dollars (588 milliards d'euros) de revenus supplémentaires [42].

### **3.3.1 Bénéfices environnementaux**

Les nouvelles énergies renouvelables donnent lieu à l'installation d'unités de production beaucoup plus petites, plus nombreuses et réparties sur le réseau. Elles doivent pouvoir injecter leur production sur le réseau, là où elles se trouvent, sans générer de perturbation.

Le stockage d'énergie électrique, actuellement inexistant ou presque, doit trouver des réponses pour favoriser les réponses à ces enjeux.

La réponse globale et locale du réseau électrique aux défis du changement climatique implique des actions tant au niveau de la fourniture que de la demande d'électricité. L'objectif est de répondre à une demande toujours plus grande et volatile, tout en diminuant drastiquement les émissions de CO<sub>2</sub>.

### **3.3.2 Bénéfices économiques**

Un réseau électrique intelligent offre d'importantes perspectives de développement économique de l'ensemble du secteur des réseaux d'énergie et de l'écosystème associé :

- Amélioration de la collecte des recettes ;
- Réduction de la durée des pannes et des pertes énergétiques ;
- Optimisation du fonctionnement des transformateurs ce système surveille également les lignes de transmission haute tension pour caractériser l'efficacité du transformateur. La surveillance inclut aussi le niveau d'huile et la température du transformateur ;
- Amélioration du fonctionnement du réseau ;
- Une baisse des coûts d'intégration et de maintenance informatique ;
- Réduction directe de la demande de pointe grâce à la possibilité de couper certaines charges.

Il rend possible une gestion plus efficace du patrimoine que constituent les actifs du réseau, en particulier sur le réseau de distribution sur lequel la visibilité est très faible actuellement.

La maturité des technologies électriques, électroniques, informatiques et télécom permet d'envisager un déploiement rapide et à grande échelle. Diffusées massivement auprès du grand public, financièrement abordables, avec des protocoles ouverts, modulaires et flexibles, ces technologies permettent d'accompagner le déploiement d'un réseau électrique intelligent. Leur accessibilité, leur compatibilité et leur ergonomie seront cruciales, notamment dans le résidentiel, pour sensibiliser le public et en faire de véritables « consommateurs ».

### 3.3.3 Bénéfices sociétaux

Au-delà des aspects environnementaux et économiques, un réseau électrique intelligent fournit des réponses à l'évolution des besoins fondamentaux de la société.

En permettant la hausse de la part des énergies renouvelables dans le *mix énergétique*, un réseau d'électricité intelligent rend possible une moindre dépendance aux sources d'énergies fossiles.

Il permet d'accompagner une croissance durable, en répondant aux besoins en énergie et à leur augmentation, notamment celle entraînée par le développement de nouveaux usages.

Un réseau électrique intelligent est enfin l'occasion d'assurer et d'améliorer la qualité de la fourniture et la sécurité du réseau. En effet, il pérennise le développement de la télé-relève et de la télé-conduite des équipements électriques installés et en optimise la maintenance, il améliore la détection et la localisation des pannes. Ce faisant, il est capable de lancer des reconfigurations automatiques suite à un incident et devient auto cicatrisant.

Toutes ces améliorations permettent d'assurer la qualité du courant fourni, et de diminuer la fréquence et la durée des coupures. En particulier, les moyens de pilotage de la demande et de meilleure efficacité du réseau permettent d'améliorer la gestion de la pointe et d'éviter les grands blackouts.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons pu définir le système SCADA et ses constituantes ainsi que l'infrastructure de comptage évolué qui désigne une plate-forme de collecte, de transmission, de regroupement et le déploiement rapide et massif de cette technologie. Au sein de la distribution électrique, elle donne un sérieux coup de pouce aux systèmes SCADA/DMS-EMS qui peuvent désormais améliorer la prise de décisions et atteindre au plus vite les objectifs fixés par la conduite du réseau, dans les meilleures conditions de fiabilité et de diffusion des informations d'état, de qualité et de consommation électrique.

Le compteur intelligent constitue le premier pas de cette révolution technologique vers un réseau intelligent, tout en constituant un outil précieux de suivi de la qualité de l'électricité, de l'offre et de la demande et la projection future vers les économies d'énergie.

# *Chapitre 4*

## *Application aux conditions de la Sonelgaz*

Dans le domaine des smart grids plusieurs pays développés et émergents ont une avancée considérable. Il appartient aux pays en voie de développement de tirer certaines dividendes de ces avancées en créant certains raccourcis et en faisant l'économie des essais. Le point pertinent dans ce domaine est qu'il n'existe pas de modèle smart grids standard. Chaque pays ou chaque distributeur a son propre smart grid, n'empêche qu'on retrouve plusieurs objectifs communs dans les uns et dans les autres. L'objectif recherché dans cette partie du travail est d'arriver à mettre en exergue les différents développements dans ce domaine et d'aider les décideurs de cette entreprise à définir les critères et à exploiter les expériences des autres pays. La méthode AHP offre la possibilité de prendre des décisions basées sur des critères tangibles et à partir d'une panoplie d'alternatives. Ces dernières renferment les modèles de smart grids des pays dont nous maîtrisons l'information sur leurs réseaux et sur leurs perspectives de développement.

### **4.1 Quelques définitions**

#### **a) L'électricité durable**

L'énergie durable est l'énergie capable de répondre aux besoins du moment présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Dans les sources d'énergie durable, on classe habituellement toutes les sources d'énergie renouvelable, comme l'hydroélectricité, l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie des vagues, l'énergie géothermique et l'énergie issue de la biomasse. L'énergie durable comprend deux volets clés « l'énergie renouvelable » et « l'efficacité énergétique » ce qui impose également l'usage de la nouvelle technologie [43].

**Efficacité énergétique**

Aller vers une durabilité énergétique impose des changements non seulement dans la manière d'extraire et d'obtenir de l'énergie, mais aussi dans la manière dont on la consomme. Pour cela, réduire la quantité d'énergie nécessaire pour produire biens et services est essentiel. Les possibilités de réduction sont tout aussi riches et variées du côté de la demande en énergie que du côté de l'offre énergétique, et les réductions de la demande en énergie s'accompagnent souvent d'économies financières significatives.

L'efficacité énergétique est un enjeu majeur de la lutte contre le changement climatique. L'Union Européenne, au travers des objectifs « Europe 2020 », s'est fixé des objectifs ambitieux de réduction d'émission de gaz à effet de serre et de croissance des énergies renouvelables. Par ailleurs, la consommation d'électricité va continuer d'augmenter en intégrant de nouveaux usages, tels que la voiture électrique. Les smart grids devront répondre à ces objectifs, par l'innovation, en couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur de l'électricité, du producteur au consommateur et en offrant plus d'avantages [44].

L'efficacité à prendre en compte s'entend à la fois comme une optimisation du rendement technique et du rendement économique des réseaux [45].

L'efficacité technique conduit à :

- une consommation la plus faible possible pour répondre à un besoin fonctionnel donné des différents utilisateurs de l'énergie électrique
- un minimum de perte sur l'énergie produite
- des réseaux moins hiérarchisés, plus maillés pour des reconfigurations plus rapides, voire dynamiques

L'efficacité économique conduit à :

- l'utilisation optimale des capacités de production en réduisant les variations de la demande et donc l'écart entre les pics de demande et la consommation « normale »
- la réduction de l'impact environnemental des dispositifs de production et de distribution d'énergie électrique.

- l'optimisation de la durée de vie des équipements, L'efficacité à prendre en compte ici est globale. Elle s'entend à la fois comme une optimisation du rendement technique et du rendement économique des réseaux.

### **Énergie verte**

L'énergie verte est l'énergie qui peut être extraite, générée, et/ou consommée sans conséquence négative significative sur l'environnement. La biosphère terrestre possède une capacité naturelle à se régénérer, ce qui signifie qu'une pollution dont le niveau n'excède pas cette capacité de régénération naturelle peut toujours être considérée comme « verte ». L'énergie verte ne constitue qu'une partie de l'énergie renouvelable : elle ne comprend que les ressources énergétiques renouvelables et les technologies d'extraction d'énergie qui offrent le meilleur bénéfice environnemental. Par exemple, l'Agence de protection de l'environnement américain définit l'énergie verte comme l'électricité produite à partir du soleil, du vent, de la géothermie, du biogaz, de la biomasse, et des sources de petit hydroélectrique à faible impact environnemental. Les consommateurs qui achètent de l'énergie verte le font généralement pour éviter les conséquences environnementales négatives de la production d'énergie et promouvoir une réduction des émissions de gaz à effet de serre [43].

#### **b) Fiabilité et sécurité du réseau**

Le blackout de 2003 aux Etats-Unis a valeur de symbole : 55 millions d'abonnés privés d'électricité pendant une durée variant de 6 heures à 2 jours, des conséquences chiffrées à 6 milliards de dollars. Tout ça pour un contact entre un arbre et une ligne de transport qui a entraîné une cascade de réaction sur le réseau de transport isolant en l'espace de 2 heures une région couvrant le nord-est des Etats-Unis et le sud-est du Canada [45].

Le rapport d'enquête officiel stigmatise un bug du système de conduite du réseau. Dans une logique plus systémique, ce black-out traduit la non maîtrise globale d'un réseau très complexe, doté d'un management centralisé sur lequel se reporte toute la complexité. N'est-on pas là en face d'un symptôme inévitable de la complexité qu'on cherche à surmonter par la centralisation ? Algorithmes de plus en plus complexes, machines de plus en plus performantes ne suffisent pas à suivre une logique sans fin.

Nos réseaux de transport et de distribution d'électricité sont aujourd'hui confrontés à de nouveaux enjeux. L'avantage des réseaux intelligents est qu'ils offrent le maximum de

fiabilité et de stabilité pour éviter les pannes et blackouts dans un contexte d'interconnexion des réseaux à grande échelle.

La fiabilité des réseaux électriques s'entend d'abord en termes de continuité de service :

- moins de dépendance vis-à-vis d'un système de conduite central ;
- moins de dépendance vis-à-vis d'un producteur unique plus de possibilités de reconfiguration du réseau pour faire face à la défaillance d'un tronçon du réseau ;
- la qualité de l'énergie se doit de pouvoir être garantie ;
- une maintenance prédictive des équipements afin de prévenir les défaillances prédictibles ;
- une surveillance des paramètres révélateurs des défaillances les plus fréquentes

La sécurité est d'autant plus sensible que l'énergie est une source importante pour la vie économique et sociale. Elle s'entend :

- vis-à-vis des intrusions possibles sur le système de contrôle ;
- vis-à-vis des vols éventuels d'énergie.

### **Contrôle du réseau**

Pour contrôler en permanence les différents paramètres du réseau en termes de capacité, de production, de charge du réseau et les besoins utilisateurs, un certain nombre de mesures doivent être réalisées tout au long de la chaîne afin de déterminer la configuration optimale de l'ensemble du réseau et son potentiel. Deux démarches existent, éventuellement complémentaires [46] :

1. Un traitement centralisé de toutes ces mesures (au niveau d'une région, d'un pays voire d'un continent), ce qui implique des moyens de communication et de traitement importants, qui ne peuvent être réalisés sans des moyens de communication et de traitement en temps réel importants. Cette solution correspondrait à un système centralisé basé sur un réseau rayonnant à partir de grandes centrales électriques, sécurisé par quelques interconnexions.
2. Une part croissante d'autocontrôle par le smart grid, dans le cadre d'un réseau devenu intelligent et communiquant à haut débit, où l'autoproduction, l'autoconsommation et la production locale consommée latéralement prendraient de l'importance. Cette solution répond mieux aux besoins d'un réseau décentralisé.

## **4.2 Etat d'art et visions des pays du monde sur les Smart grid**

Trois groupes de pays ont été ciblés pour cet état des lieux : l'Europe, l'Amérique et quelques pays émergents. Ce choix s'explique par : l'importance de l'effort de recherche et/ou de démonstration fait par ces groupes de pays. Les définitions de ce qui Smart grid diffère d'une région à une autre selon leurs objectifs et selon les facteurs politiques, économiques et environnementaux propres à chaque cas. En conséquence, l'interprétation de ce qu'est le Smart Grid varie beaucoup. Malgré ceci, l'analyse des principales définitions utilisées aux États-Unis, en Europe et ailleurs amène tous sur les avantages et l'utilité des smart grid.

### ☞ **1<sup>er</sup> groupe : l'Europe**

La définition européenne du Smart Grid met comparativement plus d'emphasis sur le développement durable et la production décentralisée. Les initiatives européennes se sont centrées sur l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le mix de production, tout en s'attachant à accroître l'implication des utilisateurs finaux dans la gestion du système, au travers de politiques de gestion de la demande et du déploiement d'infrastructures de comptage communicant [47].

#### ♦ **Allemagne**

L'objectif principal de l'Allemagne est : la recherche et le développement de cette nouvelle technologie. En 2006 le gouvernement fédéral allemand a décidé d'investir près de 15 milliards d'euros dans le projet « E-energy : ICT-based Energy system of the Future » afin de développer l'intelligence et les technologies de réseaux nécessaires pour permettre les Smart grids, trois points essentiels ont été retenus : la création d'une place de marché E-Energy qui faciliterait les transactions et les passations de contrats entre les différents acteurs des systèmes intelligents, les transferts d'information et la réalisation de transaction en temps réel, le développement d'interfaces entre les différents systèmes techniques et composants afin de permettre des contrôles indépendants, la mutualisation de la maintenance et le développement de régulations couvrant l'ensemble du système.

L'Allemagne doit démontrer qu'il existe un très fort potentiel d'optimisation du système électrique grâce aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) ce qui a poussé à développer le concept de « régions pionnières » en matière de Smart grids (régions-modèles, ou démonstrateurs). Il s'agit de mieux exploiter ce potentiel pour améliorer l'efficacité de l'ensemble du système électrique de la production à la consommation en passant par le transport et la distribution et assurer la sécurité de fourniture et le respect de

l'environnement. Les régions-modèles permettent de tester en grandeur nature les prototypes qui ont été imaginés dans les laboratoires de recherche [48].

♦ **France**

L'adoption du Smart Grid en France vise essentiellement à réduire sa dépendance énergétique qui est d'origine nucléaire, selon les statistiques 2012 de l'Agence Internationale de l'Énergie, la France est classé dans le 1<sup>er</sup> rang mondial pour la part du nucléaire dans la production d'électricité en 2010 elle atteint 75,9%. Elle espère aussi améliorer continuellement l'excellence opérationnelle des réseaux de transport et de distribution d'énergie, pour gagner tant en efficacité énergétique qu'en niveau de service fourni aux usagers. Un accroissement de compétitivité sur les marchés de l'énergie est une conséquence espérée de cette démarche [49]

Une directive européenne précise que 80 % des compteurs électriques doivent être communicants d'ici 2020 pour favoriser la concurrence et les économies d'énergie. Pour répondre à cette exigence, ERDF a donc lancé, en liaison avec la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), un projet de compteur communicant. Il s'agit du projet Linky dont les principaux enjeux sont d'améliorer le fonctionnement du marché de l'électricité et de participer à la maîtrise de la demande d'énergie et à la réduction des émissions de CO2 [50].

♦ **Grande-Bretagne**

L'intérêt majeur des britanniques est avant tout économique, l'intégration des compteurs intelligents au Royaume-Uni, contribuera à réduire les coûts des consommations des foyers, ainsi de rapporter des bénéfices. Une étude récente de l'université d'Oxford prévoit, que le déploiement devrait coûter 11,5 milliards de livres et en rapporter 25,3 milliards (le gouvernement britannique estime à 11,5 milliards de livres le coût total sur les vingt prochaines années et à 18,6 milliards de livres les bénéfices).

Le programme de gouvernement britannique prévoit le remplacement de 53 millions de compteurs (électricité et gaz) pour 30 millions de foyers. Un ensemble de spécifications techniques pour le comptage évolué électrique et gaz a été récemment publiées par le département en charge de l'énergie et du climat. Ce document présente les exigences minimales concernant les caractéristiques physiques, les fonctionnalités, les interfaces et la gestion des données [51].

**♦ Italie**

L'Italie est l'un des leaders européens dans l'installation des systèmes intelligents, elle a atteint 36 millions de compteurs installés en 2011, l'un des premiers objectifs souhaité est bien la réduction de la fraude.

Dès 2001 Enel a déployé massivement un système de comptage évolué, de type AMM et visant plus de 30 millions de clients pour un investissement global affiché de 2,1 milliards d'euros. Dans les faits, plus de 27 millions de client disposent de ces compteurs et, à compter de 2011, ils seront obligatoires pour 95 % des clients finals basse tension.

Le compteur évolué déployé dans le cadre du projet *Telegestore* d'Enel permet d'offrir au client un vaste choix d'offres tarifaires et d'agir sur le compteur à distance (télégestion). La fréquence de relève des données de consommation a toutefois été maintenue à un rythme bimestriel. Enel a conçu ses compteurs AMM, les a développés avec ses partenaires et les a fait construire en Chine. Cependant, l'interopérabilité des équipements n'a pas été suffisamment prise en compte dans l'architecture du projet [52].

**♦ Portugal**

Grace à son gisement important en soleil et en vent, ce qui fait que certains jours plus de 90 % de l'électricité est produite à partir d'énergies de sources renouvelables, le Portugal c'est lancé dans la course des smart grids.

Le projet Inovgrid, mené par EDP compte environ 6,1 millions de clients, associe des compteurs intelligents à un réseau intelligent. EDP a d'emblée intégré l'ensemble des éléments nécessaires au système d'information en créant une infrastructure dédiée. Ce projet a démarré en 2007 et a conduit à des expérimentations de différentes zones géographiques. Aujourd'hui, plus de 50 000 points sont gérés par les Smart grids dans le pays [53].

**♦ Suède**

La Suède veut faire face à la difficulté d'intervention chez les clients à cause de leur dispersion sur de grandes étendues. Dès 2001, des études relatives au comptage intelligent ont été menées. Ce déploiement de compteurs n'a pas été encadré par la loi : en effet, l'introduction de l'obligation de facturation mensuelle sur la base de données de

consommations réelles à partir du 1er juillet 2009 a créé une forte incitation à la transformation des parcs de compteurs basse tension par les opérateurs suédois. Effectivement, à cette date, 5,3 millions de compteurs évolués ont été déployés, servant principalement pour les relevés à distance [54].

♦ **Danemark**

Aujourd'hui la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique danois est significative, à hauteur de 18.7% pour l'année 2008 alors que la part issue des centrales CHP frôle les 55%. Une nouvelle voie prometteuse est en cours d'étude au Danemark, s'appuyant sur une autre initiative « verte » : les véhicules électriques. Lancé en février 2009, le projet EDISON « Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks » réunit plusieurs partenaires (dont IBM) pour concevoir l'infrastructure de Smart Grid nécessaire pour un déploiement de véhicules électriques à grande échelle. Donc le succès des véhicules électriques va d'un côté exiger que le Smart Grid s'adapte pour alimenter des points de rechargement des véhicules lorsque de l'énergie peu coûteuse est disponible. Fort de son rôle de pionnier pour les innovations énergétiques, et souhaitant conserver ce leadership, les autorités danoises continuent d'encourager d'ambitieux programmes dans le domaine de l'énergie. Dans ce contexte, de nouveaux chantiers d'innovation sont aujourd'hui en cours de déploiement, et sont au cœur des enjeux soulevés par les Smart Grids de demain [55]

☞ **2<sup>ème</sup> groupe : les Etats-Unis**

La définition américaine met beaucoup d'emphasis sur la fiabilité et la sécurité de l'alimentation. Ceci est vraisemblablement dû à la détérioration de la fiabilité de certains réseaux américains dans les dernières années, à la réduction de la marge de production, et à l'attention portée aux infrastructures critiques. Soulignant la fragilité du réseau américain, la panne d'août 2003, qui a touché le nord-est de l'Amérique du Nord (sauf le Québec), a été causée par une défaillance d'une ligne de transport lors d'une pointe de demande. Le Smart Grid américain reflète donc cette réalité, avec, par exemple, une attention particulière au contrôle des pointes de charge [31].

Donc aux USA, la sûreté du système électrique mais aussi l'augmentation de la consommation et la difficulté croissante à construire de nouvelles lignes de transport d'électricité sont à l'origine des travaux concernant les réseaux intelligents. Leur

développement a été stimulé par les 4.5 Milliards de dollars récemment alloués à la modernisation des réseaux par l'American « Recovery and Reinvestment Act » (ARRA) de l'administration Obama, qui assurent le cofinancement de quelque 130 projets d'un montant total de près de 10 Milliards de \$. Une des premières actions programmées concerne l'établissement d'une cartographie des besoins en matière de normes d'échange d'informations et d'interopérabilité des systèmes, ainsi que la réalisation d'un plan d'action dans ce domaine.

### ☞ **3<sup>ème</sup> groupe : Pays émergents (Asie Pacifique)**

Cette partie du monde a une tendance à faire une place de plus en plus importante aux énergies renouvelables et à la limitation des émissions de CO<sub>2</sub> avec en corollaire la prise de conscience que les réseaux intelligents ont un potentiel important dans ce domaine. Devant ce marché bourgeonnant, les gouvernements commencent à y injecter des capitaux. Mais la région est vaste et présente des différences considérables entre les pays. La Corée, le Japon et la Chine envisagent des développements de réseaux intelligents, dans leur acception large, à l'échelon national. L'Australie, l'Inde et l'Indonésie semblent plutôt s'orienter vers l'amélioration de l'efficacité des réseaux existants au travers de programmes de taille plus limitée.

Par exemple la croissance économique en Chine a doublé sa capacité de production d'électricité entre 2004 et 2008. L'énergie renouvelable connaît un essor important qui se traduit dans les grands centres qui se connectent directement au réseau de transmission. Le réseau chinois est de retour, et nécessite de la concentration de tous les efforts visant à promouvoir une transmission efficace. La Chine prévoit de construire un solide réseau intelligent pour une valeur d'environ 60 milliards d'euros. Son réseau est remarquablement différent de celui des réseaux américains et français, il est fortement centralisé et le smart grid chinois évolue dans un contexte d'accélération des besoins énergétiques. Les réseaux intelligents en Inde ont été mis en œuvre pour améliorer l'efficacité énergétique. Un exemple est d'équiper les stations de systèmes d'enregistrement automatiques dotés de capacités de test électriques avancés. La communication se fait par le biais des réseaux cellulaires avec une commande centrale et d'acquisition de données. Il convient également de minimiser les pertes d'énergie estimées à 30% de l'énergie totale supportée par le réseau indien actuel. La panne en Septembre 2012 avec ses effets économiques désastreux, donne un moyen concret de l'accélération de la mise en œuvre du projet de réseau intelligent.

### 4.3 Étude de cas : Un réseau intelligent aux conditions de la Sonelgaz

Le réseau Algérien rencontre beaucoup d'aléas comme les déséquilibres entre la production et la consommation, généralement en heure de pointe, se traduisent par des variations de fréquence ou de tension sur le réseau qui peuvent endommager les équipements électriques. Un déséquilibre trop important provoque des coupures et des pannes de courant qui mènent à de nombreux résultats qui se traduisent par de lourds investissements ou à entreprendre des décisions de lourdes conséquences en opérant des délestages volontaires, dans certain cas, ces événement imprévus peuvent engendrer le blackout. De plus la qualité du service est un souci majeur de l'exploitant : maintien de la tension et de la fréquence dans les plages contractuelles (problème de réglage du réseau), cela explicite l'objet de notre travail qui consiste à accompagner les gestionnaires de la SONELGAZ dans leur prise de décision afin d'adapter un model smart grid qui concorde aux réalités du pays en se basant sur les expériences des pays qui ont déjà une longueur d'avance sur ces réseaux intelligents.

#### 4.3.1 La solution peut venir de réseaux intelligents

L'intégration du Smart Grid au réseau traditionnelle peut apporter plusieurs avantages comme :

- L'optimisation de l'utilisation du réseau de distribution, grâce à une connaissance dynamique et précise des charges en tout point du réseau et en temps réel ;
- Des réseaux moins hiérarchisés, plus maillés pour des reconfigurations plus rapides, voire dynamiques ;
- Une maintenance prédictive des équipements afin de prévenir les défaillances prédictibles ;
- Une surveillance des paramètres révélateurs des défaillances les plus fréquentes ;
- L'amélioration de la qualité de distribution de l'énergie électrique ;
- L'optimisation de la durée de vie des équipements ;
- L'intégration et la gestion de la production distribuée (éolienne, photovoltaïque) l'utilisation optimale des capacités de production en réduisant les variations de la demande et donc l'écart entre les pics de demande et la consommation.

Le groupe Sonelgaz avait lancé l'installation des systèmes SCADA à travers le pays. Il permet la commande à distance des équipements à partir du centre de contrôle (salle de téléconduite). D'autre part, il permet de recevoir des données de télémessures, tout en

permettant aux opérateurs de traiter, en temps réel, les différents types d'incidents. Ses principaux avantages sont l'amélioration de la qualité de la fourniture de l'énergie électrique et la continuité de service, la réduction des délais de dépannage et la maîtrise des coûts d'exploitation.

### **4.3.2 Potentiel Algérien favorisant l'intégration des Smart grid**

#### **☞ Plan national de développement des énergies renouvelables**

Plus récemment, la loi de finance 2010 a consacré la création d'un fonds National pour les énergies Renouvelables destiné à financer toutes les actions et projets inscrits dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22 000 MW entre 2011 et 2030 dont 12000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10000 MW à l'exportation.

La production d'électricité devrait se situer entre 75 à 80 TWh en 2020 et entre 130 à 150 TWh en 2030. L'intégration massive du renouvelable dans le mix énergétique constitue en ce sens un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable.

A la faveur de ce programme, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétique et économique du pays visant à se rapprocher d'ici 2030 des 40% de production électrique destinée à la consommation nationale issue d'origine renouvelable. Le plan inclut la réalisation, d'ici 2020, d'une soixantaine de centrales solaires photovoltaïques et solaires thermiques, de fermes éoliennes et de centrales hybrides [56].

#### **☞ Production d'énergie solaire**

##### **1. Gisement important en soleil**

L'Algérie a un immense territoire avec plus de 2 millions de km<sup>2</sup> et dont plus de 80% est désertique et caractérisé par un important ensoleillement durant toute l'année (plus de 5 000 Wh/m<sup>2</sup>.j). Les régions du Sud algérien bénéficient d'une irradiation très importante constituant ainsi un environnement adéquat pour l'utilisation et au développement des systèmes d'énergie solaire [56].

## **2. Vers l'industrie photovoltaïque**

L'intégration de Rouiba éclairage dans le Groupe Sonelgaz en 2009 répond à une stratégie de développer non pas une simple usine mais une véritable industrie du solaire. La mission dont a été investie cette société est de réaliser une usine de fabrication de modules photovoltaïques. Celle-ci entrera en phase de production dès la fin 2013. Elle est prévue pour un fonctionnement continu pour une capacité de production annuelle de 116 MWc.

Sur la période 2021-2030, l'objectif est de dépasser un taux d'intégration supérieur à 80%.

Grâce à ces efforts, le Groupe Sonelgaz prévoit d'exporter non seulement l'électricité produite à partir du renouvelables mais aussi le savoir-faire et les équipements entrant dans la production d'électricité à partir des énergies renouvelables [56].

### **☞ Le potentiel éolien de l'Algérie**

Vu le coût élevé du transport de l'énergie vers les régions isolées, les installations éoliennes autonomes sont mieux adaptées et plus viables pour couvrir les besoins énergétiques des régions du sud de l'Algérie (décentralisation). Toutefois, Cette ultime étape qu'est l'application éolienne, ne peut se faire sans l'étude préalable de la source d'énergie qui est le vent. La carte de la vitesse annuelle moyenne du vent de l'Algérie a permis l'identification des sites ventés. Le gisement éolien est plus important au Sud qu'au Nord, plus particulièrement, dans la région du Sud-ouest limité par Timimoune, In Salah et Tamanrasset où la vitesse dépasse 6m/s à la hauteur de 30 m au-dessus du sol Par ailleurs, on a constaté que le Nord de l'Algérie est caractérisé globalement par des vitesses peu élevées avec l'existence de microclimats dans la région de l'Oranie, Tiaret, El Bayadh pour l'Ouest et toute la région qui s'étend de Bejaïa jusqu'à Biskra ainsi que la région de Annaba [56].

#### **○ Une première ferme pilote à Adrar**

L'année 2010 s'est clôturée par un pas historique sur le chemin de l'émergence d'une industrie algérienne de l'éolien. Le projet de réalisation d'une ferme éolienne d'une puissance totale de 10 MW à Adrar a connu la sélection du consortium devant le mener à terme sous la supervision de la Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz (CEEG), filiale à 100% du Groupe Sonelgaz. A travers ce projet pilote, le Groupe Sonelgaz vise un double objectif : celui de développer une technologie éolienne mais, aussi, de tester le comportement de ce type d'équipements en milieu saharien caractérisé par de fortes variations de températures et par des vents de sable pouvant influencer sur leur fonctionnement [56].

### **4.3.3 Comment utiliser la méthode AHP dans le cadre des projets réseaux intelligents ?**

L'objectif principal est de chercher un réseau intelligent qui répond à certain critère comme celui de la fiabilité, la sécurité et de la durabilité de l'électricité, le premier critère répond à la définition américaine, cependant, le second critère est inspiré de celui de l'Europe, portant sur le développement de la durabilité. La fiabilité et la sécurité des systèmes sont associés à certains sous-critères, tels que: la disponibilité de l'offre, la maintenabilité du système (en fait, cela concerne l'applicabilité des actions de maintenance mis en évidence à la fois par leur efficacité et leur facilité de mise en œuvre), la maîtrise des suivi de la demande de pointe, la minimisation des coûts d'exploitation due à des interruptions et des pertes. Comme le développement de la durabilité est large et englobe un grand nombre de domaines d'activités de l'humanité, dans ce travail, ce critère est remplacé par la durabilité de l'électricité. Elle est formulée par: le développement de l'énergie propre et la protection de l'environnement, l'efficacité énergétique (optimisation par l'automatisation et la régulation, suivi de la maintenance et l'amélioration des performances du système et la maîtrise des bases) et la minimisation des coûts des services publics. On notera que l'évaluation des priorités pour ces deux principaux critères dépend de la période de planification. Pour le court et moyen terme, la priorité est attribuée à la fiabilité et à la sécurité, mais pour le long terme, la valeur élevée est supposé pour la l'électricité durable. Comme pour les scénarios, trois concepts concurrents sont considérés.

## **4.4 Application de la méthode AHP**

Dans cette application on développe un processus d'aide à la décision destiné aux gestionnaires de la Sonelgaz afin de distinguer un modèle smart grid qui répond aux exigences du réseau Algérien en se basant sur les expériences des pays ayant déjà une avancée dans ce domaine. La diversité des concepts des réseaux intelligents, selon les pays et selon leurs objectifs nous a amené à nous limiter aux visions développées par trois groupes de pays cités ci-dessus : l'Europe (Qui est orientée vers le développement durable), Amérique (Orientée vers la fiabilité et la sécurité de l'alimentation), et certains pays émergents chacun avec ses visions et ses objectifs.

La méthode choisie est la méthode AHP qui a été déjà utilisée dans ce genre de décision et qui a abouti à des résultats satisfaisants. Le but étant de trouver le concept Smart grid à adopter au

réseau de la Sonelgaz, avec deux critères essentiels : l'électricité durable et la fiabilité et la sécurité de l'alimentation.

#### **4.4.1 Les critères de décision**

Les étapes de la méthode AHP sont: la structuration hiérarchique, l'établissement des priorités et la cohérence des jugements. Le procédé comprend l'analyse de sensibilité qui donne au décideur la possibilité de changer les valeurs des poids des critères ou à éliminer les critères qu'il juge pertinent. Les principaux critères et sous-critères sont les suivants :

- **Critère 1 : fiabilité et sécurité des systèmes énergétiques**

Ses sous-critères sont :

- La disponibilité de l'offre.
- Applicabilité de l'action maintenance.
- Surveillance et contrôle du pic de la demande.
- La minimisation des coûts d'exploitation.

- **Critère 2 : La durabilité de l'électricité**

Ses sous-critères sont :

- Développement d'énergie propre et protection de l'environnement.
- L'efficacité énergétique.
- La minimisation des coûts des services.

#### **4.4.2 Construction de la hiérarchie**

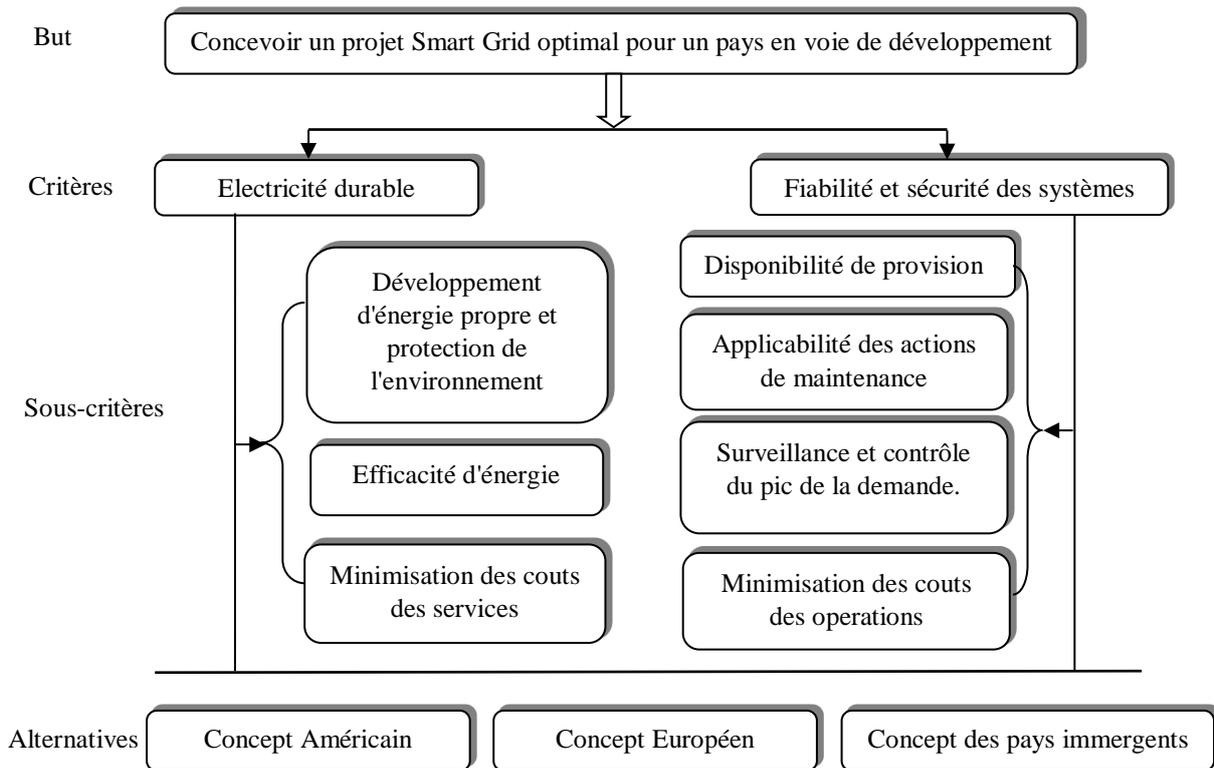


Fig.12 : Construction de la hiérarchie

#### 4.5 Développement d'un programme informatique pour le calcul

Un programme informatique a été déjà développé par l'équipe FSE2, dans le cadre d'une thèse de doctorat en Génie Electrique au laboratoire LAMOS (Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systems Electrique) implémenté sous Matlab. Il a été vérifié que ce programme abouti aux mêmes résultats donnés par le logiciel commercialisé par Weteker avec la fondation Developpers of SuperDecisions [57].

Le programme est composé de deux parties séparées. Le premier programme est pour la comparaison binaire, il calcule le vecteur de priorité (poids) des critères, sous critères ou alternatives ainsi l'indice de cohérence afin d'éviter l'incohérence des propositions. Le deuxième programme est fait pour la synthèse des résultats. Notons que les résultats mentionnés dans ce travail sont issus d'une simulation sur ce programme.

## 4.6 Résultats et interprétations

Afin de mettre en exergue l'intérêt des résultats et leur impact sur le développement à long terme, nous avons travaillé sur le court terme et sur le long terme exprimés avec deux scénarios possibles.

### 4.6.1 A court et à moyen terme

Comme il a été mentionné dans le deuxième chapitre, La première étape dans la méthode AHP consiste à comparer les deux critères par rapport au critère immédiatement supérieur (comparaison par paire).

**1<sup>ère</sup> comparaison :** Est de comparer la « fiabilité et la sécurité des systèmes » avec la « durabilité d'électricité » par rapport à l'objectif. Les résultats sont affichés dans le tableau 7. Les pays immergeants ont besoin d'œuvrer pour une électricité durable, pour réduire les formes locales de pollution, d'atteindre leur objectif sociétal et économique. Ensuite, dans cette partie, une priorité est donnée à la fiabilité et à la sécurité électrique.

	Durabilité d'électricité (DE)	Fiabilité et sécurité (FS)	priorité
DE	1	1/7	0.1250
FS	7	1	0.8750
	$\lambda_{max}=2$	CI=0	CR= /

Tableau 7 : Comparaison des critères

**2<sup>ème</sup> comparaison :** C'est la comparaison des sous-critères par rapport au critère approprié. En premier on compare les trois sous-critères (Développement d'énergie propre et protection de l'environnement (DEPPE), L'efficacité énergétique (EE), La minimisation des coûts des services (MCS) par rapport à leur critères père qui est (La durabilité d'électricité), les résultats sont portés sur le tableau 8.

	Développement d'énergie propre et protection de l'environnement (DEPPE)	Efficacité énergétique (EE)	La minimisation des coûts des services (MCS)	Priorité
DEPPE	1	1/2	3	0.3090
EE	2	1	5	0.5816
MCS	1/3	1/5	1	0.1095
	$\lambda_{max}= 3.0037$	$CI= 0.0018$	$CR= 0.0032$	

Tableau 8 : Comparaison des sous critères

L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables sont censées être les deux piliers de l'électricité durable. D'après les résultats du tableau 8, l'efficacité énergétique remporte la plus grande priorité. Cependant, les recettes des investissements dans le cas du développement des énergies renouvelables, sont beaucoup plus longues, mais elles peuvent être efficaces et conséquentes à long terme.

Ensuite, on passe à la comparaison par paires des quatre sous critères en tenant compte de leur critère père qui est l'efficacité énergétique, les résultats de comparaisons sont repris dans le tableau 9 ci-après.

Sous Critères	disponibilité de l'offre (DO)	l'applicabilité de l'action maintenance (AAM)	surveillance et contrôle du pic de la demande (SCPD)	minimisation des coûts d'exploitation (MCE)	Priorité
DO	1	1/2	1/3	2	0.1519
AMM	2	1	1/2	4	0.2826
SCPD	3	2	1	6	0.4896
MCE	1/2	1/4	1/6	1	0.0759
		$\lambda_{max}= 4.0104$	$CI=0.0035$	$CR=0.0038$	

Tableau 9 : Comparaison des sous critères

Les Etats-Unis et l'Inde sont les plus familiers avec le phénomène du blackout qui causent de lourds dommages économiques et sociaux. Il survient surtout suite à une forte demande d'électricité (la période de pointe estivale et le pic de l'hiver). Le tableau 9, montre qu'une grande importance est accordée à la surveillance et au contrôle de la demande de pointe, il est

suivi par l'applicabilité de l'action de maintenance qui rend compte de la taille du système et de l'efficacité des opérations afin de maintenir un approvisionnement disponible d'électricité.

**3<sup>ème</sup> Comparaison :**

C'est la comparaison des alternatives par rapport aux sous critères, donc on aura au total sept comparaisons donc sept tableaux.

**1. Par rapport au « développement d'énergie propre et protection de l'environnement »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	1/4	3	0.2109
CE	4	1	7	0.7049
CPE	1/3	1/7	1	0.0841
	$\lambda_{max}= 3.0324$	$CI= 0.0162$	$CR= 0.0279$	

Tableau 10 : Comparaison des Alternatives

**2. Par rapport à « L'efficacité énergétique »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	1/2	1/4	0.1265
CE	2	1	1/5	0.1865
CPE	4	5	1	0.6870
	$\lambda_{max}= 3.0940$	$CI= 0.0470$	$CR= 0.0810$	

Tableau 11 : Comparaison des Alternatives

**3. Par rapport à « La minimisation des coûts des services »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	1/5	1/2	0.1220
CE	5	1	3	0.6483
CPE	2	1/3	1	0.2297
	$\lambda_{max}= 3.0037$	$CI= 0.0018$	$CR= 0.0032$	

Tableau 12 : Comparaison des Alternatives

**4. Par rapport à la « disponibilité de l'offre »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	3	7	0.6817
CE	1/3	1	2	0.2158
CPE	1/7	1/2	1	0.1025
	$\lambda_{max} = 3.0026$	CI= 0.0013	CR= 0.0023	

Tableau 13 : Comparaison des Alternatives

**5. Par rapport au « l'applicabilité de l'action maintenance »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	5	2	0.5816
CE	1/5	1	1/3	0.1095
CPE	1/2	3	1	0.3090
	$\lambda_{max} = 3.0037$	CI= 0.0018	CR= 0.0032	

Tableau 14 : Comparaison des Alternatives

**6. Par rapport au « surveillance et contrôle du pic de la demande »**

	Concept Américain (CA)	Concept Européen (CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	3	7	0.6817
CE	1/3	1	2	0.2158
CPE	1/7	1/2	1	0.1025
	$\lambda_{max} = 3.0026$	CI= 0.0013	CR= 0.0023	

Tableau 15 : Comparaison des Alternatives

7. Par rapport au « minimisation des coûts d'exploitation »

	Concept Américain(CA)	Concept Européen(CE)	Concept pays immergents (CPE)	Priorités
CA	1	2	1/3	0.2385
CE	1/2	1	1/4	0.1365
CPE	3	4	1	0.6250
	$\lambda_{max}= 3.0183$	$CI= 0.0091$	$CR= 0.0158$	

Tableau 16 : Comparaison des Alternatives

▪ Synthèse des résultats

	Efficacité énergétique			Fiabilité et sécurité des systèmes				
Poids des critères	0.1250	0.1250	0.1250	0.8750	0.8750	0.8750	0.8750	
Poids des sous-critères	DEPPE	EE	MCS	DO	AMM	SCPD	MCE	
	0.3090	0.5816	0.1095	0.1519	0.2826	0.4896	0.0759	
Concept Américain	0.2109	0.1265	0.1220	0.6817	0.5816	0.6817	0.2385	<b>0,5613</b>
Concept Européen	0.7049	0.1865	0.6483	0.2157	0.1095	0.2158	0.1365	<b>0,2069</b>
Concept pays immergents	0.0841	0.6870	0.2297	0.1025	0.3090	0.1025	0.6250	<b>0,2318</b>

Tableau 17 : Synthèse des résultats

Après une série de calcul et de comparaison par paires, nous avons obtenu les résultats regroupés dans le tableau 17. Dans ce dernier, nous déduisons que le concept américain a remporté la plus haute priorité, suivie par les pays immergeants et enfin le concept européen. Cela se justifie par la nécessité immédiate des pays en développement à répondre aux besoins des millions de personnes qui n'ont toujours pas accès à des services énergétiques fiables, raisonnables et socialement acceptables. Cela constitue une condition préalable à la réduction de l'extrême pauvreté et de donner accès à l'électricité.

4.6.2 A long terme:

Il a été démontré que le changement climatique est causé par les émissions liées à l'énergie posant de nombreux risques d'atteintes à la santé de la population pour les pays en voie de développement. Une participation active de ces pays est recommandée, dont les efforts visant à dé-carboniser les systèmes énergétiques de la planète. Il s'agit essentiellement de contribuer

et aider à éviter une catastrophe environnementale mondiale. Dans cette partie, une priorité est accordée au développement des énergies propres et protection de l'environnement.

	Durabilité d'électricité (DE)	Fiabilité et sécurité (FS)	priorité
DE	1	8	0.8889
FS	1/8	1	0.1111
	$\lambda_{max}= 2$	CI= 0	CR= /

Tableau 18 : Comparaison des critères

	Développement d'énergie propre et protection de l'environnement (DEPPE)	L'efficacité énergétique (EE)	La minimisation des coûts des services publics (MCS)	Priorité
DEPPE	1	5	7	0.7396
EE	1/5	1	2	0.1666
MCS	1/7	1/2	1	0.0938
	$\lambda_{max}= 3.0142$	CI= 0.0071	CR= 0.0122	

Tableau 19 : Comparaison des sous critères

	disponibilité de l'offre (DO)	l'applicabilité de l'action maintenance (AAM)	surveillance et contrôle du pic de la demande (SCPD)	minimisation des coûts d'exploitation (MCE)	Priorité
DO	1	1/2	1/3	1/5	0.0882
AMM	2	1	1/2	1/3	0.1569
SCPD	3	2	1	1/2	0.2717
MCE	5	3	2	1	0.4832
	$\lambda_{max}= 4.0145$	CI= 0.0048	CR= 0.0054		

Tableau 20 : Comparaison des sous critères

D'un côté, l'économie de l'énergie renouvelable ne dépend pas seulement du coût de la conception et de l'installation de ses systèmes, qui peut varier considérablement, mais également des frais d'entretien et d'exploitation du système au cours de sa durée de vie en exploitation, qui s'étend généralement entre 25 à 30 ans. De l'autre côté, l'insertion des énergies renouvelables au réseau électrique peut gérer, contrôler la demande de pointe et minimiser les coûts de fonctionnement. Dans le tableau 20, la plus haute priorité est donnée à la réduction des coûts d'opération suivie par la maîtrise de la demande de pointe.

	Durabilité d'électricité			Fiabilité et sécurité				
Poids des critères	0.8889	0.8889	0.8889	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	
Poids des sous-critères	<i>DEPPE</i>	<i>EE</i>	<i>MCS</i>	<i>DO</i>	<i>AMM</i>	<i>SCPD</i>	<i>MCE</i>	
	0.7396	0.1666	0.0938	0.0882	0.1569	0.2717	0.4832	
Concept Américain	0.2109	0.1265	0.1220	0.6817	0.5816	0.6817	0.2385	<b>0,2178</b>
Concept Européen	0.7049	0.1865	0.6483	0.2157	0.1095	0.2158	0.1365	<b>0,5630</b>
Concept pays émergents	0.0841	0.6870	0.2297	0.1025	0.3090	0.1025	0.6250	<b>0,2192</b>

Tableau 21 : Synthèse des résultats

Après une série de calculs standards, les comparaisons par paires entre les critères et sous-critères par rapport à l'objectif, nous a permis de développer une synthèse, où les résultats sont donnés dans le tableau 21. D'où nous avons déduit que le concept européen a remporté la plus haute priorité, suivie par celui des pays émergents et enfin le concept américain. Cela se justifie par la contribution des pays en développement dans une transition mondiale à déployer, les systèmes énergétiques à faible émission de dioxyde de carbone parce que leurs émissions augmentent rapidement et posent des problèmes environnementaux, tels que le changement climatique et la mauvaise qualité de l'air.

## **Conclusion**

L'augmentation de la consommation d'énergie électrique provoque des niveaux élevés de pollution dans l'air, et d'autres formes de dégradation de l'environnement et ce n'est que récemment que cet impact environnemental est devenu une préoccupation. Pour les pays en développement et les populations rurales, il est nécessaire de participer et de promouvoir la durabilité de l'énergie. A court et à moyen terme, les pays en développement doivent suivre l'exemple des Etats-Unis, qui se justifie par la nécessité d'atteindre des objectifs socio-économique, puisque les technologies énergétiques durables sont susceptibles de rester très coûteuses. Par contre, à long terme, l'objectif de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> peut être aligné dans une large mesure à la poursuite de cette autre énergie que le développement des ressources renouvelables locales et la réduction des formes locales de pollution. Dans ce chapitre nous avons essayé d'étudier cette question en utilisant la méthode AHP, avec les expériences d'autres pays comme des alternatives, et des critères spécifiques à SONELGAZ. Les résultats sont très prometteurs, car il peut contenir trois modèles qui sont facilement adaptables aux conditions algériennes. On note que ce travail a été soumis et accepté pour une communication orale à SMART2013 à Rome et que les experts qui ont eu à examiner cette dernière ont émis une remarque encourageante dans le sens où avec un développement notable dans l'article ce dernier pourrait constituer un article de journal.

## Conclusion générale

L'histoire des réseaux et des systèmes électriques permet de comprendre les raisons de leur développement actuel, leur mode de fonctionnement mais aussi leur limitation par rapport à un avenir énergétique en pleine évolution. Il s'agit du souci de l'insertion des ressources du renouvelable et de l'émergence d'autres utilités tel que le véhicule électrique invoquant la décentralisation de la distribution de l'énergie électrique d'une part. De l'autre part, le vieillissement de certains réseaux et le problème de gestion des consommations de pointes exigent l'introduction des technologies nouvelles de l'information et de communication. Cet ensemble d'outils constitue le smart système, qui combiné au réseau conventionnel donne naissance à un smart grid.

L'objectif de notre travail étant ; de proposer un modèle Smart grid qui concorde avec les exigences ou les conditions du réseau Algérien en s'appuyant sur les expériences des autres pays ayant déjà une avancée considérable dans ce domaine.

Dans notre pays, nous sommes en présence d'un marché régulé et sous le monopole d'une seule entreprise de distribution, donc il est difficile de s'orienter ou de se projeter dans l'avenir car une éventuelle mutation dans le processus de décision est envisageable, c'est-à-dire rentrer dans un environnement concurrentiel et dans un marché dérégulé. Néanmoins en se basant sur une méthode d'aide à la décision multicritère, AHP, nous avons décomposé la problématique d'intégration des smart systèmes et l'insertion des ressources du renouvelable sous forme d'une hiérarchie de décision où une place confortable a été réservée aux avis des experts. Cela a contribué à apporter une certaine transparence dans le processus de décision.

Les résultats de simulation que nous avons effectué sur un programme informatique réalisé au sein de l'équipe de recherche FSE2 du LAMOS et dans le cadre d'une thèse de doctorat en Génie électrique, sont prometteurs et très exploitables.

Le smart grid Algérien tel que envisagé dans notre travail, répondra aux deux définitions majeures prônées par les USA et les Européens, à savoir : Assurer la sécurité de l'alimentation et la fiabilité des systèmes pour le premier et réfléchir au développement durable d'une manière générale et l'électricité durable en particulier pour le deuxième.

Dans le domaine de décision, il a été remarqué que toutes les méthodes se valent, elles se différencient sur la base des objectifs et critères considérés au présent. Il serait utile de

développer pour cette problématique et de simuler les critères économiques à avenir incertain avec l'objectif de considérer les attitudes des dirigeants et les réactions des consommateurs par rapport à cette nouvelle technologie.

Il serait aussi judicieux de réfléchir à l'apport des smart grids dans la moralisation de la société par rapport au produit électricité : c'est à dire consommer selon le besoin et non selon le désir. Il est souhaitable de modéliser le problème de règlement des factures impayées par des foyers démunis.

## Références bibliographiques :

- [1] Mourad Hamdan, « Pour une gestion intelligente de l'énergie électrique », 2012
- [2] SONELGAZ, Visa COSOB N° 06 / 01, 2006.
- [3] SONELGAZ, Rapport d'Activité et compte de gestion consolidé, 2008.
- [4] SONELGAZ, «Rapport d'Activité et compte de gestion consolidé,» 2009.
- [5] SONELGAZ, «Rapport d'Activité et compte de gestion consolidé,» 2010.
- [6] [http://www.sonelgaz.dz/rubrique.php?id\\_rubrique=5](http://www.sonelgaz.dz/rubrique.php?id_rubrique=5).
- [7] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hi%C3%A9rarchie#Histoireetd.C3.A9finition>, Avril 2013
- [8] Site web, <http://www.lespetitscitoyens.com>, 2013
- [9] SONELGAZ,«Rapport d'activités et comptes consolidés des sociétés du groupe,»2011.
- [10] M. R. E. Had, «Bonne gouvernance des secteurs électriques nationaux, Facteur principal pour la réalisation de l'accès a l'électricité pour tous le peuple africain,» 2009.
- [11] Alain ROGER, « Rôle et place des experts dans une société de l'information », XII° congrès de l'AGRH, Septembre 2001
- [12] Dr G Zara, « La prise de décision » Cours de management.
- [13] Wikipédia, «Prise de décision,». [En ligne]. Available: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Prise\\_de\\_d%C3%A9cision#Les\\_diff.C3.A9rents\\_types\\_de\\_d.C3.A9cisions](http://fr.wikipedia.org/wiki/Prise_de_d%C3%A9cision#Les_diff.C3.A9rents_types_de_d.C3.A9cisions).
- [14] DIEMER Arnaud, cours « Economie d'entreprise, Chapitre 4 : L'entreprise, un centre de décisions, IUFM d'Auvergne.
- [15] M. M. I. Eddine, *Systèmes interactifs d'aide à la décision multicritère pour le recrutement d'un candidat pour le poste d'administrateur*, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, 2011.
- [16] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Recherche\\_op%C3%A9rationnelle](http://fr.wikipedia.org/wiki/Recherche_op%C3%A9rationnelle), 2013.

- [17] Chanoune Nabil, Touazi Djilali « Aide multicritère à la décision en logistique, utilisation de la méthode AHP pour la problématique de choix des fournisseurs », Mémoire d'Ingénieur en recherche opérationnelle, Université de Bejaia.
- [18] Renaud Caillet, « Analyse multicritère : Etude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie », Montréal Aout 2003.
- [19] H.Yamnahakki, « Analyse multicritère d'aide à la décision Méthodes & Concepts, 2010.
- [20] R. Medjoudj, D. Aissani and K.D. Haim, «Reliability criteria for customer satisfaction and financial success decision-making: Application to electrical distribution system ».
- [21] Thomas L. Saaty, «Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the measurement of Intangible Factors: The Analytic Hierarchy/Network Process, 2008.
- [22] Yang Liu, “Access Network Selection in a 4G Networking Environment”, memoir de Master, université de Waterloo, 2007
- [23] Fairouz Iberraken, Rabah Medjoudj, Djamil Aissani, « Smart grids project moving to sustainable electricity and efficient energy use: Decision making using analytic hierarchy process
- [24] Note de cours N°9 « Analytic Hierarchy Process », Ecole de technologie supérieur université de Québec.
- [25] M. Berrittella, A. Certa, M. Enea and P. Zito, « An Analytic Hierarchy Process for The Evaluation of Transport Policies to Reduce Climate Change Impacts», 2007.
- [26] Marta Bottero, Giulio Mondini, Marco Valle « The use of the Analytic Network Process for the sustainability assessment of an urban transformation project», 2007.
- [27] Thomas L. Saaty, « Fundamentals of the Analytic Network Process », 1999, University of Pittsburg USA.
- [28] Thomas Vallée, « Evaluation des politiques d'investissement-volume 2», Institut d'économie et de management de Nante, 2012-2013.
- [29] L. Denant-Boèmon, «Economie de l'incertain », Université Rennes1.

- [30] isoz@science.ch, « Ingénierie de la gestion de projet, V4.1 R1633 », 2013.
- [31] Frédéric Bauchot, Benoit Marcoux, « Les visages de Smart Grid dans le monde », 2010.
- [32] SAHLI NABIL, « Implémentation sur simulateur TOSSIM 'TinyViz' des algorithmes à courbes elliptiques pour les systèmes SCADA et proposition d'une architecture de sécurité : Application dans le secteur de l'énergie et des mines algérien », Université Mentouri De Constantine, 2011.
- [33] Pierre BONNET, « Introduction A La Supervision », 2007-2008
- [34] F. Zidane, cours « planification et conduite des réseaux électriques », Université A-Mira de Bejaïa, 2013.
- [35] Revue du Groupe ABB, « les réseaux électrique de future », Zurich, 2010.
- [36] NOOR, « A l'heure de la réforme », revue trimestrielle du Groupe Sonelgaz N°01, Avril 2005.
- [37] Frédéric Klopfert, Grégoire Wallenborn, « Les compteurs intelligents sont-ils conçus Pour économiser de l'énergie ? », Janvier 2011.
- [38] CHRISTI, « les compteurs intelligents prenons le temps d'y réfléchir », Analyse 2009.
- [39] ECHOS, « bulletin d'information édité par la direction de la communication et de l'image », Juin-Juillet 2011.
- [40] Bouchala.S & Brahimi.K « Les aspects techniques des projets Smart Grids ; Application aux conditions de SONELGAZ. », Mémoire de fin d'étude soutenu le 27 Juin 2013.
- [41] [http://fr.wikipedia.org/wiki/compteur\\_%C3%A9lectrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/compteur_%C3%A9lectrique).
- [42] LIVRE BLANC, « réseaux électrique intelligent », Mars 2011.
- [43] <http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>.
- [44] Les smart grid, les réseaux électriques du futur PDF « adec technopole » réalisé par version 2- Juin 2011.
- [45] Eric Morel, « Smart Grids : Une vision systémique et intégrative de leur développement », Octobre 2010
- [46] [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Smart\\_grid&action=edit&section=](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Smart_grid&action=edit&section=)

- [47] « Rapport du GT réseaux intelligents », Mai 2010.
- [48] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-allemande>.
- [49] [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_en\\_France](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_France).
- [50] « Compteurs communicants : ERDF poursuit l'expérimentation de Linky »,2011.
- [51] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-grande-bretagne>.
- [52] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-Italie>.
- [53] « Smart Meter : coopération des gestionnaires de réseaux énergétiques nationaux », Danielle Schmit, 2012.
- [54] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-pays-bas>.
- [55] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-portugal>.
- [56] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=europe-suede>.
- [57] Whitaker, R. and Adams, W., Developers of SuperDecisions Software, Decisions Foundation, Pittsburgh, 2005, available at <http://www.superdecisions.com>.

## Annexe 1 : Les abréviations des filiales et sociétés en participation

<b>Les filiales</b>	
Sonelgaz	Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz
SPE	Société Algérienne de Production de L'Electricité
GRTE	Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité
GRTG	Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz
SDA	Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger
SDC	Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre
SDE	Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est
SDO	Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest
OS	Opérateur Système Electrique
SKT	SHARIKET Kahraba Terga
SKD	SHARIKET Kahraba Koudiet Eddraouech
SKB	SHARIKET Kahraba Berrouaghia
SKS	SHARIKET Kahraba Skikda
KAHRIF	Société de Travaux d'électrification
KANAGHAZ	Société de Réalisation des Canalisation
KHRAKIB	Société de Travaux de Montage Electriques
INERGA	Société de Réalisation d'Infrastructures
ETTERKIB	Société de Montage Industriel
CEEG	Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et de Gaz
MEI	Société de Maintenance des Equipements Industriels
MPV	Maintenance Prestations Véhicules
SAT-INFO	Société Algérienne des Techniques d'Information
CAMEG	Comptoir Algérien du Matériels Electrique et Gazier
SKMK	Shariket Khadamet Mouhaouilat Kahrabaia
TRANSMEX	Société de Transport et de Manutention Exceptionnels des Equipements Industriels et Electrique
SPAS	Société de prévention et d'Action en sécurité
CREDEG	Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz
IFEG	Institut de Formation en Electricité et Gaz
FOSC	Fonds des Œuvres Sociales et culturelles des Travailleurs des Industries Electriques et Gazières
SMT	Société de Médecine de Travail des Industries Electriques et Gazières
ELIT	El Djazair Information Technology
SOPIEG	Société de Patrimoine Immobilier des Industries Electriques et Gazières
HMP	Hôtel Mas des Planteurs
<b>Les participations</b>	
AEC	Algerian Energy Company
AETC	Algerian Energy Telecom Company
ALGESCO	Algerian Engineering Service
SAFIR	Société Algero Française d'ingénierie et de Réalisations
NEAL	New Energy Algeria
SKH	Shariket Kahraba Hajret En Nous

**Résumé :** Ce mémoire traite à la fois l'intégration des systèmes intelligents et l'insertion des ressources énergétiques renouvelables dans les réseaux classiques (conventionnels), et de pouvoir se déplacer vers l'électricité durable. Pour tenter ces objectifs, les gestionnaires des systèmes sont appelés à prendre des décisions fondées sur des critères adéquats et des scénarios réalistes inspirés de l'expérience de certains pays développés. La méthode de décision multicritère adaptée est le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) jugé comme un processus transparent et très recommandé dans le cas d'une entreprise assurant des services publics. Le cas du projet algérien est considéré comme une application de cas réels et les résultats sont très prometteurs aidant certains pays producteurs du pétrole à suivre cette politique et d'initier des projets de développement durable.

**Abstract :** This paper deals with both integration of smart systems and insertion of renewable energy resources to the traditional (conventional) power systems to move towards sustainable electricity. To attempt these objectives, system's managers are called to make decisions based on both adequate criteria and realistic scenarios inspired from the experiences of some developed countries. The multi-criteria decision method adapted is the analytic hierarchy process (AHP) judged as a transparent process and quite recommended in the case of an enterprise assuring public services. The case of Algerian project is taken as a real case application and the results are very promoting helping some oil producer's countries to follow this policy and to initiate the sustainable development projects.