

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR -ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة .  
Année 2011

*FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR*  
*DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE*

# THESE

*Présentée En vue de l'obtention du*  
*Diplôme de Doctorat*

**ETUDE DE LA STABILITE DE TENSION PAR LES**  
**SYSTEMES MULTI\_AGENTS (SMA)**

**Option**

*Réseau électrique*

**par**

*Mme Benafia Nadia*

**Directeur de thèse : Dr. Diabi Rabah**

*université d' Annaba*

**DEVANT LE JURY**

<b>Président</b>	<b>: Mr</b>	<b>LABAR Hocine</b>	<b>MC</b>	<b>université d'Annaba</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Mr</b>	<b>MAUN J. Claude</b>	<b>Pr</b>	<b>université de Bruxelles</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Mr</b>	<b>BOUNAYA Kamel</b>	<b>MC</b>	<b>université de Guelma</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Mr</b>	<b>OUARI Ahmed</b>	<b>MC</b>	<b>université d'Annaba</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Mr</b>	<b>DIB Djalal</b>	<b>MC</b>	<b>université de Tébessa</b>

## ملخص

في السنوات الأخيرة، أدى عدم استقرار توتر الضغط الكهربائي إلى انهيار العديد من الشبكات التي تم الإبلاغ عنها في كثير من البلدان ؛ ظاهرة عدم الاستقرار ناجمة عن نقل حمولة كبيرة جدا و نقلها عبر مسافات طويلة. إن الزيادة المفاجئة في الحمولة قد يؤدي أيضا إلى عدم استقرار الضغط الكهربائي، ونقص في احتياطي الاستطاعة الرد الفعلية بالخصوص في القضبان الحساس.

ولهذا السبب ينبغي لشبكة الكهربائية تعويض بشكل دائم الاستهلاك و الاستطاعة الفعلية و الرد الفعلية الضائعة عن طريق سبل الإنتاج و سبل تعويض الطاقة الرد الفعلية في القضبان الحساس و مع ذلك مراقبة وتنسيق عملية التوليد و نقل و توزيع الطاقة ويحدث بطريقة مركزية فقط مع عدد قليل من المواقع (مراكز مراقبة)، فضلا عن إدارة حالة الطوارئ الناتجة في الشبكات الكهربائية هذا الأخير لديه سلبيات كثيرة فان العطل في إحدى مراكز المراقبة قد يؤدي إلى انهيار كل الشبكة الكهربائية لهذا السبب يجب توفر المعلومات عن الشبكة حتى نتجنب انهيار الضغط الكهربائي.

نهجنا يوفر نظام متعدد الوكيل الذي يتألف من نوعين من وكلاء وكيل لمراقبة القضبان و وكيل لمراقبة جهاز تعويض الطاقة الرد الفعلي ليتحكم في تعديل الضغط الكهربائي و ذلك اعتمادا على المعلومات المحلية وهي وسيلة لتحقيق اللامركزية في المعلومات لان فقدان هذه الأخيرة يمكن أن يؤدي إلى سلسلة من الحمل الزائد الذي هو سبب انهيار الشبكة الزائد الذي هو سبب انهيار الشبكة. فان تحليل المشكل إلى مشاكل فرعية قد تؤدي إلى استنتاج أن معظم المتغيرات المحلية وكل مشكل فرعي يحتوي على جزء من الهدف (ف) وبعض القيود. فان الوكلاء يعملون بشكل مترامن ، ويمكن تحسين أجهزة التحكم مثل المرحلات ، منظمات الفولت . العلاقة بين البرامج المعلوماتي وأنظمة التحكم الثابتة لكنها يجب الرد على الطلبات غير المنتظرة.

## ABSTRACT

In recent years, voltage instabilities which are responsible for several major power network collapses have been reported in many countries.

Voltage instability phenomena have been known to be caused by heavily loaded system where large amounts of real and reactive powers are transported over long transmission lines. It may also occur due to an unexpected raise in the load level, sometimes in combination with an inadequate reactive power support at critical network buses.

For this reason the transmission system of electricity must compensate in permanence the consumption and loss of active and reactive power through the means of production and compensation. However, the control and coordination of the process to generate, transmit, and distribute power still occur in centralized manner with only few sites (control centers) managing mission \_critical tasks for power generation and delivery.

This centralized scheme has a clear drawback; a failure in one of the control centers might result in the total collapse of the system .Therefore, it is highly desirable to have enough intelligence and redundancy throughout the system to survive failures. Our approach proposes a multi agent system consists of several Bus agent (BAGs) and compensator agent (BACs) capable of reducing tension within the permissible limits, based on local information, this being a way of decentralizing the information because the loss of information can lead to a cascade of overload that can lead to voltage collapse. In the decomposition of problem ( $P$ ) into  $m$  sub-problems was considered that most of the equality or inequality constraints from electric grid are sparse (expressed in terms of only few variables) and local (variables come from a small geographic area), each sub-problem (assigned to one agent) contains a part of the objective of ( $P$ ) and some of its constraints.

The agents will work on their sub-problems asynchronously. Agents can improve the control devices, such as relays, voltage regulators or Flexible AC Transmission Systems (FACTS) devices.

The connection between software entities and automation subsystems are fixed (generally defined at design-time), but the systems should deal with unanticipated requests.

## RESUME

Ces dernières années, l'instabilité de tension est responsable de plusieurs effondrements des réseaux qui ont été signalés dans de nombreux pays. L'instabilité de la tension est engendrée par diverses causes internes et externes au système électrique. Relativement aux régimes de fonctionnement l'instabilité de la tension est principalement impliquée suite à des variations inadmissibles des flux de puissances de ligne (puissance de charge) dans les réseaux électriques de manière générale. La sensibilité de la tension à ces variations est particulièrement marquée dans les réseaux de transport (ligne) sur des grandes distances; où, à l'impact de l'effet des puissances et des longueurs, se superpose celui de l'effet, alors non négligeable, de la répartition des paramètres du système. L'augmentation subite (rapide, imprévisible ....) de la charge peut, en l'absence des moyens de contrôle, conduire également à l'instabilité de la tension; mais la relation fondamentale entre la tension et la puissance réactive fait que la stabilité de la tension est essentiellement tributaire du contrôle des flux de puissance réactive. De ce fait, la réserve en puissance réactive au niveau des jeux de barres (critiques) s'avère déterminante.

Toutefois, le contrôle et la coordination du processus afin de générer, transmettre et distribuer l'alimentation se produit de manière centralisée avec quelques sites seulement (les centres de contrôle) ainsi que gérer les cas de contingences qui peuvent se produire dans tout réseau. Ce système centralisé a un inconvénient évident: une panne d'un des centres de contrôle pourrait entraîner l'effondrement total du système. Par conséquent, il est très souhaitable de disposer d'assez d'intelligence et de la redondance dans tout le système pour survivre à l'écroulement de tension.

Notre approche propose un système multi-agents qui est constitué de deux types d'agents : un agent jeu de barre (BAG) et un agent compensateur (CAG) capables de régler la tension dans les limites admissibles en se basant sur des informations locales, ce qui est un moyen de décentralisation de l'information; car la perte d'information peut conduire à une cascade de surcharge qui est une cause d'effondrement d'un réseau. La décomposition du problème (P) en M sous problèmes conduit à considérer que la plupart des contraintes de l'égalité ou d'inégalité de réseau électrique sont

exprimées en fonction de variables locales (variables qui proviennent d'une aire géographique restreinte); chaque sous problème (attribué à un agent) contient une partie de l'objectif de (P) et certaines de ses contraintes. Ainsi les agents travailleront sur leurs sous problèmes de façon asynchrone et peuvent améliorer les dispositifs de contrôle, tels que les relais, les régulateurs de tension ou les moyens Flexible AC Transmission Systems (FACTS).

Le lien entre des entités logicielles et sous-systèmes d'automatisation sont fixes (généralement définie au moment du design), mais les systèmes devraient répondre aux demandes imprévues.

# Remerciements

Je tiens à remercier Dr. R. Diabi, maître de conférence à l'université de Annaba et directeur de thèse, pour la confiance qu'il m'a accordée à réaliser ce travail. Je lui suis très reconnaissante de m'avoir aidé à surmonter les conditions difficiles que j'ai affronté a fin de finaliser cette thèse.

Je témoigne ma profonde reconnaissance et remerciement au Dr. J.C Maun, Professeur à l'université libre de Bruxelles pour ces orientations, ces conseils judicieux et de m'avoir accueilli dans son laboratoire .

Je tiens également à réserver un remerciement particulier au Dr. H. Labar pour son encouragement et ses qualités humaines très distinguées et d'avoir accepter d'être président de jury.

Je tiens à remercier également Dr. A. Ouari maître de conférence à l'université d'Annaba de m'avoir apporter aide et encouragement et d'avoir accepter d'être membre de jury.

Un grand merci au Dr. K. Bonaya maître de conférence à l'université de Guelma de m'avoir honoré en acceptant d'être jury malgré ses obligations.

J'adresse également mes remerciements au Dr. J. Dib maître de conférence à l'université de Tébessa d'avoir accepter d'évaluer mon travail.

## Table des matières

<b>TABLE DE MATIERE</b>	1
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	4
<b>LISTE DES FIGURES</b>	5

### **CHAPITRE 1: Introduction à la Stabilité de Tension**

1.1 Définition.....	8
1.2 Analyse de la stabilité .....	8
1.3 Importance et incidents.....	10
1.4 Causes de l'instabilité de tension .....	13
1.5 Les aspects de la stabilité de tension .....	13
1.5.1 La proximité de l'instabilité de tension ou la marge.....	14
1.5.2 Le mécanisme de l'instabilité de tension.....	14
1.6 Les méthodes d'analyses de la stabilité de tension .....	16
1.6.1 La méthode du domaine du temps.....	14
1.6.2 La méthode de l'indice L .....	15
1.6.3 Les courbes P-V et Q-V .....	17
1.6.4 La méthode de la sensibilité V-Q .....	18
1.6.5 L'indice de proximité de l'effondrement de la tension (VCPI)...	19
1.6.6 Saddle node bifurcation.....	20
1.6.7 La méthode de calcul de l'écoulement de puissance .....	20
1.6.8 L'approche VCA .....	21
1.6.9 Analyse modale de la matrice jacobienne réduite JR.....	21
1.7 Critique des méthodes de littérature.....	22
1.8 Conclusion.....	23

### **CHAPITRE 2: Les Systèmes Multi\_Agents**

2.1 Introduction.....	24
2.2 Intelligence artificielle distribuée.....	25
2.3 Systèmes Multi-Agents.....	25

## Table des matières

---

2.3.1 Agents.....	25
2.3.2 Systèmes Multi-Agents.....	27
2.3.3 Environnement.....	28
2.3.4 Interaction.....	28
2.3.5 Organisation.....	29
2.3.6 La nature de la complexité des systèmes logiciels agents.....	30
2.3.7 Approche orientée-agent et approche orientée-objet.....	31
2.3.8 Agent holonique.....	32
2.3.9 Facilitateurs – médiateurs – courtiers – tableau noir .....	33
2.4 Classification des agents .....	34
2.4.1 Agents réactifs.....	34
2.4.2 Agents cognitifs.....	35
2.4.3 Agents hybrides .....	35
2.5 L'interaction dans les SMA.....	36
2.5.1 Interaction et situation d'interaction.....	36
2.5.2 Composantes des interactions.....	37
2.5.2.1 Compatibilité des buts.....	37
2.5.2.2 Disponibilité des ressources.....	37
2.5.2.3 Capacités des agents par rapport aux tâches.....	38
2.6 Les types d'interaction.....	38
2.7 La coopération et les formes de coopération.....	39
2.7.1 La coopération comme attitude intentionnelle.....	39
2.7.2 La coopération du point de vue de l'observateur.....	39
2.7.3 L'amélioration de la survie.....	40
2.7.4 L'accroissement des performances.....	41
2.7.5 La résolution de conflits.....	41
2.8 Les méthodes de coopération.....	41
2.8.1 Le regroupement et la multiplication.....	42
2.8.2 La spécialisation.....	42
2.8.3 La collaboration par partage de tâches et de ressources.....	42
2.8.4 La coordination d'actions.....	44
2.8.5 La résolution de conflit par arbitrage et négociation.....	43
2.9 La communication dans les systèmes multi agent.....	44



---

2.10 Langages de communication entre agents.....	44
2.11 Domaines d'application des SMA .....	45
2.12 Quelques exemples des SMA.....	46
2.13 Conclusion.....	47
<b>Chapitre 3 : COMPENSATION DE LA PUISSANCE REACTIVE DANS LES RESEAUX ELECTRIQUE</b>	
3.1. Introduction.....	49
3.2 Puissance active.....	50
3.3 Compensation de la puissance réactive.....	53
3.4 Transport de puissance active et réactive.....	54
3.5 Méthode de compensation.....	56
3.5.1 Compensateurs statique à thyristor.....	58
3.5.2 Batterie de condensateurs.....	58
<b>CHAPITRE 4: CONTROLE DE LA TENSION PAR LES SYSTEME MULTI_AGENT</b>	
4.1 Introduction.....	60
4.2 Position du problème.....	60
4.3 Classification des agents.....	61
4.3.1 L'agent jeux de barre .....	61
4.3.2 L'agent compensateur .....	62
4.4 Types de messages .....	62
4.5 Compensation par un système multi agent.....	64
4.6 Analyse et résultats de Simulation .....	69
4.7 Conclusion .....	77
4.8 Recommandations relatives à la poursuite des travaux.....	78
<b>Conclusion Général .....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>80</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 Incidents suivis d'effondrement .....	11
Tableau 1.2 Incidents non suivis effondrement .....	12
Tableau 2.1 Types d'interactions.....	38
Tableau 3.1 différentes méthodes de compensations.....	57
Tableau 4.1 rangement des agents.....	65
Tableau 4.2 Données du réseau après augmentation de la charge.....	74

## Liste des figures

Figure 1.1 Réseau simple à deux jeux de barres.....	8
Figure 1.2 Caractéristique P-V du réseau radiale simple .....	9
Figure 1.3 Modèle d'une ligne à deux jeux de barres.....	15
Figure 1.4 La caractéristique PV.....	17
Figure 1.5 Caractéristique QV.....	18
Figure 1.6 Description des phases de prédiction et de correction.....	19
Figure 2.1 Architecture interne d'un agent.....	26
Figure 2.2 Vue canonique d'un SMA.....	27
Figure 2.3 Caractérisation d'un SMA.....	29
Figure 2.4 Exemple holonique.....	33
Figure 2.5 Structure d'un agent cognitif dans un environnement multi agents...	35
Figure 2.6 Le modèle classique de la théorie de la communication.....	43
Figure 3.1 Réseau simple.....	55
Figure 3.2 Schéma d'un SVC.....	58
Figure 3.3 : Représentation de la connexion des condensateurs (étoile ou triangle)	59
Figure 4.1 Proposition de compensation par multi_agents .....	64
Figure 4.2 Schéma de communication des agents .....	66
Figure 4.3 La classe CAG.....	67
Figure 4.4 Organisation des données des branches.....	68
Figure 4.5 Organisation des données des jeux de barres (bus).....	69
Figure 4.6 Réseau standard IEEE 9 nœuds.....	70
Figure 4.7 Profile des tensions des nœuds.....	70
Figure 4.8 La dépendance de la tension au nœud 9 en fonction de Q4.....	71
Figure 4.9 Profile de la tension du nœud 9 en fonction de Q4 et Q7.....	72
Figure 4.10 Réseau standard IEEE 30 nœuds.....	73
Figure 4.11 Profile des tensions des nœuds 19et 20 en fonction de Q15.....	75
Figure 4.12 Profile des tensions 21, 22, 23, 24 ,25 et 26 en fonction de Q24 .....	76
Figure 4.13 Profile des tensions 27,29 et 30 après compensation.....	77

## Introduction générale

Les problèmes liés au fonctionnement des réseaux de transport et de production d'énergie électrique ont pris une importance considérable. Puisque que la consommation d'électricité ne cesse d'augmenter et les conditions d'environnement sont contraignantes, les réseaux d'énergie électrique ne cesse de s'accroître et deviennent de plus en plus chargés, et en plus le transport se fait sur de longues distances. Cet état entraîne de nombreuses conséquences tel : la difficulté de maintenir un profil de tension acceptable qui peut conduire à l'instabilité de tension du réseau.

L'étude du comportement de la tension dans les réseaux électriques est devenue une préoccupation majeure des exploitants et planificateurs de ces systèmes. En fait, plusieurs incidents généralisés survenus dans le monde ont été associés à des instabilités de tension. Ce mode d'instabilité n'est pas encore bien maîtrisé, comparé au mode d'instabilité angulaire. Le mécanisme causant l'instabilité de tension semble l'un des plus importants problèmes complexes qui nécessite des études.

De relevés sur les incidents survenus durant les dernières décennies ont montré que l'effondrement de tension intervient généralement suite a une perturbation majeure ou à une augmentation importante de la charge sur un réseau électrique soumis à de fortes contraintes. Ce réseau s'affaiblit et sa consommation réactive s'accroît. Le phénomène est alors caractérisé par une baisse progressive de la tension dans une ou plusieurs régions consommatrices, et qui va en s'accéléranants au bout de quelques minutes .La dégradation de la tension au niveau des charges est alors telle qu'elle entraîne des interruptions de service dont les causes directes peuvent être : manque de tension, augmentation des pertes réactives du réseau. La défaillance du réglage de la tension, au niveau des bornes des groupes, a pour conséquence une accélération de la dégradation du plan de la tension qui peut aller jusqu'à des déclenchements, en cascade, de groupes et de lignes et un effondrement général du réseau.

Dans cette situation, les moyens classiques de contrôle des réseaux pourraient dans l'avenir s'avérer trop lents et insuffisants pour répondre efficacement aux problèmes d'instabilité du réseau. Le développement de l'intelligence artificiel distribuée a ouvert de nouvelles perspectives pour une exploitation plus efficace des

réseaux par action rapide sur les compensateurs en agissant sur la quantité de puissance réactive à injecter pour relever le niveau de tension en diminuant la chute de tension et les pertes de puissance et ceci en se basant sur l'information locale sans avoir recours à l'information globale qui peut dans certain cas ne parvient pas à défaut de coupure ou autre cause.

L'agencement de la thèse se présente sous forme de quatre chapitres. Dans le premier chapitre on dresse un bilan sur les causes de l'instabilité de la tension et ses différentes méthodes d'analyses. Nous nous sommes ensuite focalisés sur les systèmes multi agents, on a défini les principes fondamentaux : architecture interne, classification, types d'interaction, formes de coopération et langage de communication.

Le chapitre trois présente l'effet de la production de la puissance réactive sur le fonctionnement du réseau ainsi que les différents systèmes de production de puissance réactive avec leurs principales caractéristiques. Le quatrième chapitre est dédié à l'application et à la simulation des agents qu'on a classé en deux types BAG et CAG développés sur un réseau test IEEE 9 noeuds et un réseau test IEEE 14 noeuds . Dans cette partie nous avons dressé un ensemble de règles qui permettent l'interaction entre agents, et un ensemble de messages pour gérer les différentes situations est dont l'objectif principal ramener la tension dans les limites admissibles, et on a terminé le travail par une conclusion générale et les perspectives relatives à ce travail.

# Chapitre 1

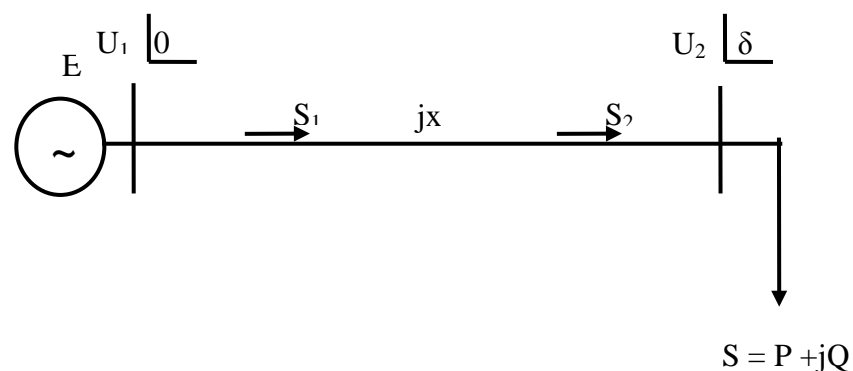
## Introduction à la Stabilité de Tension

### 1.1 Définition

On définit la stabilité de la tension comme la capacité d'un réseau de maintenir une tension de barre constamment acceptable à chaque noeud du réseau, dans des conditions nominales de fonctionnement, *après* avoir subi une perturbation. L'état du réseau est dit instable en tension lorsqu'une perturbation, un accroissement de la charge ou une modification de la condition du réseau entraîne une chute progressive et incontrôlable de la tension, aboutissant en un effondrement généralisé de la tension.

### 1.2 Analyse de la stabilité de tension

L'une des caractéristiques importantes d'un réseau est la relation entre la puissance de charge et la tension à l'extrémité de la ligne, considérons un réseau simple Fig. 1.1.



**FIGURE 1.1** Réseau simple à deux jeux de barres

$U_1$  : tension au début de la ligne

$U_2$  : tension à l'extrémité de la ligne

$x$  : réactance de la ligne

$\delta$  : angle de charge

Dans ce circuit, l'alternateur alimente une charge à travers une ligne de transmission. La puissance active et la puissance réactive à l'extrémité de la ligne sont décrites par les équations suivantes:

$$P_2 = \frac{EU}{X} \sin \delta \quad (1.1)$$

$$Q_2 = \frac{EU}{X} \cos \delta - \frac{U^2}{X} \quad (1.2)$$

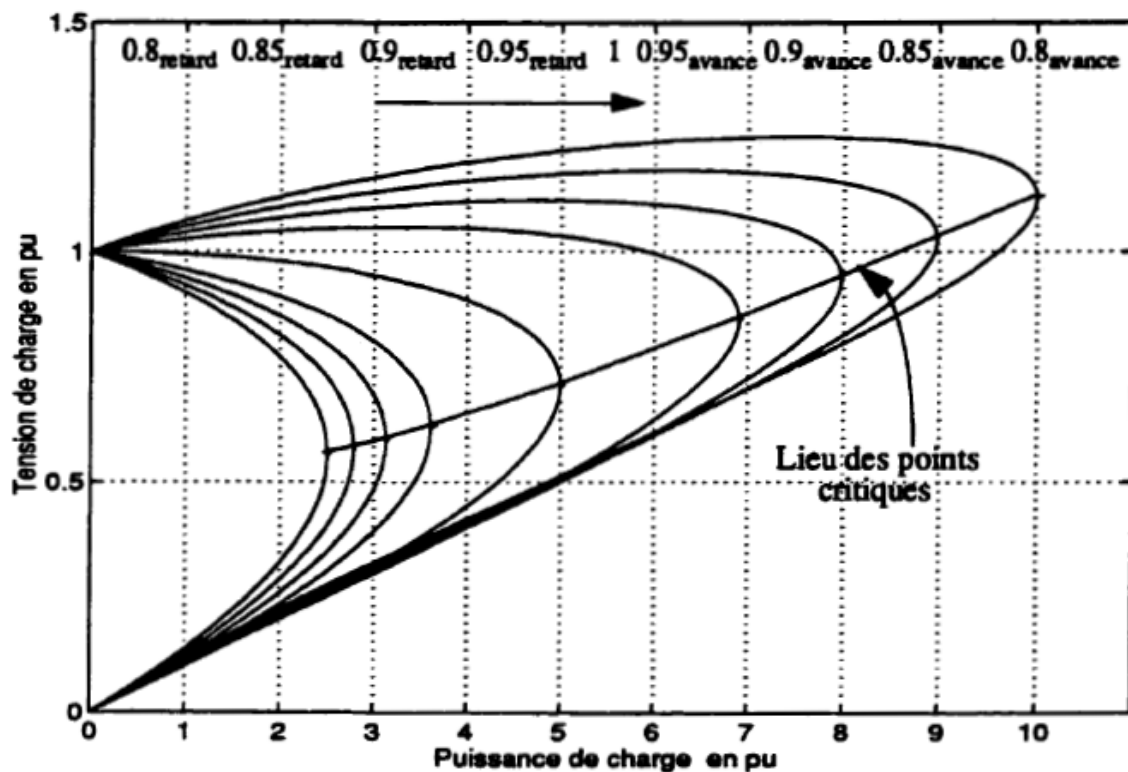


FIGURE.1.2 caractéristique P-V du réseau radial simple [1]

La figure montre la dépendance de la tension de l'extrémité de la ligne en fonction de la charge. Ce graphe présente deux parties; une partie supérieure et une partie inférieure qui se rencontrent au point critique et qui représente la puissance maximale qui peut théoriquement être transportée. Sur une ligne on peut augmenter la charge mais jusqu'à une limite ne dépassant pas la puissance maximale (partie

supérieure du graphe); car au fur et à mesure que la charge augmente, la tension diminue et si on continue on se retrouvera dans la partie inférieure du graphe, et dans cette partie le réseau est inexploitable même s'il existe des solutions mathématiques. Le facteur de puissance de consommation pratique un effet important sur la puissance maximale transmissible et affecte donc la stabilité de la tension du réseau. Le maintien de la tension serait certainement facilitée par l'instauration d'un soutien réactif au niveau de la barre de consommation.

La tension critique résultante est élevée, ce qui constitue un aspect très important pour la stabilité de la tension.

### **1.3 Importance et incidents**

Bien que les problèmes associés à la stabilité de la tension ne soient pas nouveaux pour le fournisseur d'électricité, ils suscitent actuellement beaucoup d'intérêt et une attention spéciale dans plusieurs grands réseaux. Au début, le problème de la stabilité de la tension était associé à un réseau faible et isolé, mais cette question est actuellement devenue source de problèmes dans les réseaux bien développés en raison de l'accroissement de la charge. Des instabilités et effondrements de la tension sont survenus à plusieurs reprises dans des réseaux importants à travers le monde au cours des dernières années.

Les tableaux 1.1 et 1.2 [2] présentent respectivement une liste des incidents qui ont provoqué un effondrement de la tension et de creux qui n'ont pas été suivis d'un effondrement de tension.

Certains des incidents mentionnés sont complexes et mettent en cause d'autres phénomènes qui créent l'instabilité de la tension, par exemple la perte d'une génératrice, la limitation du courant inducteur, le déclenchement d'un transformateur, la perte d'un transformateur, la perte de circuits ou un accroissement excessif de la demande.



<b>Date</b>	<b>Lieu</b>	<b>Durée</b>
<b>28-08-1970</b>	Japon	30 minutes
<b>22-09-1977</b>	Jacksonville, Floride, E-U	Quelques minutes
<b>19-12-1978</b>	France	4 heures de coupure
<b>04-08-1982</b>	Belgique	4.5 minutes
<b>27-12-1983</b>	Suède	1 minutes
<b>12-01-1987</b>	Ouest de la France	6-7 minutes
<b>Été 1996</b>	Ouest USA	Plusieurs heures
<b>03 -02-2003</b>	Algérie	Plus de 3 heures
<b>31-03-2003</b>	Iran	8 heures
<b>28-08-2003</b>	Ville de Londres, Angleterre	Quelques heures
<b>23-09-2003</b>	Suède et Danemark	Quelques heures
<b>28-09-2003</b>	Italie	Plus de 4 heures
<b>18-01-2005</b>	Arc lémanique	1 heure
<b>25-05-2005</b>	Moscou, Russie	5 heures de panne

**Tableau 1.1** Incidents suivis d'effondrement

<b>Date</b>	<b>Lieu</b>	<b>Durée</b>
<b>22-09-1970</b>	État de New York, É-U	Incertitudes pendant des heures
<b>02-03-1979</b>	Zealand, Denmark	15 minutes
<b>10-08-1981</b>	Longview, Wash, É-U	Quelques minutes
<b>17-09-1981</b>	Centre de l'Oregon, É-U	Quelques minutes
<b>21-05-1983</b>	Caroline du nord, É-U	2 minutes
<b>11-06-1984</b>	Nord-est des É-U	Incertitudes pendant des heures
<b>20-05-1986</b>	Angleterre	5 minutes
<b>20-07-1987</b>	Illinois et Indiana, É-U	Incertitudes pendant des heures
<b>03-02-1990</b>	Ouest de la France	Quelques minutes
<b>05-07-1990</b>	Baltimore, Wash É-U	Incertitudes pendant des heures
<b>Nov-1990</b>	Ouest de la France	Quelques heures

**Tableau 1.2** Incidents non suivis d'effondrement

Compte tenu de l'ampleur croissante du problème, plusieurs entreprises de service public ont mis au point des méthodes spéciales de réglage de la tension et de la puissance réactive. Électricité de France a mis en place un dispositif automatique centralisé de réglage secondaire de la tension (RST). L'ENEL (Italie) a, de la même façon, développé un dispositif régulateur automatique de la tension et de la puissance réactive utile des génératrices [3]. La Tokyo Electric Power Company possède un dispositif de réglage adaptatif de l'alimentation en puissance réactive et a installé un nouveau système de surveillance en ligne pour assurer la sécurité de la tension [4].

### **1.4 Causes de l'instabilité de la tension**

L'événement déclencheur de l'instabilité de la tension peut être une variété de causes tel que l'exploitation du réseau à sa limite de puissance transmissible maximale, à l'insuffisance de dispositifs de compensation de la puissance réactive ou la perte d'une ligne fortement chargée.

Parfois une petite perturbation initiale peut conduire à des événements successifs qui entraîne l'effondrement du réseau.

Les éléments suivant ont un impact important sur la stabilité de la tension:

- Les génératrices et les comportements de leurs dispositifs de réglage et de protection
- Le réseau de transport de par sa nature inductive et capacitive
- Les dispositifs de compensation shunt réglable et fixe
- Les changeurs de prises en charge (ULTC) et les transformateurs fixes
- Les relais de protection
- Les caractéristiques de la charge.

L'instabilité de la tension se produit lorsque certains des éléments de réglage de la tension ont un effet adverse sur la tension, contraire à leur conception initiale [1].

### **1.5 Les aspects de la stabilité de tension**

L'analyse de la stabilité de la tension implique l'examen de deux aspects :

### 1.5.1 La proximité de l'instabilité de tension ou la marge

La distance par rapport à un fonctionnement instable pourrait être qualifiée de différentes manières, par exemple le niveau de charge, le débit de puissance active dans un corridor critique et les réserves de puissance réactive.

### 1.5.2 Le mécanisme de l'instabilité de tension

La définition du mécanisme inclut le temps, la façon et les raisons qui peuvent être la conséquence de la dégradation en chaîne du réseau électrique par effet "boule de neige", les premiers déclenchements peuvent conduire au déclenchement d'autres ouvrages du fait des facteurs aggravants ou de certaines défaillances dans le réglage des protections et aussi d'autres ouvrages peuvent alors passer dans des états inadmissibles et déclenchent à leur tour : c'est le moteur de l'écroulement à chaque déclenchement d'ouvrage de transport ou de production le réseau s'affaiblit de plus en plus ce qui cause le déclenchement d'autres ouvrages de transport ou de production.

## 1.6 Les méthodes d'analyse de la stabilité de tension

Deux approches différentes peuvent être utiliser pour l'analyse de la stabilité de la tension : l'approche du temps et l'approche statique.

### 1.6.1 La méthode du domaine du temps

La simulation dans le domaine du temps de la stabilité de la tension se fait suivant un modèle semblable à celui utilisé pour l'analyse de la stabilité transitoire. Le système global d'équations comprend un ensemble d'équations différentielles associés à la dynamique de l'équipement:

$$\dot{x} = f(x, y, z) \quad (1.3)$$

Et un ensemble d'équations algébrique :

$$0 = g(x, y, p) \quad (1.4)$$

Pour représenter le réseau, où:

x : variable d'état dynamiques (flux et angles de machines, états du réglage)

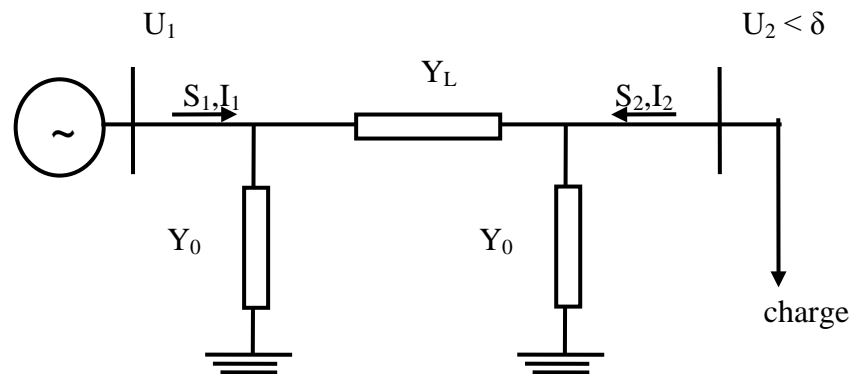
y : variable de l'écoulement de puissance (tensions et angles des barres)

p : paramètres d'exploitation et système (charges, ponts de réglage de la tension, apports de puissance, constantes associées à l'équipement, constantes de ligne).

Les équations (1.3) et (1.4) pourraient être résolues en utilisant une technique d'intégration numérique et une méthode d'analyse d'écoulement de puissance. Dans le but d'adapter les systèmes ci-dessus à l'évaluation de la stabilité de la tension, une modélisation de la dynamique lente doit être incluse. Le phénomène peut inclure l'interaction de plusieurs dispositifs et peut être fortement influencé par le comportement non linéaire des éléments du réseau, comme par exemple les charges. Les contraintes, comme celles imposées sur le courant inducteur des génératrices ou les portées des prises et le mécanisme du ULTC peut également avoir de profondes répercussions sur la stabilité du réseau. Une période d'étude typique de la stabilité de la tension est de l'ordre de plusieurs minutes.

### 1.6.2 La méthode de l'indice L

En 1986, Kessel et Glavitsch [5] ont proposé un indicateur rapide de la stabilité de tension qui est représenté par L. Elle utilise la tension de barre et l'information sur le réseau fournie par le programme sur l'écoulement de puissance.



**FIGURE.1.3** Modèle d'une ligne à deux jeux de barres

$U_1, U_2$  : tension des nœuds

$Y_0$  : admittance shunt

$Y_L$  : admittance série

L'indice L varie entre 0 (pas de charge) et 1, ce qui correspond un effondrement de tension. Il pourrait être évalué pour chaque barre du réseau. À mesure que la valeur de L augmente, la barre s'approche d'un état d'instabilité de la tension. Le calcul numérique de l'indice L se fait simplement et rapidement.

On peut écrire au nœud 1:

$$Y_{11} U_1 - Y_{12} U_2 = I_t = \frac{S_1^*}{U_1} \quad (1.5)$$

$Y_{11}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_{21}$ ,  $Y_{22}$  sont les admittances propres et mutuelles du modèle et  $S_1$  est la puissance complexe de la charge.

$$S_1 = U_1 I_1^* \quad (1.6)$$

L'équation (1.5) peut s'écrire

$$U_1 - U_2 \frac{Y_{12}}{Y_{11}} = \frac{S_1^*}{Y_{11} U_1} \quad (1.7)$$

Où

$$U_1^2 + U_0 U_1^* = \frac{S_1^*}{Y_{11}} \quad (1.8)$$

$$U_0 = \frac{Y_{12}}{Y_{11}} U_2 = - \frac{Y_L}{Y_L + Y_0} U_2 \quad (1.9)$$

D'après la référence [5] la solution de l'équation (1.9) indique la limite de la stabilité du système. En ce point :

$$\left| 1 + \frac{U_0}{U_1} \right| = \frac{S_1}{Y_{11}^* U_1^2} = 1 \quad (1.10)$$

L'indicateur global décrivant la stabilité de tout le système est le maximum de tous les  $L_j$  de chaque jeu de barre du système. L'indice L est une mesure quantitative

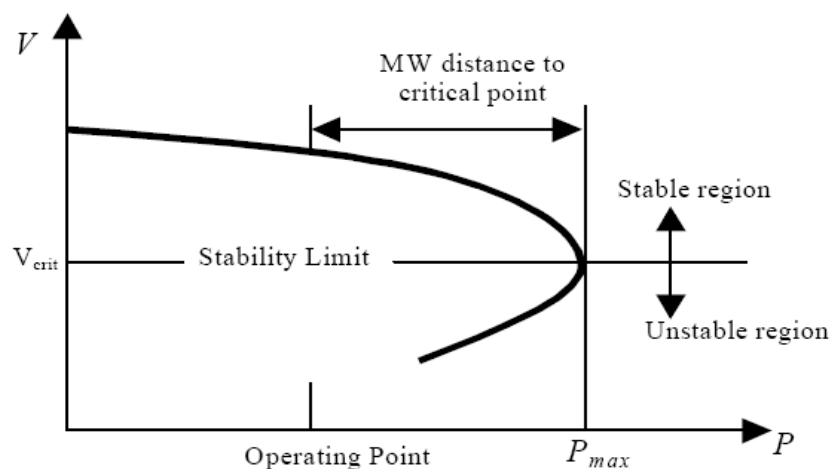
pour l'estimation de la distance de l'état actuel du système à la limite de la stabilité. L'indice local  $L_j$  peut être utilisé pour déterminer les jeux de barres qui peuvent être l'origine de l'écroutement de tension.

### 1.6.3 Les courbes P\_V et Q\_V

Les courbes PV sont couramment utilisées pour l'étude de la stabilité de tension, elles permettent de déterminer la distance en MW à partir du point de fonctionnement jusqu'à la tension critique. Une courbe typique PV est montrée sur la Figure 1.4 et qui présente trois zones :

- ❖ La première zone correspond à la zone de stabilité. Le power flow permet de déterminer deux solutions distinctes pour chaque variation de la puissance, on a une solution dans la zone de stabilité et l'autre dans la zone d'instabilité.
- ❖ La deuxième zone correspond au point maximum où les deux solutions se juxtaposent pour former une solution unique pour la puissance maximale.
- ❖ La troisième zone c'est la zone d'instabilité, le système n'a pas de solution.

Ces calculs sont effectués pour quelques barres du système. Chaque barre est chargée sur une base individuelle jusqu'à ce que les limites de transfert maximal de puissance soient atteintes. Les nombreux calculs nécessaires d'écoulement de puissance exigent beaucoup de temps processeur. Par ailleurs, l'augmentation de la charge à une seule barre à la fois peut perturber la condition de stabilité du réseau de façon irréaliste [7]-[10].



**FIGURE.1.4** La caractéristique PV [8]

Les courbes QV sont actuellement une méthode d'analyse nécessaire à la stabilité de la tension dans de nombreux bureaux d'études. Les courbes QV montrent la sensibilité et la variation de la tension du jeu de barre par rapport à des injections de puissance réactive. Elle détermine les (MVAR) et les marges de tension par rapport au point d'instabilité et permet de fournir des informations sur l'efficacité des sources de puissance réactive dans le contrôle de la tension dans les différentes parties du système.

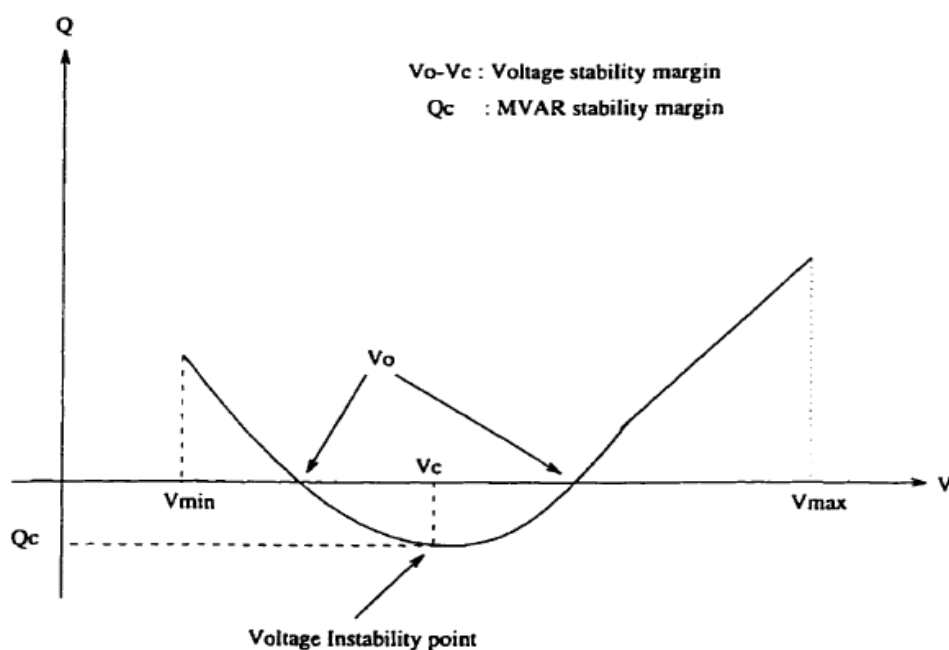


FIGURE 1.5 Caractéristique QV [6]

#### 1.6.4 La méthode de la sensibilité V-Q

Elle a été proposée par Flatabo, Fosso, et Elazzaz [12]. Elle est basée sur la sensibilité de la valeur de la tension de la barre par rapport à la variation de la charge réactive  $\Delta V/\Delta Q$ . Une sensibilité V-Q positive indique un fonctionnement stable. À mesure que la valeur de la sensibilité augmente, la stabilité de la tension décroît jusqu'à ce que la sensibilité devienne infinie à la limite de la stabilité.

Une sensibilité négative indique un fonctionnement instable du réseau. En raison de la nature non linéaire du comportement des relations V-Q, les facteurs de sensibilité ne sont valides que dans une zone limitée entourant le point de fonctionnement réel.



Les sensibilités V-Q ne permettent pas d'identifier les différents modes individuels d'effondrement de la tension; l'information fournie représente plutôt l'effet combiné de tous les modes de comportement de la puissance réactive en fonction de la tension. Les valeurs de la sensibilité pour différentes conditions du réseau ne donnent pas une mesure directe du degré relatif de stabilité. Près du point d'effondrement, la sensibilité pourrait passer d'une faible valeur quasi infinie, puis passer presque instantanément à une valeur négative une fois le point de bifurcation atteint [13]-[15].

### 1.6.5 Continuous Power Flow (CPF)

Les techniques de CPF constituent un outil très robuste pour le calcul de trajectoires de variables d'état dans un système dépendant d'un ou plusieurs paramètres. Différentes méthodes existent et nous nous focaliserons ici sur la méthode développée par C. Canizares dans [16]. Le système considéré est résumé par l'équation suivante:

$$g(\mathbf{x}, \lambda) = 0 \quad (1.12)$$

Le vecteur  $\mathbf{x}$  est constitué des variables  $v$  et  $\delta$  et l'équation devient :

$$g(v, \delta, \lambda) = 0 \quad (1.11)$$

$\lambda$  : facteur de charge ;

$v$  : tension des noeuds

$\delta$  : déphasage entre tension et courant

Le CPF est un processus itératif qui, à partir d'une situation initiale définie par  $(x_j, y_j)$ , consiste à calculer une nouvelle situation  $(x_{j+1}, \lambda_{j+1})$  avec  $\lambda_j > \lambda_{j+1}$ .

Une itération peut être divisée en deux phases: la **prédiction** et la **correction**. La Fig(1.6) résume un pas complet pour obtenir  $(x_{j+1}, \lambda_{j+1})$  à partir de  $(x_j, y_j)$ .

Ce processus converge ainsi vers  $\lambda_{\max}$ .

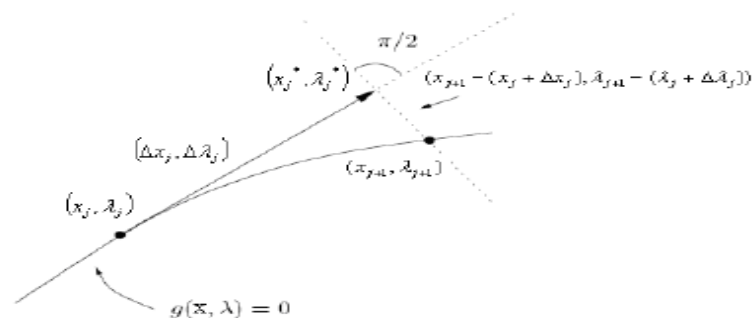


FIGURE 1.6. Description des phases de prédiction et de correction

### 1.6.6 Saddle Node Bifurcation (SNB)

La méthode de SNB est décrite dans [17]. Elle permet de calculer directement un point de fonctionnement appelé « Saddle Node ». Ce point doit être un état possible du système et doit donc vérifier (1.11). De plus, le jacobien défini doit y être singulier. Pour l'obtenir on cherche un point tel que le vecteur propre de (droit ou gauche, différent de zéro) ait une valeur propre égale à zéro.

On appelle par la suite  $v$  le vecteur propre droit,  $w$  le vecteur propre gauche, ceux-ci étant définis par :

$$J(v, \delta, \lambda) = \begin{pmatrix} \frac{\partial g_1(v, \delta, \lambda)}{\partial \delta} & \dots & \frac{\partial g_1(v, \delta, \lambda)}{\partial v} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial g_n(v, \delta, \lambda)}{\partial \delta} & \dots & \frac{\partial g_n(v, \delta, \lambda)}{\partial v} \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial g(x, \lambda)}{\partial x} \times v = 0 \quad \text{ou} \quad \left( \frac{\partial g(x, \lambda)}{\partial x} \right)^T \times w = 0 \quad (1.12)$$

Avec :

$$|v| = 1 \quad \text{ou} \quad |w| = 1 \quad (1.13)$$

Trouver le point de SNB revient ainsi à résoudre système constitué par les équations (1.11), (1.12) et (1.13).

### 1.6.7 L'indice de proximité de l'effondrement de la tension (VCPI).

Cet indice est basé sur le vecteur de la tension (angle et grandeur). Les trajectoires de transmission de la puissance réactive sont définies comme une séquence de barres inter reliées avec une valeur décroissante de la tension. La trajectoire de transmission se termine avec une barre de consommation présentant l'angle le plus faible ou la valeur de la tension la plus faible, ou les deux ; l'indicateur de stabilité de la trajectoire de transmission (TPSI) est défini comme la différence

entre la moitié de la valeur de la tension des génératrices et la chute de tension corrigée le long de la trajectoire de transmission. L'indicateur de proximité de l'effondrement de la tension (VCPI) est identifié par la valeur minimale de tous les TPSI. Dès que le VCPI atteint la valeur 0, la barre de consommation devient instable en tension. La méthode proposée détecte la trajectoire de transmission critique qui est importante pour l'évaluation des mesures de correction. Cet indice ne fournit aucune quantité physique telle que la distance exprimée en MW ou en MVAR par rapport à la limite de stabilité. Sauf dans le cas des grands réseaux, la recherche du VCPI exige un temps de calcul élevé.

### 1.6.8 L'approche VCA

Cette approche met en cause une zone de réglage de la tension (Voltage Control Area) (VCA) a été proposée par schlueter [21]-[23]. Le réseau est divisé en plusieurs zones VCA, chacune comprend un ensemble de barres de consommations (PQ) et de génératrices (PV) où la tension réagit d'une façon semblable et cohérente aux variations de la charge et de la production réactive survenant à l'extérieur de la zone. En raison de la faiblesse de la frontière de transmission qui borne la zone de réglage de la tension, le réglage de la tension à l'intérieur de celle-ci est indépendante des réglages de la tension dans les autres zones VCA. Une fois la zone définie, la proximité de l'effondrement de la tension est ( $S_{VE} = \Delta V / \Delta E$ ) des tensions des barres (PQ) par rapport à la tension des barres (PV).

Bien que l'idée de diviser le réseau en plusieurs zones de réglage de la tension est intéressante, le calcul de la matrice ( $S_{QLV} = \Delta Q_L / \Delta V$ ) associée à la matrice  $S_{VE}$  exige un temps de calcul très long et un grand espace mémoire pour des grands réseaux. Ceci ne favorise pas la candidature de l'algorithme pour la performance dans un environnement (on-line).

### 1.6.9 Analyse modale de la matrice jacobienne réduite JR

La méthode calcule un nombre précis de petites valeurs propres et les vecteurs propres qui lui sont associés. Chaque valeur propre est associée à un mode de variation de la puissance réactive et de la tension. Elle fournit une mesure relative de la proximité de l'instabilité de la tension. Un mode stable est un mode dans lequel l'injection de puissance réactive modale conduit à une augmentation de la valeur de la

tension modale. Un mode instable est un mode dans lequel l'injection de puissance réactive modale conduit à une diminution de la valeur de la tension modale. Par ailleurs, les vecteurs propres fournissent de l'information sur le mécanisme de l'instabilité de tension. Ils servent à décrire la forme des modes et nous renseignent sur les composantes du réseau (barre et branches) et sur les génératrices qui participent à chaque mode. Les modes correspondant à de petites valeurs propres sont ceux qui sont les plus propices à une perte de stabilité. Les facteurs de participation des barres indiquent quelles barres sont associées à chaque mode. Les facteurs de participation des branches identifient quelles branches sont importantes pour la stabilité d'un mode donné. Les facteurs de participation des génératrices indiquent quelle machine doit conserver des réserves réactives pour assurer la stabilité dans un mode donné.

La méthode des itérations simultanées, qui est basée sur une méthode de calcul sélectif des valeurs propres appropriées, a démontré de la fiabilité et de la robustesse pour les tâches de planification et pour les travaux dans un environnement (off\_line).

Par ailleurs, la grandeur de la valeur propre qui est à la base de cette technique peut fournir une mesure relative de la proximité de l'instabilité et non une marge de stabilité absolue. Pour déterminer la distance en mégawatts par rapport à l'instabilité, on doit accroître les contraintes sur le réseau jusqu'à ce qu'il atteigne l'instabilité [18], [24]-[25].

## 1.7 Critique des méthodes de littérature

Les techniques d'analyses en régime permanent visent à reproduire le phénomène de la stabilité de la tension le plus fidèlement possible, sans recourir à la complexité numérique et aux problèmes de calculs connexes de la simulation non linéaire dans la domaine du temps. En s'intéressant à la marge et au mécanisme de la stabilité de la tension, les méthodes publiées présentent cependant des lacunes.

\*Les techniques qui se concentrent sur la stabilité de la tension d'une barre unique individuelle ne peuvent voir la stabilité de la tension comme un problème à l'échelle d'un réseau.

\*La majorité des méthodes existantes utilisent la matrice jacobienne et en raison de la taille croissante des réseaux, l'analyse de la stabilité de la tension par le

biais des techniques de singularité jacobienne ou de l'analyse spectrale devient un processus très exigeant en temps processeur.

\*Les techniques basées sur un indice qui sont proposées utilisent un modèle conventionnel de l'écoulement de puissance pour représenter le régime permanent du réseau, ce qui néglige ou ne représente pas correctement les dispositifs jouant un rôle important dans l'évolution de l'instabilité de la tension.

## 1.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions de base sur la stabilité de tension d'un réseau électrique .Le problème d'instabilité de tension peut être favorisé par plusieurs paramètres à savoir: manque local de la puissance réactive, production trop éloignée de la consommation, ou le cas d'une charge demandée très élevée.

Une analyse efficace de la stabilité de tension reste la solution appropriée pour s'éloigner du point d'effondrement .Dans cette thèse, nous avons présenté les deux types d'analyses qui existent, à savoir, l'analyse statique et l'analyse dynamique .Puis nous avons focalisé notre étude sur l'analyse statique de la stabilité de tension, et vers la fin on a présenté une critique sur les méthodes citées en mentionnant les avantages et les inconvénients de chacune des deux.

# Chapitre 2

## Les Systèmes Multi\_Agents

### 2.1 Introduction

Le domaine des systèmes multi-agents (SMA) est une branche relativement récente de l'Intelligence Artificielle qui a enrichi cette dernière en suggérant l'usage de métaphores sociologiques ou biologiques pour la conception de systèmes artificiels intelligents. Il rassemble les travaux qui portent sur l'étude et la conception d'organisations d'agents (artificiels) autonomes, capables d'agir sur leur environnement physique et/ou social, et de communiquer ou d'interagir pour accomplir collectivement leurs tâches. La motivation qui sous-tend ces travaux de recherche est triple :

**Théorie** : Ils partent du principe qu'une grande partie de l'intelligence des systèmes artificiels sera forgée dans leurs interactions avec d'autres systèmes artificiels et/ou humains, pour une Intelligence Artificielle qui se « socialise ».

**Ingénierie** : Ils permettent d'appréhender des problèmes naturellement distribués pour la résolution desquels des procédures centralisées ne sont pas envisageables ;

**Modélisation** : Ils permettent de modéliser des phénomènes, notamment sociaux, dans lesquels se produit une émergence de structure ou de fonction, ce qui revient à dire que les processus au niveau macro (le groupe) ne sont pas déductibles d'une combinaison linéaire des processus micro (les individus).

## **2.2 Intelligence artificielle distribuée**

L'expression Intelligence Artificielle (IA) est employée pour la première fois (1955-1970) par John McCarthy. Il fonde l'Intelligence Artificielle sur le postulat mécaniste qui veut que toute activité intelligente soit modélisable et reproductible par une machine [17].

« L'IA a pour but de faire exécuter par l'ordinateur des tâches pour lesquelles l'homme, dans un contexte donné, est aujourd'hui meilleur que la machine » [18].

L'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) est un sous domaine de Intelligence Artificielle qui s'occupe des situations où plusieurs systèmes interagissent pour résoudre un problème commun [19]. L'IAD se divise en deux branches principales :

- la Résolution Distribuée de Problèmes (RDP) qui étudie comment distribuer des compétences au niveau de chaque partie du système, de façon à ce qu'il soit globalement plus compétent que chacune de ses parties;
- la Simulation des Systèmes Complexes (SSC), qui concerne plus particulièrement les Systèmes Multi Agents (SMA). Les SMA traitent le comportement d'un ensemble d'agents autonomes qui essaient de résoudre un problème commun.

## **2.3 Systèmes multi-Agents**

Bien qu'il y ait peu de consensus autour des concepts agents et SMA, plusieurs chercheurs ont des définitions qui convergent vers celles-ci :

### **2.3.1 Agents**

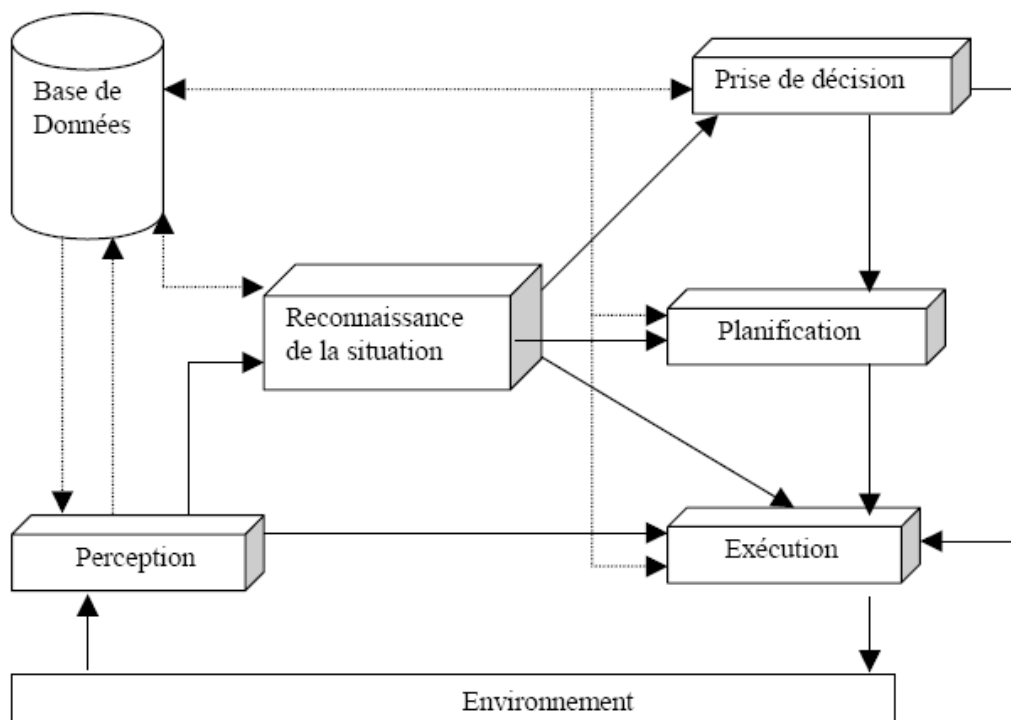
D'après [27]. Un agent est un système informatique encapsulé situé dans un environnement dans lequel il est capable d'effectuer une action flexible et autonome, compatible aux objectifs de la conception.

Les agents sont :

- des entités clairement identifiables de résolution de problèmes avec des bornes et des interfaces bien définies;
- situés dans un environnement particulier ; ils reçoivent des entrées liées aux états de cet environnement par des capteurs et agissent sur cet environnement par des émetteurs;

- destinés à atteindre un objectif spécifique;
- autonomes et responsables de leur comportement;
- capables d'adopter un comportement flexible pour résoudre des problèmes selon les objectifs de la conception; ils sont réactifs (capables de s'adapter aux changements d'état de leur environnement) et proactifs (capables d'adopter un nouvel objectif);
- capables dans un univers multi-agents, de communiquer, coopérer, se coordonner, négocier les uns avec les autres.

La figure 2.1 donne de façon générale, l'architecture interne d'un agent.



**FIGURE 2.1** Architecture interne d'un agent [27]

Lorsqu'un agent perçoit une situation dans l'environnement, il essaie de la reconnaître. Si la situation lui est familière, il peut enclencher un processus de planification afin de résoudre le problème. Il peut aussi reconnaître la situation en terme d'action et donc, passe à l'exécution de la tâche (Reconnaissance- Exécution). Lorsque l'agent perçoit des situations qu'il connaît très bien, il peut faire intervenir son comportement réactif en passant directement à l'action (Perception-Exécution). S'il ne peut pas résoudre un problème (situation non familière), il engage un



processus de coopération pour demander de l'aide aux autres agents (Reconnaissance-Prise de décisions).

### 2.3.2 Systèmes multi-Agents

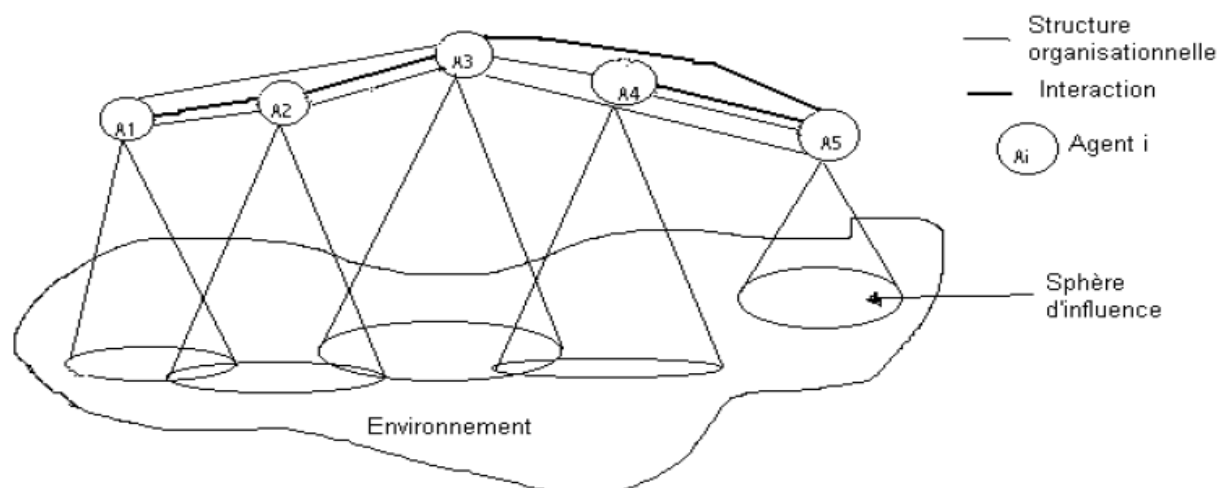
Les systèmes multi-agents mettent en oeuvre des agents homogènes et hétérogènes ayant des buts communs ou distincts, et ils sont dynamiques.

Un système multi-agent est un système distribué composé d'un ensemble d'agents qui interagissent le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence.

Selon [28] un SMA est généralement caractérisé par :

1. chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées, ainsi chaque agent a un point de vue partiel;
2. il n'y a aucun contrôle global du système multi-agents;
3. les données sont décentralisées;
4. le calcul est asynchrone.

Une vue canonique d'un SMA est donnée dans la fig. 2.2.



**FIGURE 2.2** Vue canonique d'un SMA [29]

### **2.3.3 Environnement**

Selon [30], l'environnement peut être considéré comme la représentation du monde dans lequel les agents se situent. L'environnement est modifiable par les agents, soit de façon globale, soit en faisant la distinction entre objets passifs (soumis aux actions des agents) et entités actives (les agents) [24].

### **2.3.4 Interaction**

Ferber [31] définit les interactions comme étant la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. L'interaction entre agents s'effectue par la communication, les actes de langage et les protocoles d'interaction. Les agents interagissent entre eux. Pour atteindre son objectif ou pour améliorer la coordination des actions, un agent peut demander des services à un autre agent. Il y a deux éléments qualitatifs qui caractérisent les interactions entre agents :

- les interactions se produisent à un niveau élevé par un langage de communication, en fonction du temps, de l'objectif à atteindre et de la nature des agents;
- comme les agents sont des solutionneurs de problèmes flexibles dans un environnement au delà duquel ils ont uniquement un contrôle partiel, les interactions devraient également être flexibles. Ainsi, les agents ont besoin d'un appareil de calcul pour prendre des décisions, dans un contexte dépendant de certains facteurs, au sujet de la nature et de la portée de leurs interactions et pour provoquer des interactions qui n'ont pas été prévues lors de la conception.

Les interactions définissent un contexte organisationnel qui définit la nature des rapports entre agents et qui influence le comportement individuel des agents. Il est donc important de représenter explicitement ces rapports qui sont sujets à un changement continu. Les rapports existants évoluent dans le temps et de nouvelles relations se créent.

Pour faire face à cette variété et forme dynamique de rapports, les chercheurs ont :

- conçu des protocoles rendant capable la formation du contexte organisationnel;

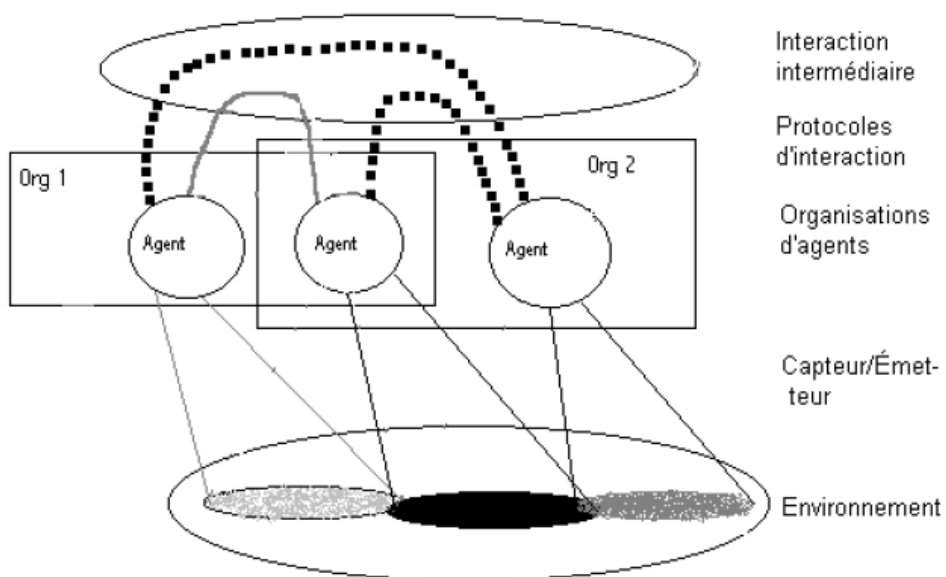
- spécifié des mécanismes permettant aux agents d’agir ensemble de façon cohérente;
- et développé des structures pour caractériser le macro-comportement de l’ensemble.

### 2.3.5 Organisation

Étant donné que les SMA peuvent être considérés comme une société d’agents coopérant ensemble pour accomplir collectivement un objectif donné, il est nécessaire de résoudre un problème d’organisation, généralement de façon dynamique.

Selon Fox [32], on peut définir une organisation comme une structure décrivant comment les membres de l’organisation sont en relation et interagissent afin d’atteindre un but commun.

L’autonomie et le comportement proactif des agents constituant les SMA suggèrent que la conception de ces applications peut être réalisée en imitant le comportement et la structure des organisations humaines, car l’une des missions principales des SMA est de supporter et/ou de contrôler des organisations du monde réel. Un SMA peut, par exemple, aider à contrôler les activités du commerce électronique. Selon [33], la perspective organisationnelle conduit à une caractérisation générale d’un SMA décrite dans la Fig 2.3.



**FIGURE 2.3** Caractérisation d'un SMA [33]

Le système peut être décomposé en des sous-organisations distinctes. Un agent peut jouer un ou plusieurs rôles tout en coopérant et en respectant ses sous-organisations. Les interactions entre agents apparaissent via les capteurs et les émetteurs. Le rôle d'un agent détermine la portion de l'environnement dans laquelle il peut recevoir et émettre des données.

### **2.3.6 La nature de la complexité des systèmes logiciels agents**

La nature de certains systèmes informatiques (industriels) est complexe et est caractérisée par la taille de leurs interactions internes. Cette complexité est directement liée au type d'application auquel le système est destiné. Mais elle possède un certain nombre de points réguliers dans tous les types d'applications :

- elle a souvent une structure hiérarchique dynamique;
- le choix des composantes primitives du système est relativement arbitraire et est défini beaucoup plus selon les directives et les objectifs de l'utilisateur;
- on ne peut prévoir toutes les interactions lors de la conception.

Le but du GL est de fournir des structures et techniques puissantes pouvant permettre de maîtriser facilement cette complexité. BOOCH [33] a identifié trois de ces techniques :

#### **1. La décomposition**

Il s'agit de décomposer le système en des sous-systèmes de façon à ce que :

- ❖ à un niveau quelconque donné, les sous-systèmes coopèrent pour résoudre la fonctionnalité de leurs parents. À chaque sous-système correspondra un ou plusieurs objectifs;
- ❖ Les sous-systèmes soient autonomes, responsables de leurs actions, réactifs et proactifs; Cette décomposition diminue le couplage et les synchronisations sont complètement maîtrisées à travers les interactions entre sous-systèmes; Il est naturel de modulariser un système complexe en termes d'interactions et de composantes autonomes ayant des objectifs spécifiques à atteindre.

## **2. L'abstraction**

L'abstraction est le processus permettant d'avoir un modèle simplifié. Le problème à caractériser est composé de : sous-systèmes, composantes de sous-systèmes, interaction, organisation de rapports.

Les sous-systèmes correspondent aux agents. Les propriétés des composantes des sous systèmes sont des caractéristiques des agents. Les systèmes complexes exigent que des composantes soient regroupées dans une unité conceptuelle .

## **3. L'organisation**

L'organisation est le processus permettant d'identifier et de contrôler les rapports entre les diverses composantes. Les représentations explicites sont faites d'organisations de rapports et de structures.

### **2.3.7 Approche orientée-agent et approche orientée-objet**

Au regard des caractéristiques d'agent, il apparaît que l'approche orientée-agent dans le développement de logiciel consiste en une décomposition du problème en agents ayant des interactions, une autonomie, et un objectif spécifique à atteindre. Les concepts clés d'abstraction liés à un système orienté-agent sont : agent, interaction, organisation.

Bien qu'il existe une similarité superficielle entre objet et agent, la terminologie objet n'est pas adaptée aux systèmes agents :

- les objets sont généralement passifs alors que les agents sont permanents actifs;
- les agents sont autonomes et responsables de leurs actions alors que les objets n'en sont toujours pas;
- on ne peut prévoir tous les comportements des agents dans les systèmes;
- l'approche orientée-objet ne fournit pas un ensemble adéquat de concepts et de mécanismes pour modéliser les systèmes complexes dans lesquels les rapports évoluent dynamiquement;
- certains chercheurs définissent un agent comme un objet actif ayant une autonomie et un objectif.

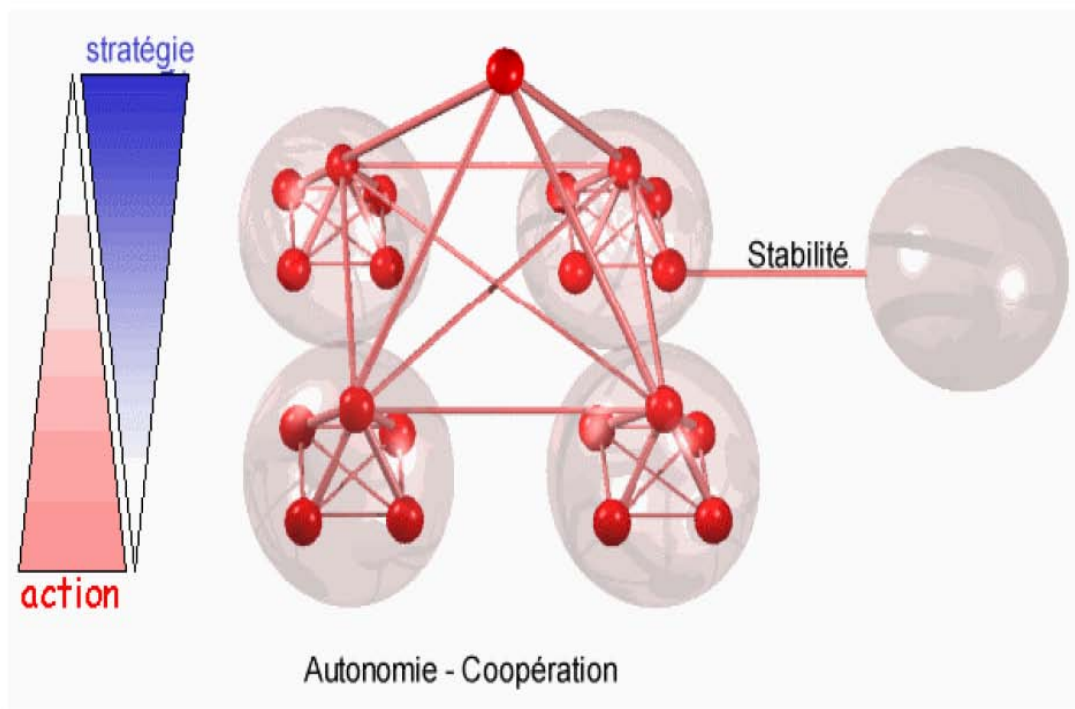
### 2.3.8 Agent holonique

Les systèmes holoniques (Fig 2.4) ont été proposés par A. Koestler (en 1969) pour décrire les systèmes biologiques et sociaux. Cette proposition fait suite à une étude sur le fonctionnement des différentes sociétés non seulement humaines (communistes, capitalistes, dictatoriales, démocratiques) mais aussi animales et végétales (l'arbre ou la plante sont alors vus comme une société composée d'entités). C'est une approche systémique des organisations.

Chaque partie du système, appelée holon, est elle-même décomposable en holons. Le principe holonique veut que chaque partie soit : stable pour pouvoir faire face à des perturbations; autonome pour pouvoir agir d'elle-même afin de réaliser son objectif; coopérante pour se lier à d'autres parties afin de réaliser l'objectif commun du système. Ces systèmes font l'objet d'un courant de recherche actuellement dans le domaine de la robotique et des systèmes manufacturiers. On peut, en effet, concevoir une entreprise comme une entité composée de sous entités qui, idéalement, devraient être stables et avoir des degrés d'autonomie et de coopération équilibrés [34].

L'avantage d'un système holonique est qu'il possède une architecture générique et récursive. Du point de vue agent, un agent holonique a :

- une identité (nom, type, état);
- des connaissances (traitement, autres acteurs);
- un comportement (conçoit, reçoit, envoie, agit, examine);
- respecte un ensemble de règles. Koestler [35] propose un ensemble de 65 règles décrivant les notions de dualité coopération-autonomie, de communication et d'architecture. Ces règles sont regroupées autour de dix ensembles définissant les systèmes holoniques [36].



**FIGURE 2.4** Exemple holonique [37]

### 2.3.9 Facilitateurs – médiateurs – courtiers – tableau noir

Des mécanismes pour la publicité, la découverte, l'utilisation, la présentation, la gestion et la mise à jour des services et des informations fournis par les agents sont nécessaires. Pour réaliser ces mécanismes, des agents intermédiaires sont proposés [38]. Les agents intermédiaires sont des entités auxquelles d'autres agents publient leurs capacités, et qui ne sont ni demandeurs ni fournisseurs. L'avantage de tels agents, est qu'ils permettent à un SMA d'opérer de façon robuste face à l'apparition, à la disparition et à la mobilité des agents.

Les différents types d'agents intermédiaires [38] sont :

#### ✚ Les facilitateurs

Ce sont des agents auxquels d'autres agents abandonnent leur autonomie en échange des services de ces agents (facilitateurs) [38]. Les facilitateurs ont été utilisés dans le modèle dynamique d'interaction proposé par Ribero [39]. Ils possèdent un répertoire des services et capacités des agents et sont capables d'aider dans l'aiguillage du flux d'information et dans la mise en relation des agents. Leur utilisation simplifie les connaissances dont les agents ont besoin à propos des autres agents. Ils peuvent se cantonner à faire appel aux facilitateurs qui, à leur tour, iront

fournir les informations sur les autres agents ou sur les services dont ils ont besoin [39].

#### **Les médiateurs**

Il existe plusieurs approches à l'application du concept de médiateur dans les SMA. Un médiateur est un agent qui exploite les connaissances codées sur un ensemble (ou sous ensemble) de données pour créer des informations pour un niveau d'application supérieur [40]. Selon [41], un agent médiateur est un agent logiciel qui gère avec un dossier les interactions des agents personnels présents dans un même lieu.

#### **Les courtiers**

Ce sont des agents qui reçoivent des demandes et exécutent des actions en utilisant des services d'autres agents, en conjonction avec leurs propres ressources [42].

#### **Les apparieurs et les pages jaunes**

Ce sont des agents qui fournissent des services de pages jaunes pour les autres agents. Les agents peuvent publier leurs compétences (services) et consulter celles des autres agents [39]. Les apparieurs assistent les demandeurs pour trouver des agents fournisseurs de service, en se basant sur les compétences publiées [42].

#### **Tableau noir**

Ce sont des agents repositories qui reçoivent et maintiennent des demandes pour le traitement d'autres agents [43].

## **2.4 Classification des agents**

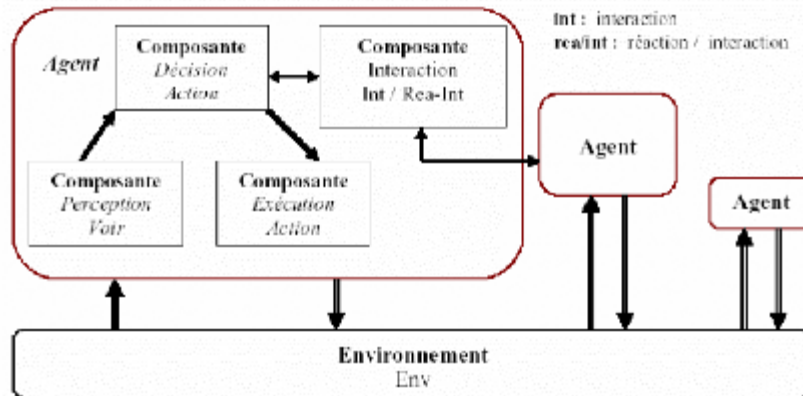
Les experts des systèmes multi-agents ont classifié ces derniers (agents) en deux grandes catégories selon un critère essentiel qui est la représentation de son environnement, et sont donc les agents réactifs et les agents cognitifs, et les systèmes dits hybrides.

### **2.4.1 Agents réactifs**

On parle ici de système intelligent d'agents. Les agents sont simples et ne possèdent pas une représentation de leur environnement, ni de mémoire, ce qui les prive d'apprentissage et de toutes anticipations aux événements. Ils sont caractérisés par l'absence de structures organisationnelles initiales prédéfinies, d'où les agents agissent naturellement au moment où l'action est nécessaire. Leur comportement est de type «stimuli - réponses». Voir figure 2.5



Les SMA dotés d'agents réactifs possèdent généralement un grand nombre d'agents. Le comportement de groupe est impressionnant lorsqu'il s'agit de coordonner certaines actions, telles que leur déplacement.



**FIGURE 2.5** - Structure d'un agent cognitif dans un environnement multi-agents

## 2.4.2 Agents cognitifs

On parle ici de système d'agents intelligents. Les agents cognitifs sont plus évolués, résultats des recherches menées dans le domaine de l'intelligence artificielle. Ils possèdent une représentation globale de leur environnement et des agents avec lesquels ils communiquent, ils tiennent aussi compte de leurs actions antécédentes. Chaque agent possède une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations nécessaires à l'accomplissement de sa tâche, ainsi qu'à l'interaction avec l'environnement et les autres agents.

Les SMA constitués d'agents cognitifs compte un petit nombre d'agents «intelligents», exigent des ressources plus importantes que les agents réactifs, et permettent de résoudre des problèmes plus complexes.

## 2.4.3 Agents hybrides

Ce type d'architecture combine les agents réactifs et cognitifs, qui sont généralement distribués sur plusieurs niveaux ou couches. La couche de haut niveau, délibérative, rassemble des agents purement cognitifs, s'occupe du raisonnement et de la prise de décision du système. La couche de bas niveau ne rassemble que des agents réactifs qui exécutent généralement des tâches élémentaires sous les ordres de la couche supérieure ou par leurs propre initiative. La (les) couches intermédiaires,

peuvent regrouper les deux types d'agent (réactifs et cognitifs), le nombre de couches intermédiaires dépend du modèle du système à concevoir.

## **2.5 L'interaction dans les SMA**

### **2.5.1 Interaction et situation d'interaction**

J. Ferber propose la définition suivante de l'interaction :

Définition : Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques.

Les agents interagissent à travers un ensemble d'évènements pendant lesquels les agents sont en relation les uns avec les autres soit directement soit par le biais de l'environnement.

Toujours d'après J. Ferber, la notion d'interaction suppose :

- a. La présence d'agents capables d'agir et/ou de communiquer.
- b. Des situations susceptibles de servir de point de rencontre entre agents : collaboration, déplacement de véhicules amenant à une collision, utilisation de ressources limitées, régulation de la cohésion d'un groupe.
- c. Des éléments dynamiques permettant des relations locales et temporaires entre agents : communication, choc, champ attractif ou répulsif, etc.
- d. Un certain " jeu " dans les relations entre les agents leur permettant à la fois d'être en relation, mais aussi de pouvoir se séparer de cette relation, c'est-à-dire de disposer d'une certaine autonomie. Si des agents sont totalement liés par un couplage fixe, leur interaction devient rigide et ils n'interagissent plus au sens plein du terme.

En fait, l'aspect pluriel des Systèmes Multi Agents a apporté une dimension supplémentaire de l'individu et son intelligence: l'intelligence ne peut être comprise d'un point de vue individuel, c'est le résultat d'un effort commun d'échanges, de partages et d'interdépendances d'un ensemble d'agents: dans l'absence de l'interaction, un agent devient isolé dépourvu d'aptitudes à l'adaptation.

Alors, quand et comment les agents interagissent-ils? Les circonstances dans lesquelles des agents entrent dans un processus interactif définissent et donnent des critères de comparaison entre les différents types d'interaction. Ces circonstances permettant l'interaction entre les agents sont appelées situations d'interaction dont voici la définition :

**Définition** : [44] On appellera situation d'interaction un ensemble de comportements résultant du regroupement d'agents qui doivent agir pour satisfaire leurs objectifs en tenant compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent et de leurs compétences individuelles.

Cette notion de situation d'interaction permet la catégorisation abstraite indépendante de la réalisation concrète de l'interaction, ce qui sert à dégager d'une part les principaux invariants présents partout, mais aussi les rapports de différences entretenus. A présent, nous présentons les différentes composantes de l'interaction : nous y décrirons plusieurs critères par lesquels il sera possible de classer des types d'interaction.

## 2.5.2 Composantes des interactions

Les principales situations d'interaction dans lesquelles se trouvent les agents sont classées selon trois critères principaux : la compatibilité des objectifs, la disponibilité des ressources et la capacité des agents par rapport aux tâches.

### 2.5.2.1 Compatibilité des buts

**Définition** : [44] Le but d'un agent A est incompatible avec celui d'un agent B si les agents A et B ont comme buts respectifs d'atteindre les états décrits respectivement par p et q et que  $p \rightarrow \neg q$ , c'est-à-dire que : satisfait (but (A,p))  $\rightarrow$  not(satisfait(but(B,q))).

A partir de cette définition, nous aboutissons à une première classification : deux agents sont dans une situation de coopération ou à la limite d'indifférence si leurs buts sont compatibles et dans une situation d'antagonisme sinon.

### 2.5.2.2 Disponibilité des ressources

Quand on dit ressources, l'on entend par là tous les éléments environnementaux et matériels utiles à la réalisation d'une action. Ces ressources, nécessairement limitées, sont des sources de conflits : chaque agent perçoit l'autre comme gêneur quant à l'accomplissement de ses actions.

### 2.5.2.3 Capacités des agents par rapport aux tâches

Dans plusieurs cas, un agent ne peut accomplir ses tâches et réaliser ses buts tout seul, ses seules compétences ne lui permettent pas de s'en sortir tout seul. Dans ce cas, l'agent est obligé d'interagir avec les autres afin d'essayer de se grouper et d'accomplir cette tâche ensemble.

## 2.6 Les types d'interaction

En nous basant sur les trois principales composantes de l'interaction, nous allons considérer, pour chacune des composantes, les deux possibilités extrêmes (oui/non) et faire la combinaison de tous ces cas ( $2^3$  cas), ce qui donne huit types d'interaction que nous récapitulons dans le tableau suivant:

Buts	Ressource	Compétences	Types de situation	Catégorie
Com <sup>1</sup>	Suffisante	Suffisantes	Indépendance	indifférence
Com	Suffisante	Insuffisantes	Collaboration simple	Coopération
Com	Insuffisante	Suffisantes	Encombrement	Coopération
Com	Insuffisante	Insuffisantes	Collaboration coordonnée	Coopération
Inc <sup>2</sup>	Suffisante	Suffisantes	Compétition individuelle pure	Antagonisme
Inc	Suffisante	Insuffisantes	Compétition collective pure	Antagonisme
Inc	Insuffisante	Suffisantes	Conflits individuels pour ressources	Antagonisme
Inc	Insuffisante	Insuffisantes	Conflits collectifs pour ressources	Antagonisme

**Tableau 2.1** Types d'interactions

Comme le montre le tableau ci-haut, les types d'interaction sont multiples et variés et sont divisés en trois catégories : l'indifférence, l'antagonisme et la coopération. En réalité, la coopération est la catégorie la plus sollicitée et la plus étudiée lors de la conception d'un SMA : nous posons alors certaines hypothèses afin de nous concentrer sur cet aspect spécifique. D'une part, nous supposons que les buts des agents sont compatibles. D'autre part, nous considérons l'hypothèse que les agents sont bienveillants et qu'ils cherchent à s'entre aider ou à parvenir à un compromis si

des intérêts portant sur des ressources sont en jeu. Dans ce qui suit, nous passons en revue les différentes formes ainsi que les méthodes de coopération.

## **2.7 La coopération et les formes de coopération**

La coopération est souvent présentée comme un concept clé de l'IAD1 [45]. Cependant la majorité de ces travaux traitent exclusivement de la coopération des agents cognitifs et ne traitent pas ou peu de la coopération réactive. Nous présentons maintenant les visions de la coopération existant sous différentes formes.

### **2.7.1 La coopération comme attitude intentionnelle**

Dans cette vision, la coopération entre agents résulte de leur intention de coopérer i.e. ils sont conscients qu'ils ont besoin de coopérer. Cette intention de coopérer est le résultat, soit de l'identification de buts communs, soit de l'adoption de buts communs par les agents. Dans ce cas, on appelle coopération l'interaction de deux agents ayant l'intention de coopérer et ce, en faisant abstraction du résultat de leur coopération. Cette approche offre l'exclusivité de la coopération aux agents cognitifs alors que l'on reconnaît que les fourmis par exemple coopèrent afin de récupérer de la nourriture sans pour autant en être conscients. Ce constat nous amène à identifier une autre forme de coopération en termes de comportement externe et de résultat collectif : une coopération du point de vue de l'observateur.

### **2.7.2 La coopération du point de vue de l'observateur**

Cette approche stipule que l'on qualifie de coopération un comportement externe identifié en tant que tel sans avoir accès aux états mentaux des agents coopérants. Cette vision lève la contrainte d'exclusivité de la coopération aux agents cognitifs et l'étend ainsi aux agents réactifs. Afin de pouvoir détecter les caractéristiques externes pour la reconnaissance de la coopération, l'on a introduit la notion d'indice de coopération [46], notion spécialement intéressantes car elle fait abstraction des caractéristiques internes des agents pour se concentrer sur leur comportement observable.

A présent, nous présentons les indices des activités de coopération proposés par T.Bouron:

1. La coordination d'actions, qui concerne l'ajustement de la direction des actions des agents dans le temps et l'espace.

2. Le degré de parallélisation, qui est fonction de la répartition des tâches et de leur résolution concurrente.

3. Le partage des ressources, qui concernent l'utilisation des ressources et des compétences.

4. La robustesse, qui concerne l'aptitude du système à suppléer la défaillance d'un agent.

5. La non redondance des actions, qui caractérise le faible taux d'activités redondantes.

6. La non persistance des conflits, qui témoigne du faible nombre de situations bloquantes.

Comme on a dit plus haut, l'idée d'avoir des indices de coopérations est intéressante puisque ces derniers donnent une idée de la coopération existante d'un point de vue extérieur. Seulement, le principal handicap rencontré face à ces indices est leur mesurabilité : on devrait pouvoir quantifier ces indices afin de pouvoir porter un jugement sur le degré de coopération de deux ou plusieurs agents. Par souci de simplification de ces indices afin d'en faire ressortir un ensemble minimal et cohérent sur lequel on peut bâtir un ensemble d'indices plus complexes, J.Ferber propose la définition suivante :

**Définition** : [44] On dira que plusieurs agents coopèrent, ou encore qu'ils sont dans une situation de coopération, si l'une des deux conditions est vérifiée :

1. L'ajout d'un nouvel agent permet d'accroître différenciellement les performances du groupe.
2. L'action des agents sert à éviter ou à résoudre des conflits potentiels ou actuels.

Il suffit alors que l'une de ces deux conditions soit vérifiée pour que l'on puisse juger la situation étudiée comme coopérative. Seulement, certes, accroître les performances peut avoir pour objectif d'améliorer un certain paramètre, seulement plus profondément, le gain en performance sous-tend un objectif plus primordial qui est celui de la survie.

### **2.7.3 L'amélioration de la survie**

Il y a deux types de survie : la survie de l'individu, c'est-à-dire la capacité pour un agent à garder sa cohésion alors qu'il est confronté à des forces qui tendent à

détruire ses aptitudes fonctionnelles et la survie collective qui correspond au maintien du groupe.

Il est possible de définir la capacité individuelle de survie d'un agent de deux manières : soit en considérant sa probabilité de survie dans un environnement donné, soit en analysant son bilan énergétique i.e. le rapport qui existe entre la quantité d'énergie qu'il absorbe et celle qu'il dépense par unité de temps : lorsque ce rapport est supérieur à 1, l'individu ou le groupe sont capables de survivre et même éventuellement d'investir leur surplus d'énergie à des tâches supplémentaires.

#### **2.7.4 L'accroissement des performances**

Les indices de performance traduisent la capacité d'un agent ou d'un groupe d'agents à accomplir des tâches définies par des tiers. Ils sont variés, mais ils doivent traduire les caractéristiques intrinsèques d'un collectif.

Par exemple, les robots récupérateurs de minerai voient leur indice de performance augmenter du moment qu'ils se communiquent les positions des minerais, alors que dans le cas contraire, l'augmentation du nombre de robots ne ferait qu'augmenter linéairement la performance du groupe.

#### **2.7.5 La résolution de conflits**

Du fait de leur autonomie, les agents risquent fort de se trouver très souvent en situation de conflit. Les situations conflictuelles sont à la fois la cause et l'effet de l'interaction : elles naissent d'une situation de manque de ressources et nécessitent des interactions supplémentaires afin de gérer cette situation. Les indices conflictuels traduisent simplement le nombre d'agents en situation de conflit ou alors le nombre d'individus désirant accéder à la même ressource. On passe à présent au deuxième volet de la coopération : les méthodes de coopération.

### **2.8 Les méthodes de coopération**

Jusqu'ici, nous avons étudié les conditions de l'engagement d'un processus de coopération, mais nous n'avons pas encore présenté les moyens offerts aux agents pour coopérer. Ces moyens appelés méthodes de coopération sont au nombre de six, dans cette section, nous en verrons cinq : le regroupement et la multiplication, la spécialisation, la collaboration par partage des tâches et des ressources, la coordination d'actions et enfin la résolution de conflit par arbitrage et négociation.

Nous nous étendrons sur la sixième méthode -la communication- dans une section qui lui sera consacrée.

### **2.8.1 Le regroupement et la multiplication**

La première méthode est la plus intuitive : elle consiste à se regrouper pour former un groupe homogène sinon dense. Dans le contexte multi agent, ceci offre une fiabilité accrue du système –réaction aux pannes par exemple- ainsi qu’une possibilité de spécialisation des agents qui le composent. En effet, un plus grand nombre d’agents permet à chacun des composants à se concentrer sur certaines activités plutôt que d’autres. Cette multiplication du nombre de participants et ce principe de vie en communauté ainsi que ses avantages peuvent être étudiés analogiquement avec ceux de la vie réelle en société.

### **2.8.2 La spécialisation**

La spécialisation comme résultat d’un regroupement a été traitée à la sous-section précédente ; maintenant, elle peut être soit un choix conceptuel, et le travail collectif deviendra une sorte de travail à la chaîne à la manière taylorienne. Une deuxième possibilité est présentée par A.Drogoul [47], elle consiste à utiliser des agents qui ont des préférences pour certaines tâches plutôt que d’autres, il démontre que cette société spécialisée est plus efficace qu’une sociétés d’agents tripotents.

### **2.8.3 La collaboration par partage de tâches et de ressources**

Nous appelons collaboration l’ensemble des techniques permettant à des agents de se répartir des tâches, des informations et des ressources afin de réaliser une tâche commune. Cependant, il existe de nombreux moyens de répartition de tâches et de moyens. Pour les agents cognitifs, il s’agit pour les agents soit d’avoir des représentations mutuelles de leurs capacités [48], soit d’utiliser des techniques d’appel d’offre où les agents sont à la fois demandeurs et offreurs.

### **2.8.4 La coordination d’actions**

Dans un système nécessairement distribué tel qu’un Système multi agent, qui plus est est constitué d’entités autonomes -les agents- essayant d’atteindre leurs buts et étant donné que l’exécution des tâches ne peut s’effectuer sans contrôle, la coordination afin de garantir le bon déroulement du processus est assuré par les agents



eux mêmes. Ces tâches de coordination ne sont pas directement productives, mais elles servent à garantir le bon déroulement de celles qui le sont. Cette phase -de coordination- est principalement liée à l'ordre d'exécution des tâches. Ce constat implique des mécanismes de planification multi agents par exemple.

### 2.8.5 La résolution de conflit par arbitrage et négociation

Nous avons parlé dans la première partie de ce chapitre des conflits qui peuvent naître entre les agents. A un moment ou à un autre, de tels conflits peuvent s'avérer insolubles. Dans ces conditions, l'on a recours aux mécanismes de résolution de conflit. La première manière de faire est la présence d'un arbitre : il dispose de règles de comportement générales qui régissent le comportement des entités du système sur lesquelles il se base afin de pouvoir trancher entre les agents entrant en conflit. La deuxième technique est celle de la négociation où l'on préfère laisser la résolution des conflits justement aux membres du conflit. Cette dernière technique a été particulièrement étudiée par l'école américaine. Dans les systèmes multi agent réactifs, de telle techniques ne peuvent être mises en œuvre à cause de la relative simplicité de structure de ce type d'agents ; dans ce cas, les règles de fonctionnement sont incorporées au sein de l'agent lui-même i.e. qu'elles sont en quelque sorte pré-compilées au moment de la création de l'agent, de cette façon, l'on garantit que l'agent se comportera d'une façon conforme aux règles qui régissent le système dans lequel ils sont plongés.

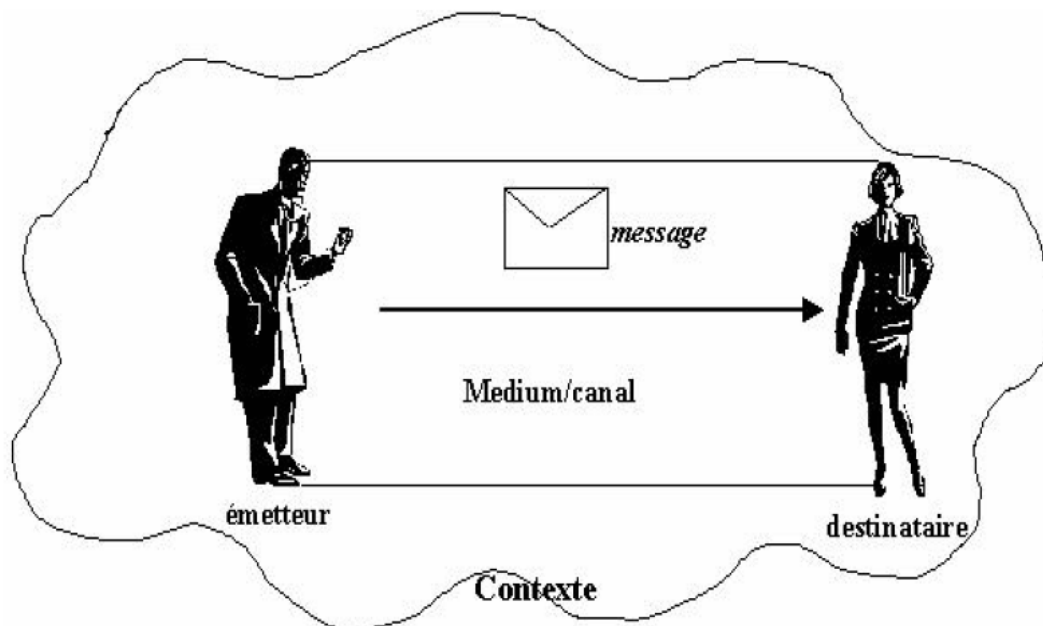


FIGURE 2.6 Le modèle classique de la théorie de la communication

Avant de passer à la communication dans les SMA, nous présentons cette propriété de la coopération présentée dans [49] qui voit la coopération comme attitude sociale:

**Propriété 1:** L'échange social est une forme de dépendance réciproque. En se basant sur ceci, un groupe d'agents forme une équipe coopérative quand:

Tous les agents partagent un but commun.

Chaque agent est sollicité pour participer afin de réaliser le but commun du groupe.

Chaque agent adopte une tâche pour réaliser sa part.

## **2.9 La communication dans les systèmes multi agent**

La communication est à la base de l'interaction et de l'organisation sociale, elle permet aux agents de coopérer, négocier, échanger des informations et effectuer des tâches en commun. Tout ce qu'on a vu dans ce chapitre ne peut être accompli sans structure de communication entre agents. Un schéma simpliste de communication est celui qui met en action un émetteur, un destinataire et un médium sur lequel transite le message (voir Fig 3.1). Les linguistes ont intégré le schéma cité ci haut dans leur description des faits de langues en classant les manières de communiquer par rapport aux relations qui s'expriment entre les différentes entités concernées par l'acte de communication [50]. Ces relations portent sur :

1. La liaison émetteur-destinataire
2. La nature du médium
3. L'intention de communiquer

## **2.10 Langages de communication entre agents**

Il y a deux principales approches pour concevoir un langage de communication entre agents [51]. La première approche est une approche procédurale où la communication est basée sur le contenu exécutable. Ceci pourrait être réalisé en utilisant les langages de programmation tel que Java par exemple [52]. La seconde approche est une approche déclarative, où la communication est basée sur des déclarations telles que des définitions et des hypothèses.

Selon [39], les approches déclaratives ont été préférées pour la conception de langages de communication entre agents, probablement à cause des limitations sur les approches procédurales (le contrôle du contenu exécutable est difficile).

La plupart des implémentations des langages déclaratifs sont basées sur des actes illocutoires, tels qu'une demande ou une commande; les actions sont communément appelées performatives. Vanderveken a travaillé avec Searle dans la classification des actes de langage et ultérieurement dans l'axiomatisation de la théorie des actes de langage [53]. Il pose qu'un acte de langage A est de la forme :  $A = F(P)$  où F est une force illocutoire appliquée à un contenu propositionnel P.

La force illocutoire est présente dans une phrase sous la forme d'un verbe à la première personne de l'indicatif. Par exemple, pour demander à une personne si elle possède un crayon (as-tu un crayon?), l'acte de langage doit être : je demande si tu as un crayon; le performatif ici est le verbe demander.

Un des langages déclaratifs d'agents les plus utilisés est KQML.

## **2.11 Domaines d'application des SMA**

On distingue généralement 3 types d'utilisation des systèmes multi-agents :

La simulation ou la modélisation de phénomènes complexes

Où on utilise les SMA pour simuler des interactions existantes entre agents autonomes. Le but est de déterminer l'évolution de ce système afin de prévoir l'organisation finale. Ce qui importe c'est le comportement d'ensemble et non pas le comportement individuel. L'autonomie permet ici de simuler le comportement exact d'une entité.

La résolution de problèmes et prise de décision

L'intelligence artificielle distribuée est née pour résoudre les problèmes de complexité des gros programmes de l'intelligence artificielle : l'exécution est alors distribuée, mais le contrôle reste centralisé. Contrairement aux SMA, où chaque agent possède un contrôle total sur son comportement. Pour résoudre un problème complexe, il est plus simple de concevoir des programmes relativement petits (les agents) en interaction, qu'un seul gros programme monolithique. L'autonomie permet au système de s'adapter dynamiquement aux changements imprévus qui interviennent dans l'environnement.

Exemple : minimisation d'impact pour des aménagements

La conception de programmes

Intégrer un système d'information constitué d'un ensemble d'agents organisés pour faciliter la compréhension et la décision, soit individuelle, soit collective. Contrairement à un objet, un agent peut prendre des initiatives, refuser d'obéir à une requête, se déplacer . . .

Exemple : systèmes d'aide à la négociation de projets

## 2.12 Quelques exemples de SMA

Les systèmes multi-agents associés à l'intelligence artificielle représentent actuellement un grand domaine d'application et de recherche. Plusieurs systèmes ont été développés, nous présenterons ici quelques uns tels que :

- ❖ · Le système MANTA : ce système illustre parfaitement l'intérêt de la Modélisation multiagents de type réactif. Il modélise la constitution d'une fourmilière mature à partir d'une ou plusieurs reines, étudie la capacité d'adaptation d'une telle colonie, le mécanisme de polyéthisme (division du travail), et la spécialisation des ouvrières.
- ❖ Cette simulation avait vérifié le fait qu'une société d'agents peut bien survivre et s'organiser en se passant de tout système de contrôle centralisé et d'une quelconque organisation hiérarchique.
- ❖ · Le comportement de meute : les agents réactifs se montrent capables d'évoluer parfaitement en groupe tout en s'évitant mutuellement, constituant par là une meute aux comportements très souples. Le premier à s'être intéressé à ce comportement est Craig Reynolds (1987) , il a créé des créatures appelées "Boïds", des agents réactifs capables d'interagir pour réaliser un comportement semblable à un vol d'oiseaux migrateurs, chacun des Boïds se contentant d'appliquer un ensemble de règles comportementales :
  - Maintenir une distance minimale par rapport aux objets de l'environnement y compris les autres Boïds.
  - Adapter sa vitesse à la moyenne de celle de ses voisins.
  - Aller vers le centre de gravité de l'ensemble des Boïds voisins.

- Contrairement aux oiseaux, les Boïds évoluent sans leader et sans contrôle global. Ils contournent tous ensemble un obstacle tout en restant naturellement groupés.
- ❖ les systèmes industriels distribués : où les concepteurs partent de problèmes réels existants et ils cherchent à les résoudre en se basant sur les techniques d'interaction et de coopération des systèmes multi agents.
- ❖ Plusieurs systèmes ont été développés dans les domaines de la télécommunication, et de contrôle du trafic aérien.
- ❖ Applications temps réel: Les agents ont été bien évidemment appliqués au domaine des systèmes temps réel; ce dernier maintient des systèmes à contrainte souple.
- ❖ Applications agents pour le commerce électronique : Le e-commerce signifie des échanges de produits qui se passent via Internet. Les sites pour les ventes aux enchères, pour les négociations entre les utilisateurs (producteurs/consommateurs), etc.
- ❖ Applications agents pour la Recherche d'Information: Une grande partie des applications de système multi-agents est dans le domaine de recherche d'information. Parmi ces nombreuses applications dans ce domaine, on peut trouver "NetSA": une architecture de système multi-agents pour la recherche d'information dans des sources hétérogènes et réparties.

Nous avons aussi les projets suivants : Phoenix (simulation de contrôle de feux de forêts); Archon (gestion de réseaux électriques); SimDelta (simulation de gestion de ressources halieutiques); Smaala (aide à la localisation d'infrastructures linéaires); Simpop (dynamiques urbaines); Swarm (simulation d'écosystèmes); Gestion de trafic aérien ...

## **2.13 Conclusion**

Nous avons fait un tour d'horizon des principales notions dans les SMA, on a essayé de préciser les quatre notions clés qui sont les dimensions Agent, Environnement, Interaction et Organisation. Les SMA, des systèmes qui sont aujourd'hui mûrs, largement répandus et développés autour du monde sont parmi les domaines les plus porteurs en Intelligence Artificielle et touchent à des domaines

différents, variés comme les sciences cognitives, la philosophie, la biologie, les théories d'organisation, la gestion des ressources humaines etc..

Les agents sont considérés comme une importante voie de recherche et de développement ; on a essayé de montrer la cause .Nous avons présenté les agents leur différence avec les objets ,leurs architectures et les langages qui sont basés dessus.

Nous avons mis l'accent sur le caractère 'une composante vital qui est l'environnement puisque elle conditionne l'efficacité du système ,des agents ,et de l'organisation du système .Aussi nous avons présenté la base de la constitution d'organisation sociale qui est l'interaction et qui une notion fondamentale des SMA.

Les organisations possibles des SMA sont pratiquement infinies, néanmoins on a essayé de porter quelques lumières.

## Chapitre 3

# La Puissance Réactive Dans Les Réseaux Électriques

### 3.1. INTRODUCTION

Durant les dix dernières années, l'industrie de l'énergie électrique est confrontée à des problèmes liés à de nouvelles contraintes qui touchent différents aspects de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. On peut citer entre autres les restrictions sur la construction de nouvelles lignes de transport, l'optimisation du transit dans les systèmes actuels, la Cogénération de l'énergie, les interconnexions avec d'autres compagnies d'électricité et le respect de l'environnement.

Dans ce contexte, il est intéressant pour le gestionnaire du réseau de disposer d'un moyen permettant de contrôler les transits de puissance dans les lignes afin que le réseau de transport existant puisse être exploité de la manière la plus efficace et la plus sûre possible.

Jusqu'à la fin des années 80, les seuls moyens permettant de remplir ces fonctions étaient des dispositifs électromécaniques : les transformateurs-déphaseurs à réglage en charge pour le contrôle de la puissance active ; les bobines d'inductance et les condensateurs commutés par disjoncteurs pour le maintien de la tension et la gestion du réactif. Toutefois, des problèmes d'usure ainsi que leur relative lenteur ne permet pas d'actionner ces dispositifs plus de quelques fois par jour ; ils sont par conséquent difficilement utilisables pour un contrôle continu des flux de puissance. Une autre technique de réglage des transits de puissances actives et réactive utilisant l'électronique de puissance a fait ses preuves.

La solution de ces problèmes passe par l'amélioration du contrôle des systèmes électriques déjà en place. Il est nécessaire de doter ces systèmes d'une certaine flexibilité leur permettant de mieux s'adapter aux nouvelles exigences.

Les éléments proposés qui permettent ce contrôle amélioré des systèmes sont les dispositifs FACTS (acronyme anglais de « Flexible Alternating Current Transmission System »).

Les dispositifs FACTS font en général appel à de l'électronique de puissance, des microprocesseurs, de l'automatique, des télécommunications et des logiciels pour parvenir à contrôler les systèmes de puissance. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils donnent en principe un contrôle plus souple de l'écoulement de puissance. Ils donnent aussi la possibilité de charger les lignes de transit à des valeurs près de leur limite thermique, et augmentent la capacité de transférer de la puissance d'une région à une autre. Ils limitent aussi les effets des défauts et des défaillances de l'équipement, et stabilisent le comportement du réseau.

Pour parvenir à cette amélioration, il serait nécessaire de laisser plus de place au contrôle dans les réseaux électriques de sorte à profiter dans la modélisation de ceux-ci. Il est nécessaire aussi de profiter des progrès dans les domaines des télécommunications, du contrôle en temps réel et du traitement des données, dans le but de réduire les temps de réponse de ces dispositifs.

### **3.2 Puissance réactive**

Un réseau a pour fonction de transporter la puissance (ou l'énergie) depuis une source de production vers un centre de consommation appelé charge ou récepteur. La charge est caractérisée par sa tension, son courant, son impédance et son facteur de puissance. Tout système électrique fonctionnant sous tension alternative consomme de l'énergie sous deux formes, l'énergie active et l'énergie réactive, puisque la tension et le courant sont rarement en phase. En régime sinusoïdal, à la fréquence industrielle (50 Hz), appelons :  $U$  et  $I$  les valeurs efficaces respectivement de la tension  $u$  et du courant  $i$ .

$\varphi$ : déphasage entre  $U$  et  $I$ .



La puissance apparente, fournie par la source de production :

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad (3.1)$$

Impose les dimensions du générateur et du réseau de transport ou de distribution. Seule la puissance active, reçue par la charge, se transforme en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc. C'est la puissance utile qui transite par la charge et qui est :

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (3.2)$$

Par rapport à la puissance apparente S, la puissance active P est réduite d'un facteur de puissance entraînant des pertes d'efficacité du réseau, La puissance réactive, non utilisée, est :

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi \quad (3.3)$$

La puissance réactive sert à l'aimantation des circuits magnétiques des machines électriques (transformateurs et moteurs) et de certains appareils tels que les lampes fluorescentes. Mais, par contre, la transporter en même temps que la puissance active conduit à surdimensionner les lignes de transport et de distribution et donc à augmenter le coût ou à les faire fonctionner à leurs limites, ce qui peut conduire à des instabilités néfastes pour la qualité de service.

On montre que la puissance réactive a des propriétés de conservation dans le réseau. Par convention, tout élément inductif du réseau ( $> 0$ ) consomme de l'énergie réactive et tout élément capacitif ( $< 0$ ) en produit. Il est aisé de calculer ces consommations et productions. La puissance réactive consommée par une inductance L parcourue par un courant I est :

$$Q_l = L \times \omega \times I^2 \quad (3.4)$$

La puissance réactive produite par une capacité c soumise à une tension U est égale à :

$$Q_c = C \times \omega \times U^2 \quad (3.5)$$

Avec

$\omega$  : la pulsation du réseau en radians par seconde

f : la fréquence en (hertz)

Comme pour la puissance active, on peut établir, aux noeuds du réseau ou sur tout trajet du courant, des bilans équilibrés de puissance réactive. Le bilan global est le suivant :

§ Les charges sont très généralement inductives, c'est-à-dire consommatrices de puissance réactive ;

§ Les lignes aériennes produisent de l'énergie réactive du fait de leur capacité lorsqu'elles sont peu chargées ; elles en consomment lorsqu'elles sont fortement chargées ;

§ Les câbles souterrains en produisent du fait de leur faible inductance et de leur grande capacité ;

§ Les transformateurs en consomment.

Globalement, le réseau et ses charges appellent de l'énergie réactive ainsi, il s'établit sur les réseaux, une forte circulation de puissance réactive, ce qui se traduit par des facteurs de puissances faibles en tout point du réseau, par conséquent, de fortes pertes de rendement et un sur dimensionnement des réseaux. L'ampleur du phénomène est telle que, dans bien des cas, le réseau ainsi constitué deviendrait inexploitable. La solution consiste à produire de la puissance réactive au voisinage des lieux de consommation. C'est le rôle des condensateurs de puissance ou les compensateurs statiques SVC .Placés près des éléments inductifs, ces derniers leur fournissent directement de la puissance réactive ; celle-ci n'a plus à circuler sur le réseau d'alimentation ; on limite ainsi les instabilités de la tension et les surdimensionnements des réseaux [55].

### 3.3. Compensation de la puissance réactive

Un réseau est défini comme un ensemble d'appareils destinés à la production, au transport, à la distribution à partir de la centrale de génération jusqu'aux centrales industrielles, commerciales et résidentielles. Le transport de cette énergie se fait sur les conducteurs tels que les lignes aériennes et les câbles souterrains. Afin que l'énergie électrique soit utilisable, le réseau de transport et de distribution doit satisfaire les exigences suivantes:

- · Assurer au client la puissance dont il a besoin
- · Fournir une tension stable dont les variations ne dépassent pas 10% de la tension nominale pour les réseaux de transport,
- · Fournir une fréquence stable dont les variations ne dépassent pas 0.5%,
- · Fournir l'énergie à un prix acceptable,
- · Maintenir les normes de sécurité,
- · Protection de l'environnement.

Dans toute installation électrique alimentée en courant alternatif, la puissance consommée se décompose en:

Puissance active qui se transforme en puissance mécanique et en chaleur,

Puissance réactive nécessaire à l'excitation magnétique des récepteurs inductifs (Tels que les moteurs, les transformateurs).

La consommation excessive, pour une centrale industrielle de l'énergie réactive, entraîne des dépenses élevées.

Pour réduire ces dernières, il faut agir sur le facteur de puissance de l'installation.

En effet, dès qu'il y ait diminution du facteur de puissance, le courant de charge d'une centrale électrique et des postes de transformation augmente, malgré que la puissance distribuée reste la même. En Algérie, le facteur de puissance est considéré normal s'il atteint 85% à 90%; dès que le facteur de puissance soit faible dans une entreprise consommant de l'énergie électrique, l'entreprise paye une amende et lorsque ce facteur est élevé, elle reçoit une prime. Donc, l'amélioration du est une

tâche extrêmement importante pour l'économie. Le consommateur devrait donc soit payer la part de la puissance réactive correspondante, soit prévoir une installation de compensation de la puissance réactive. En principe, il est possible d'agir sur le facteur de puissance en intervenant sur la puissance active, en pratique on fait varier la puissance réactive soit en la diminuant, soit en l'augmentant, ce réglage s'appelle évidemment la compensation, La puissance réactive n'est nettement définie qu'en sinusoïdale et elle vaut

$$Q = U_L I - U_C I \quad (3.6)$$

La puissance réactive traduit l'importance de l'échange d'énergie entre la source et l'inductance ou la capacité. Donc, le sens physique de cette puissance réactive c'est une énergie accumulée dans les éléments non dissipatifs tels que les selfs et les condensateurs. Cette énergie est liée aux champs électriques et magnétiques.

### 3.4 Transport de puissance active et réactive

Considérons un réseau dont la source E alimente une charge à travers une ligne de réactance x. la puissance active et réactive à travers une ligne dépendent de la tension à l'extrémité de la ligne U , l'angle de déphasage  $\delta$  et de la tension de la source E.

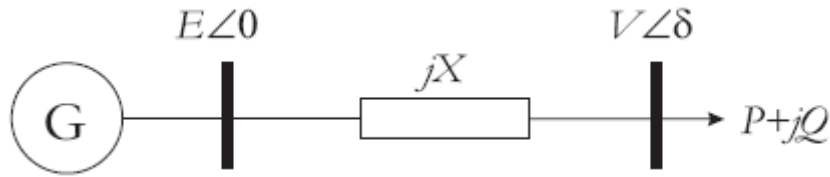
$$P = \frac{EU}{X} \sin \delta \quad (3.7)$$

$$Q = \frac{EU}{X} \cos \delta - \frac{U^2}{X} \quad (3.8)$$

En éliminant  $\delta$  par l'identité trigonométrique on obtient

$$\left( Q + \frac{U^2}{X} \right)^2 + P^2 = \left( \frac{EU}{X} \right)^2 \quad (3.9)$$

Selon le réseau simple suivant :



**FIGURE 3.1** réseau simple

Les solutions de l'équation à variable  $U^2$  sont :

$$U^2 = \frac{E^2}{2} - QX \pm X \sqrt{\frac{E^4}{4X^4} - P^2 - Q \frac{E^2}{X}} \quad (3.9)$$

Elle est positive si elle vérifie la condition suivante :

$$P^2 + Q \frac{E^2}{X} \leq \frac{E^4}{4X^2} \quad (3.10)$$

Cette inégalité montre la combinaison de puissance active et réactive que transporte la ligne pour alimenter la charge. Substituant la puissance de court circuit à la fin de la ligne

$$S_{sc} = E^2 / X \quad (3.11)$$

nous obtenons:

$$P^2 + QS_{sc} \leq \left( \frac{S_{sc}}{2} \right)^2 \quad (3.12)$$

Ce qui nous conduit à tirer les observations suivantes

- Le transport maximum de puissance active à  $S_{sc} / 2$  pour  $Q=0$
- Le transport maximum de puissance réactive à  $S_{sc} / 4$  pour  $P=0$
- Une injection de puissance réactive à la fin de la ligne augmente la capacité de transport de la ligne
- La limite de transport est proportionnelle à l'admittance de la ligne et au carré de la tension de la source

### 3.5. Mode de compensation

Le fonctionnement du réseau dans de bonnes conditions de la qualité, de sécurité et d'économie implique une maîtrise de l'évolution de son état électrique. Le maintien d'une tension correcte nécessite de la part du dispatcher, des ajustements de la production d'énergie réactive par un dialogue avec les centrales. Dans ces conditions, la coordination des divers moyens de réglage est délicate. Il en résulte des variations de tension importantes entre heures creuses et heures pleines. Ces variations peuvent être gênantes et il peut dans certains cas en résulter un risque d'auto dégradation du plan de tension qui peut conduire à un effondrement partiel ou total du réseau. Sans disposition particulière, la puissance réactive consommée par les charges et le réseau provient essentiellement des alternateurs. On a vu que le transit de cette puissance à travers les éléments du réseau produit non seulement des chutes de tension mais aussi des pertes de puissances actives et réactives .

$$\Delta P = r \cdot I^2 \quad (3.13)$$

On peut réduire ces perturbations de tension ainsi que les réactions dues aux charges asymétriques et aux harmoniques, en évitant le transport de la puissance réactive et la produire autant que possible là où elle est consommée et cela est possible en installant des dispositifs appelés les compensateurs réactives.

La compensation de la puissance réactive à pour tâche:

- § Réduire les fluctuations de tension et les phénomènes de flicker (papillotement)
- § Améliorer le facteur de puissance
- § Equilibrer les charges asymétriques

Les caractéristiques idéales pour un système quelconque de compensation sont les suivantes :

- § Réponses rapides à des variations brusques de charges ce qui garantit les changements rapides et lents de la charge seront atténués,
- § Réponses indépendantes pour chaque phase de manière à ce que les variations de charges équilibrées et déséquilibrées sur les phases soient atténuées.

Le principe de la compensation serait donc, selon la demande du réseau, de fournir de la puissance réactive ou de l'absorber. En analysant la nature de la puissance réactive, on peut conclure que la puissance réactive est une chose très importante pour les réseaux électriques (en courant alternatif). On distingue les sources principales et les sources complémentaires (ou secondaire), les sources principales sont destinées pour la production de la puissance active et la puissance réactive, ce sont les générateurs des centrales électriques qui produisent ces puissances et les sources complémentaires (ou secondaire) sont des installations électriques destinées pour la compensation du surplus ou des déficits de la puissance réactive dans les réseaux électriques pour différents réglages et différents régimes de fonctionnement. Leur puissance installée et leur emplacement sont en relation directe avec des critères technique et technico-économique.

Il existe de nombreuses façons d'effectuer la compensation de la puissance réactive. Un bon sondage est donné dans [55]. Le tableau 5.1 donne un aperçu des méthodes les plus couramment utilisées.

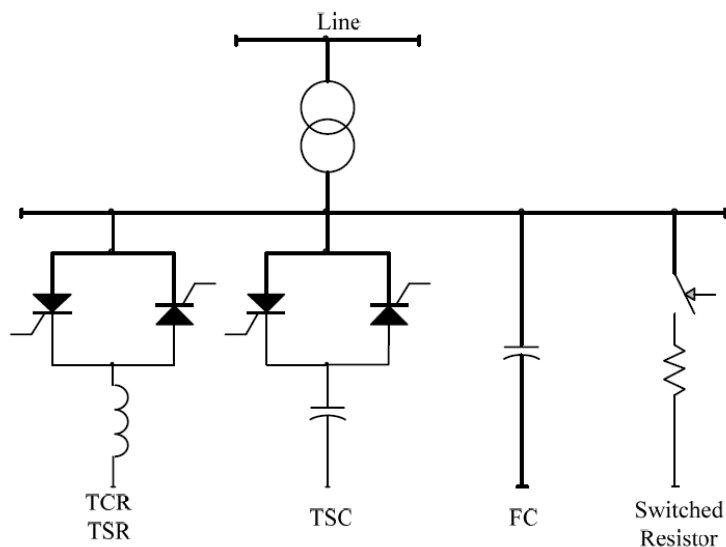
Type d'équipement	Vitesse de réponse	Support de tension		Coûts	
		capacité	disponibilité		
Générateur	Rapide	excellent	bas	Difficile de séparer	élevé
Compensateur Synchrone	Rapide	excellent	bas	30-35 \$	élevé
Batterie de condensateur		Faible, dépend de la $U^2$	élevé	\$ 8-10	Très faible
Compensateur statique	Rapide	Faible, dépend de la $U^2$	élevé	45-50 \$	modéré
Statcom	Rapide	Faible, dépend de la U	élevé	50-55 \$	modéré
Génération distribuée	Rapide	Faible, dépend de la U	bas	Difficile de séparer	élevé

**Tableau 3.1** différentes méthodes de compensations

Pour le contrôle de la tension les moyens les plus utilisés sont :

### 3.5.1 COMPENSATEUR STATIQUE A THYRISTORS.

Ils sont constitués d'ensembles de condensateurs et d'inductances commandés par thyristors. Les compensateurs statiques ont des bonnes performances dynamiques, ils peuvent donc être utilisés pour les réglages de la tension, en particulier dans les zones éloignées des centres de production, ils permettent également de réduire les perturbations créées par certains utilisateurs et contribuer à l'amélioration de la stabilité du réseau. Ces thyristors sont montés tête-bêche dans chaque phase, chacun d'entre eux étant ainsi conducteur pendant une demi-période. La puissance réactive absorbée par l'inductance varie en contrôlant la valeur efficace du courant qui la traverse par action sur l'angle d'amorçage des thyristors. Dans le cas des batteries de condensateurs, les thyristors commandent la mise en service des différents gradins et la puissance réactive fournie varie par palier.



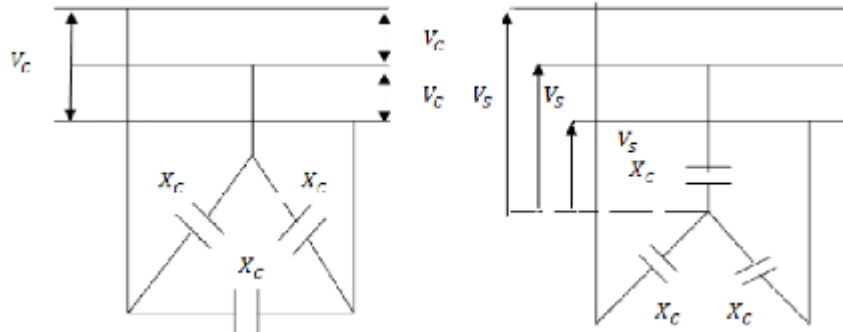
**FIGURE 3.2** Schéma d'un SVC

### 3.5.2 BATTERIE DE CONDENSATEURS

Le branchement d'une batterie de condensateur aux bornes d'une charge comme est représenté dans la Figure (3.3 ), [17, 31, 34] diminue la puissance réactive dans une ligne d'alimentation de cette charge, pour cette raison la batterie dans ce cas est considérée comme générateur de puissance réactive.



La variation de QC peut être obtenue par le branchement ou le débranchement des condensateurs, cette action est obtenue par une combinaison dans la connexion des condensateurs.



**FIGURE 3.3 :** Représentation de la connexion des condensateurs (étoile et triangle).

La puissance générée par une batterie de triangle est trois fois plus grande à celle produite par une batterie étoile.

$$Q_\lambda = C \times \omega \times U^2 \quad (3.14)$$

$$Q_\Delta = C \times \omega \times (\sqrt{3} \times U)^2 = 3 \times U^2 \times C \times \omega = 3 \times Q_\lambda \quad (3.15)$$

Si on examine le cas très simple d'une charge alimentée par une source de tension constante, à travers une ligne, on peut écrire de façon approchée, que la chute de tension dans la ligne, induite par les flux de puissance active et réactive (P et Q) appelés par la charge, est égale à :

$$\Delta U = \frac{Pr + Qx}{U} \quad (3.16)$$

C'est la circulation de réactif qui crée généralement les chutes de tension prépondérantes. Tension et puissance réactive sont donc des grandeurs très liées. Ainsi, la puissance réactive se transporte mal (elle crée des chutes de tension). Cela a pour conséquence qu'au-delà d'une certaine distance, la puissance réactive fournie par les alternateurs ou les condensateurs ne peut pas parvenir jusqu'à l'endroit où on en a besoin. Pour une ligne THT,  $X > 10 R$

$$\Delta U = \frac{(Q - Q_c)x}{U_i} + j \frac{Px}{U_i} \quad (3.17)$$

## CHAPITRE 4

# Contrôle de la Tension Par les Systèmes Multi\_Agents

### 4.1 Introduction

L'application des systèmes multi agents aux réseaux électrique est relativement un nouveau domaine de recherche, et qu'on a donné ses principes fondamentales au chapitre 2. Le profile de la tension des réseaux électrique pourrait être constamment affecté par différentes causes qui peuvent être la variation de la charge ou le changement de la configuration du réseau, donc un contrôle rapide est nécessaire pour atténuer les problèmes causés par ces perturbations. Le problème est comment établir une stratégie pour être efficace lors des contingences sans avoir recours à l'information globale sur tout le réseau pour surmonter ce problème, on a partagé le système en sous système ainsi on a un contrôle presque total avec seulement les informations locales.

Plusieurs articles dans la littérature ont traité la tension / contrôle de la puissance réactive par la logique flou, les algorithmes génétiques les méthodes heuristique et dans ce chapitre, on utilise le système multi agent pour régler la tension par le contrôle de la puissance réactive.

### 4.2 Position du problème

Dans les réseaux électriques, n'importe quels changements dans le système comme l'augmentation de la charge ou changement de la topologie du système peuvent entraîner dans certains jeux de barres la diminution de la tension au dessous des limites admissible, pour éviter la dégradation de la situation un réglage le plus rapidement soit manuellement ou automatiquement s'impose. Par exemple, quand une tempête destructrice traverse une zone, le système de communication peut être perturber

ce qui réduit l'information à parvenir au centre de contrôle du système ,alors si des tensions des jeux de barres ont diminué au dessous des limites admissible leurs contrôles ne peuvent pas être résolu par les méthodes conventionnelles comme par exemple le load flow et ceci est dû au manque d'information nécessaire pour la prise de la bonne décision.

Le contrôle optimal de la tension et de la puissance réactive est une technique importante pour l'amélioration des profils de tension du système électrique. L'objectif est d'améliorer le profil de tension du système, de sorte que cela conduira au bon fonctionnement du réseau. Les contraintes de réseau comprennent les limites supérieure et inférieure de grandeurs tension des jeux de barres ainsi que le réglage minimal et les quantités maximales des dispositifs de compensations. Quand une tension d'un noeud de charge n'est plus dans les limites opérationnelles, des mesures de contrôle sont prises pour alléger la situation anormale.

### **4.3 Classification des agents**

Notre approche repose sur deux types d'agent; l'agent jeu de barre (BAG) et l'agent compensateur (CAG).

#### **4.3.1L'agent jeux de barre**

L'agent BAG se trouve au niveau de chaque jeu de barre et obéit aux règles suivante :

**Règle 1:** Quand BAG détecte une baisse de tension au dessous des limites admissible; un message " demande de compensation " est envoyé à tous les agents CAG des jeux de barres voisin.

**Règle 2 :** quand BAG reçoit un message "demande refusée de compensation", alors BAG détermine le second agent compensateur le plus proche pour lui envoyer le même message "demande de compensation ".

**Règle 3:** Quand BAG reçoit un message "limite de compensation" et la tension de son jeu de barre n'a pas atteint les limites admissible, alors BAG envoi un autre message au compensateur de seconde priorité .

**Règle 4:** Quand la tension rentre dans les limites admissibles alors BAG envoie un message d'arrêt à l'agent CAG.

#### 4.3.2 L'agent compensateur

L'agent CAG a un rôle important dans le système, il détermine la réserve de la puissance réactive du compensateur et les limites thermiques des lignes, il agit selon des règles simples pour résoudre le problème de l'optimisation locale du processus de compensation.

**Règle 1:** quand CAG reçoit un message "demande de compensation ", il doit vérifier deux contraintes qui sont les limites du compensateur et la limite thermique de la ligne si les deux contraintes sont vérifiées alors il envoie un message positif à BAG.

**Règle 2:** si une des deux contraintes ou les deux ne sont pas vérifiées alors CAG envoie un message de refus à BAG.

**Règle 3:** si CAG reçoit plus d'un message de "demande de compensation", tous ses messages sont classés dans un vecteur avec ordre de priorité de la plus petite longueur électrique.

**Règle 4:** Quand l'agent CAG reçoit un message d'arrêt il doit confirmer l'arrêt.

Le développement de ce travail a été effectué sur le MATLAB (7.7). Ce système comprend un ensemble de messages pour exprimer les intentions des agents et rétablir le niveau de tension dans les limites admissibles.

#### 4.4 Types de messages

Un ensemble de messages ont été défini pour l'interaction et la communication des agents, ces messages ont été classés en deux types pour faciliter la distribution du contrôle et la coordination entre les agents. Leur objectif est de maintenir les agents

informés des conditions des agents voisins et les messages sont classés en deux groupes.

### **Messages d'informations**

Ces types de messages sont désignés pour échanger les informations entre agent voisin lors de fonctionnement normal du réseau

- Message demande d'état : ce message est envoyé par un agent pour demander les informations d'un autre agent.
- Message réponse d'état : ce message répond au message demande d'état et contient les informations relatifs aux variables de l'agent donné.

### **Messages de contingence**

Quand la tension diminue au dessous des limites admissibles, un échange de ce type de messages se produit entre les agents en vue de rétablissement de la situation.

- Message de compensation: il est envoyé quand la tension diminue au dessous des limites admissible.
- Message positive de compensation : ces des réponses positives pour la demande de compensation.
- Message négatif de compensation : ces des réponses négatives lorsque l'agent compensateur ne possède pas la quantité suffisante.
- Message d'arrêt de compensation : on doit arrêter la compensation quand la tension rentre dans les limites admissible.
- Message de limite de compensation : il est envoyé quand le compensateur atteint la limite de sa réserve et n'a pas encore reçu le message d'arrêt.
- Message de confirmation d'arrêt : ce type de message permet à l'agent BAG de respecter l'ordre de priorité des compensateurs.

#### 4.5 Compensation par un système multi agent

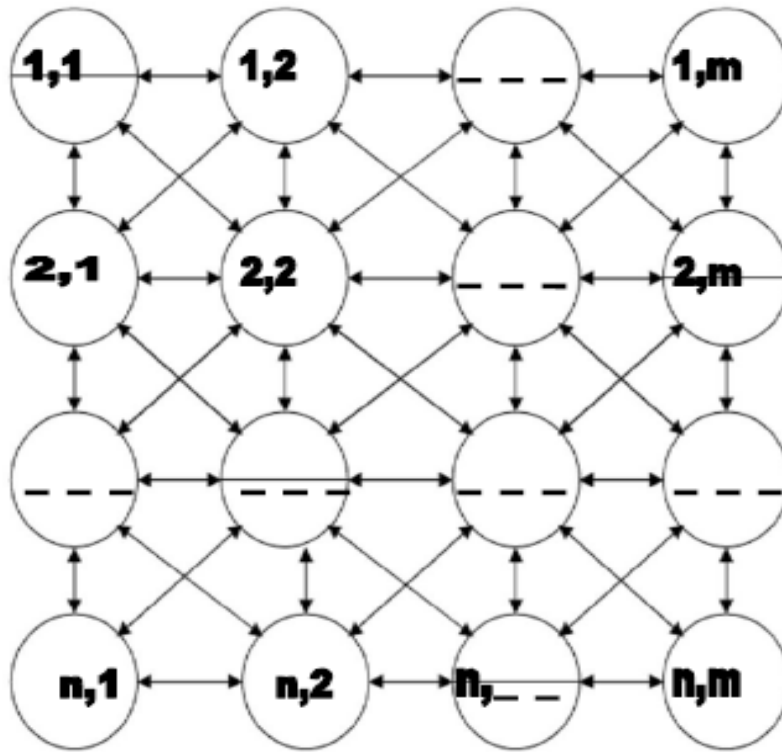


FIGURE 4.1 Proposition de compensation par multi\_agents

L'objectif de cette étude est la décentralisation du contrôle qui s'effectue par le système multi agent et qui consiste à partager le système en sous système ou chaque agent opère avec un nombre d'agent voisin qui peut aller jusqu'à huit voisins au maximum. Chaque agent jeux de barre collecte l'information sur le réseau à partir des agents voisins ainsi, il peut déterminer en cas de problème le compensateur le plus proche ayant la plus petite longueur électrique.

Par exemple si un agent se situe à  $(i, j)$  et est représenté par:

$$AG_{ij} \text{ où } i=1, \dots, m$$

$$j=1, \dots, n$$

Chaque agent a au maximum huit voisins et qui sont définis comme suit :

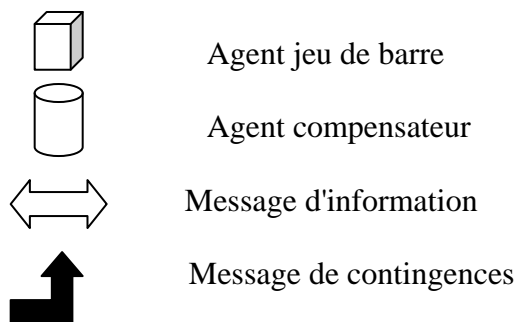
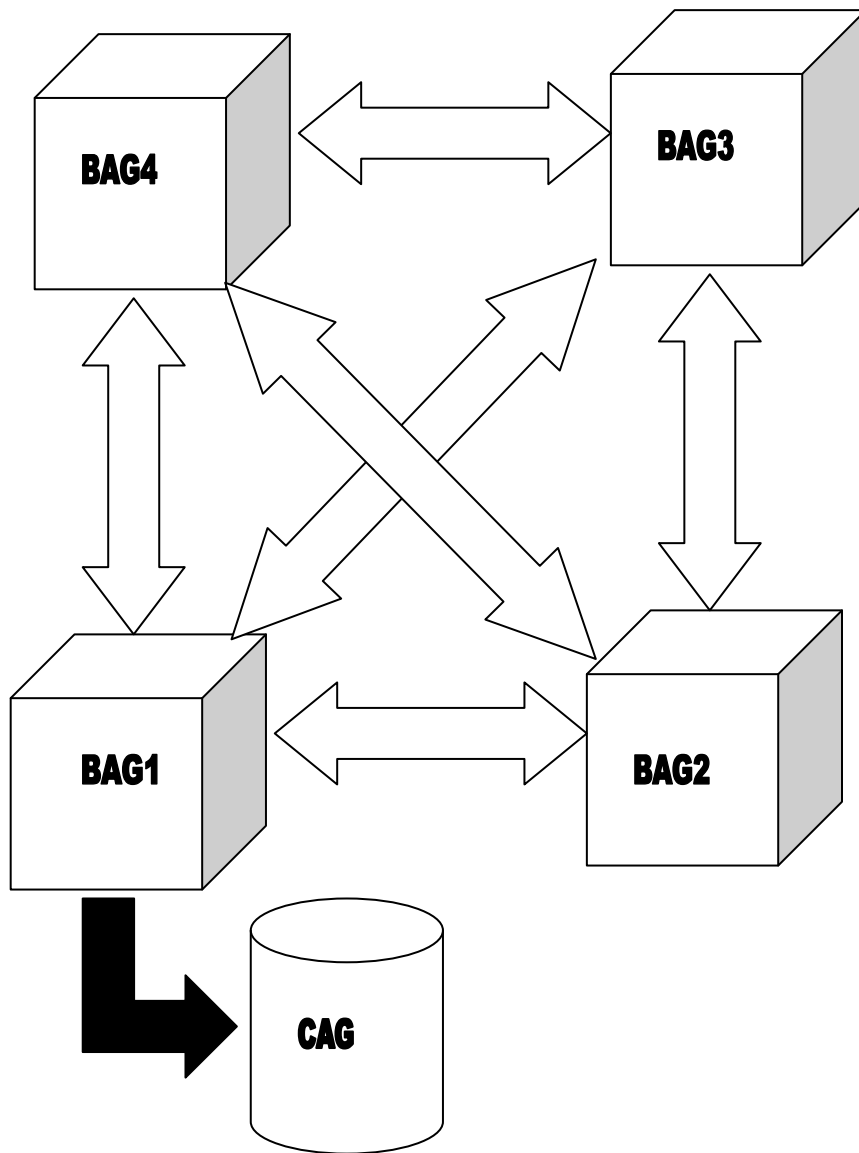
$$AG_{ij} = \{AG_{i'j'}, AG_{ij'}, AG_{i''j'}, AG_{i'j}, AG_{i''j}, AG_{ij}, AG_{i''j}, AG_{ij''}\}$$

Avec:

$$\left\{ \begin{array}{l} i' = i - 1 \\ i'' = i + 1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} j' = j - 1 \\ j'' = j + 1 \end{array} \right.$$

	$j'$	$j$	$j''$
$i'$	$AG(i'j')$	$AG(ij')$	$AG(i''j')$
$i$	$AG(i'j)$	<b><math>AG(i,j)</math></b>	$AG(i''j)$
$i''$	$AG(i'j'')$	$AG(ij'')$	$AG(i''j'')$

**Tableau 4.1** rangement des agents



**FIGURE 4.2** Schéma de communication des agents

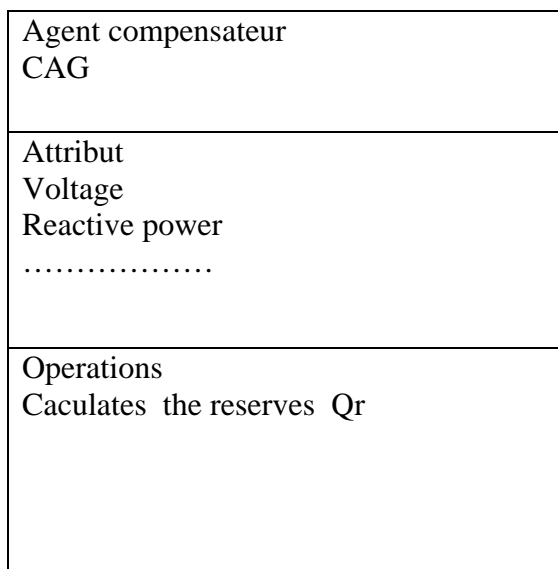


Chaque agent est capable d'avoir un maximum d'information sur son environnement par le biais des informations échanger entre chaque agent et ses voisins.

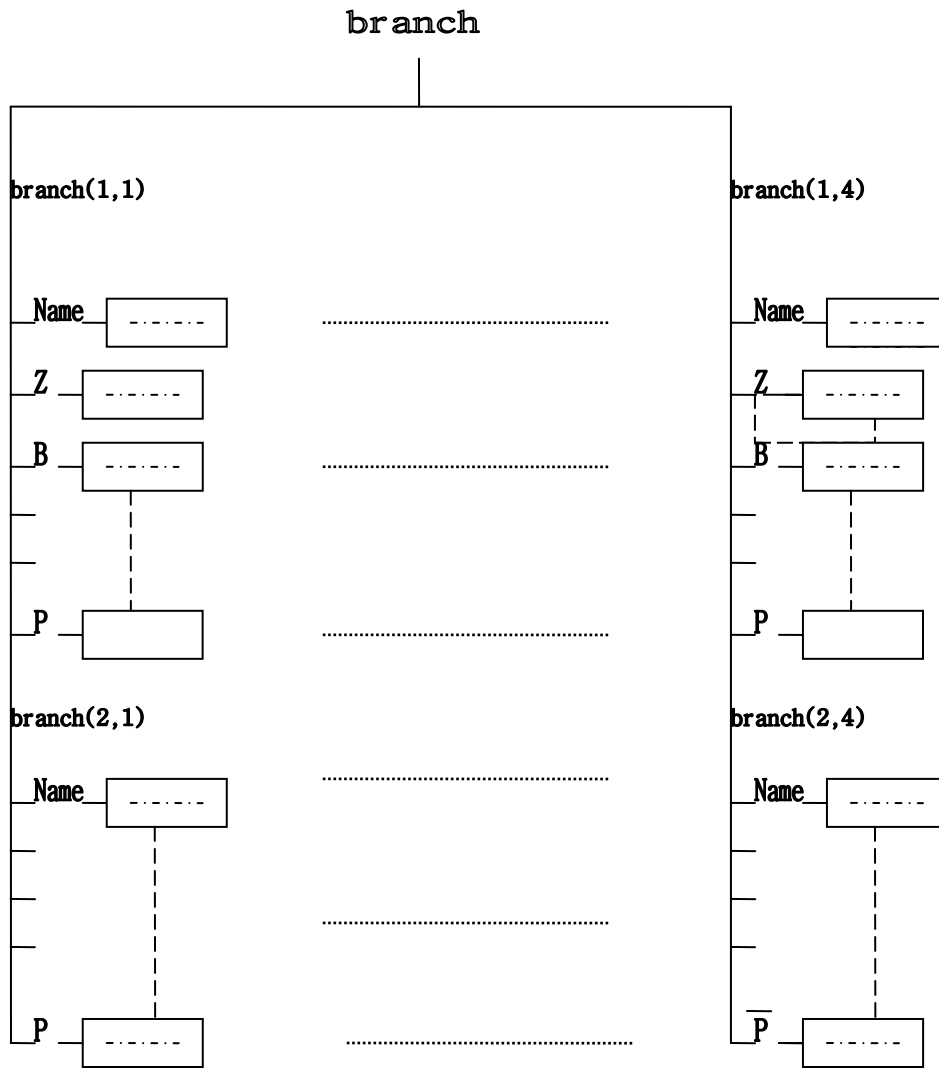
La base de donnée des agents est constituée des informations sur le système qui sont classées dans deux types de structures arrays l'une concernant les branches et l'autre structure arrays des jeux de barres. Les principaux donnés sont :

- R : la résistance de la branche
- X : la réactance de la branche
- B : la susceptance de la branche
- $I_{ther}$  : limite thermique de l'abranche
- V : La tension du jeu de barre
- Teta : La phase de a tension du jeu de barre
- Pg : La puissance active de la charge du jeu de barre
- Qg : La puissance réactive de la charge du jeu de barre
- L : la longueur de la branche

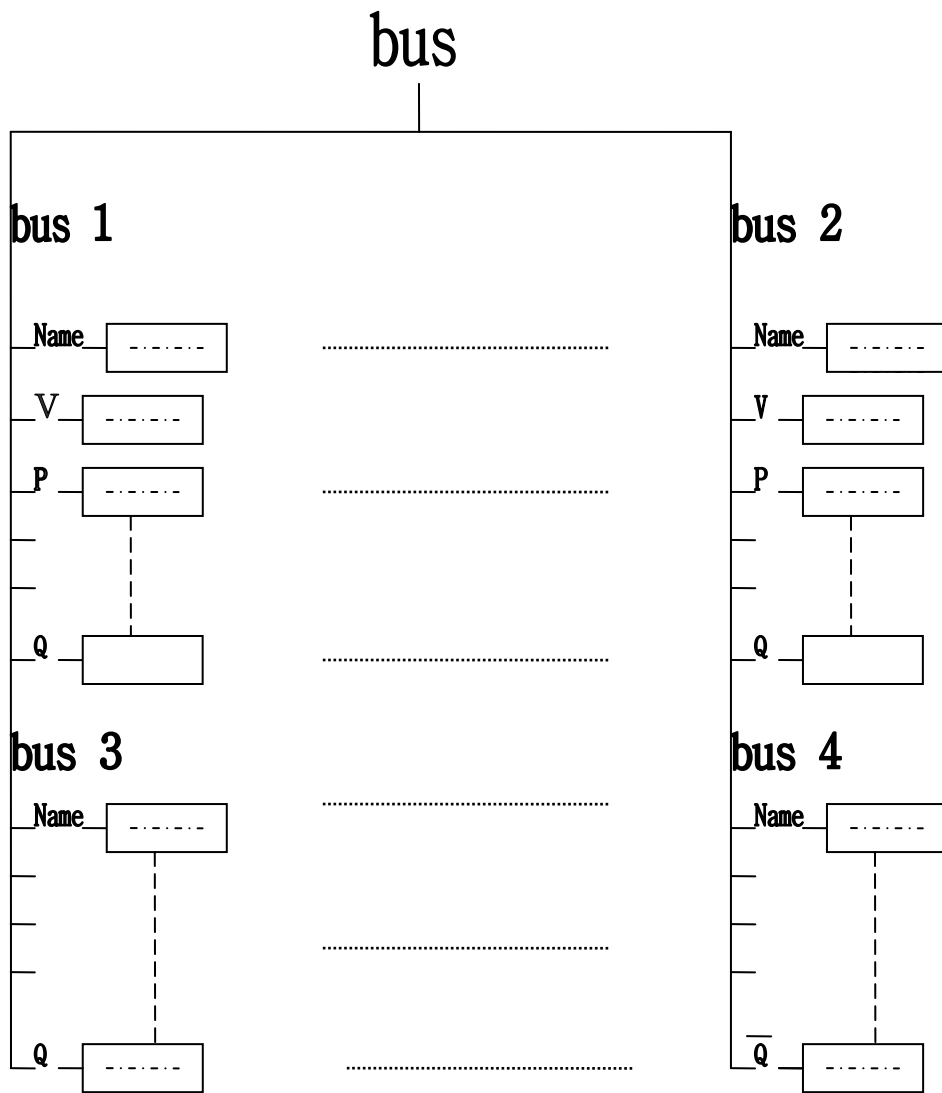
Chaque type d'agent comprend un ensemble d'attributs et des méthodes et qui ne sont que des opérations qu'effectuent les agents pour accomplir leurs taches Fig 4.3



**FIGURE 4.3** La classe CAG



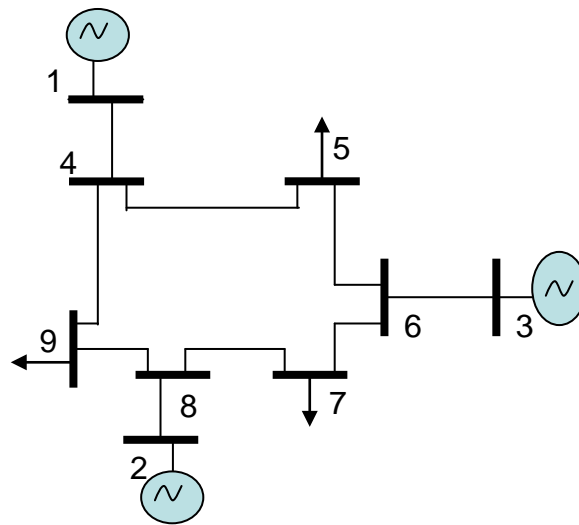
**FIGURE 4.4** Organisation des données des branches



**FIGURE 4.5** Organisation des données des jeux de barres ( bus)

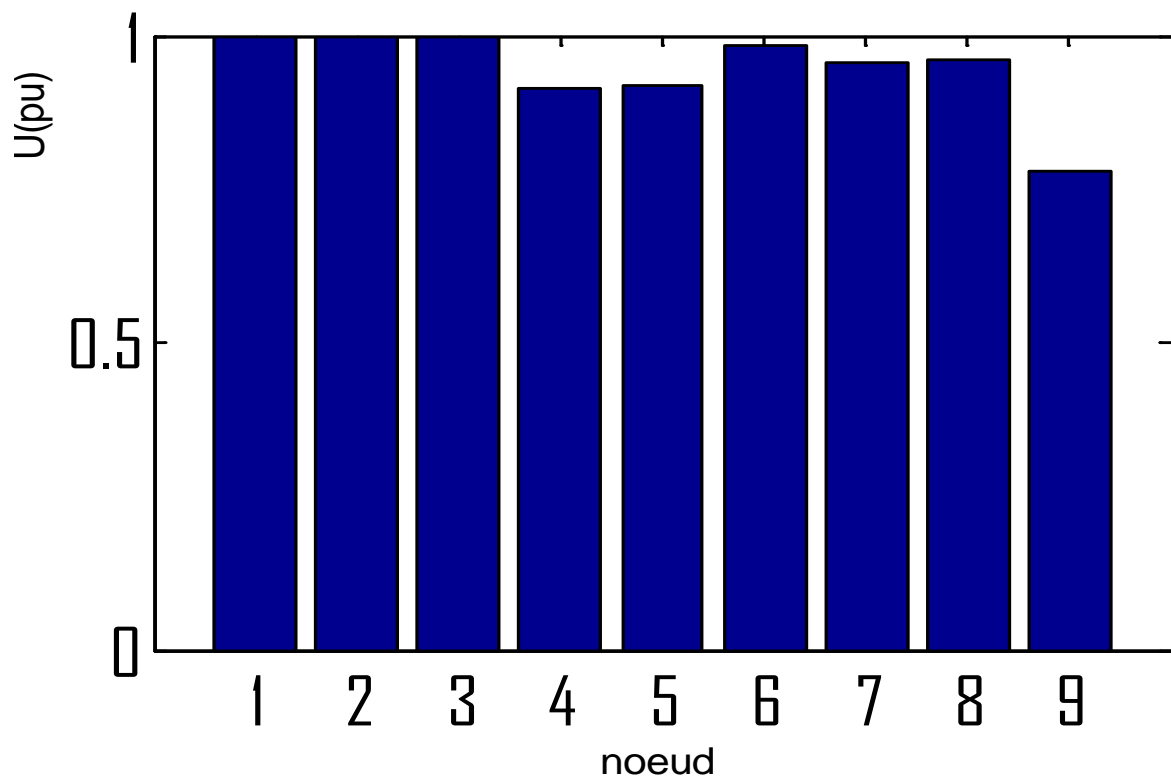
### 4.6 Analyse et résultats de Simulation

Dans cette partie, un réseau standard IEEE 9 noeuds a été choisi pour valider notre approche et appliquer les règles mentionner précédement. Le réseau est montré sur la fig.4.6. Ce réseau comprend le jeu de barre 1 comme jeu de barre de référence et les autres jeux de barres 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 sont considérés comme nœud (PQ).



**FIGURE 4.6** Réseau standard IEEE 9 noeuds

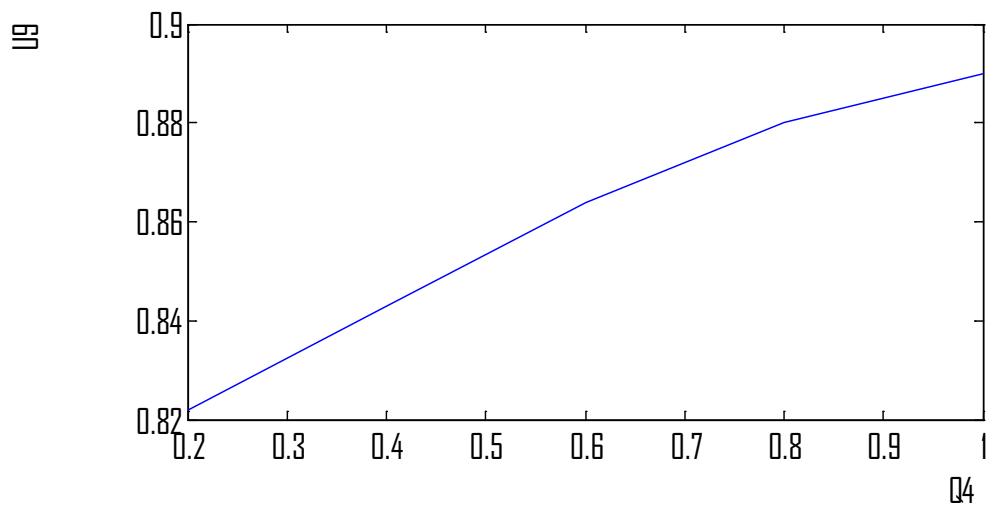
Nous avons testé notre approche sur un réseau standard IEEE 9 nœuds. On a augmenté la charge au jeu de barre 9 de 125 MW à 425 MW, toutes les tensions des jeux de barres sont restées dans les limites admissibles excepter la tension au nœud 9 qui a diminué au dessous des limites admissible jusqu'à 0.79. Les résultats sont illustrés par figure 4.8



**FIGURE 4.7** Profile des tensions des nœuds

L'agent jeu de barre 9 détecte que la tension de son jeu de barre a diminué au dessous des limites admissible, alors il communique seulement qu'avec ses voisins qui lui sont proches et avec qui possède une liaison électrique et dans ce cas c'est l'agent compensateur placé au jeu de barre 4.

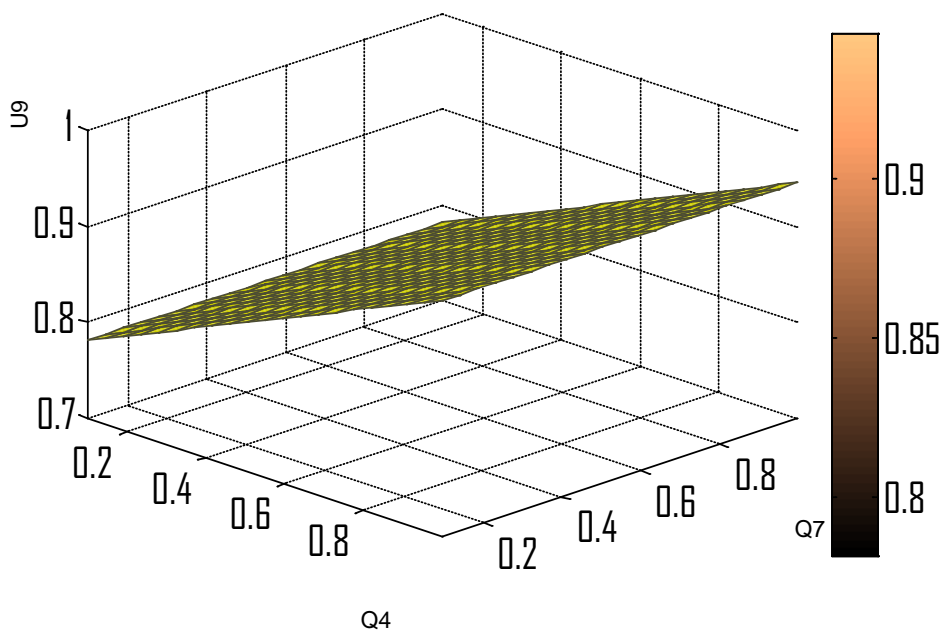
CAG 4 vérifie les deux contraintes qui sont la limite thermique de la ligne et la réserve de puissance réactive du compensateur, les deux conditions sont vérifiées alors il envoie un message positif à BAG 9 le résultat de compensation est illustré par la courbe de la Fig 4.8



**FIGURE 4.8** La dépendance de la tension au nœud 9 en fonction de  $Q_4$

D'après la caractéristique l'agent compensateur 4 atteint le maximum de sa puissance réactive et la tension au nœud 9 n'est pas rentrée dans les limites admissible alors il envoie un message stop à BAG 9.

L'agent jeu de barre 9 détermine le compensateur de seconde priorité pour ramener la tension dans les limites admissibles et CAG 7 reçoit un message de déficit, et à son tour doit vérifier les deux contraintes pour pouvoir compenser. Il satisfait les conditions et après compensation la tension rentre dans les limites admissibles comme on le voit sur la caractéristique de la Fig. 4.9.



**FIGURE 4.9** Profile de la tension du nœud 9 en fonction de  $Q_4$  et  $Q_7$

Notre approche a été validée aussi sur un réseau standard IEEE 30 nœuds

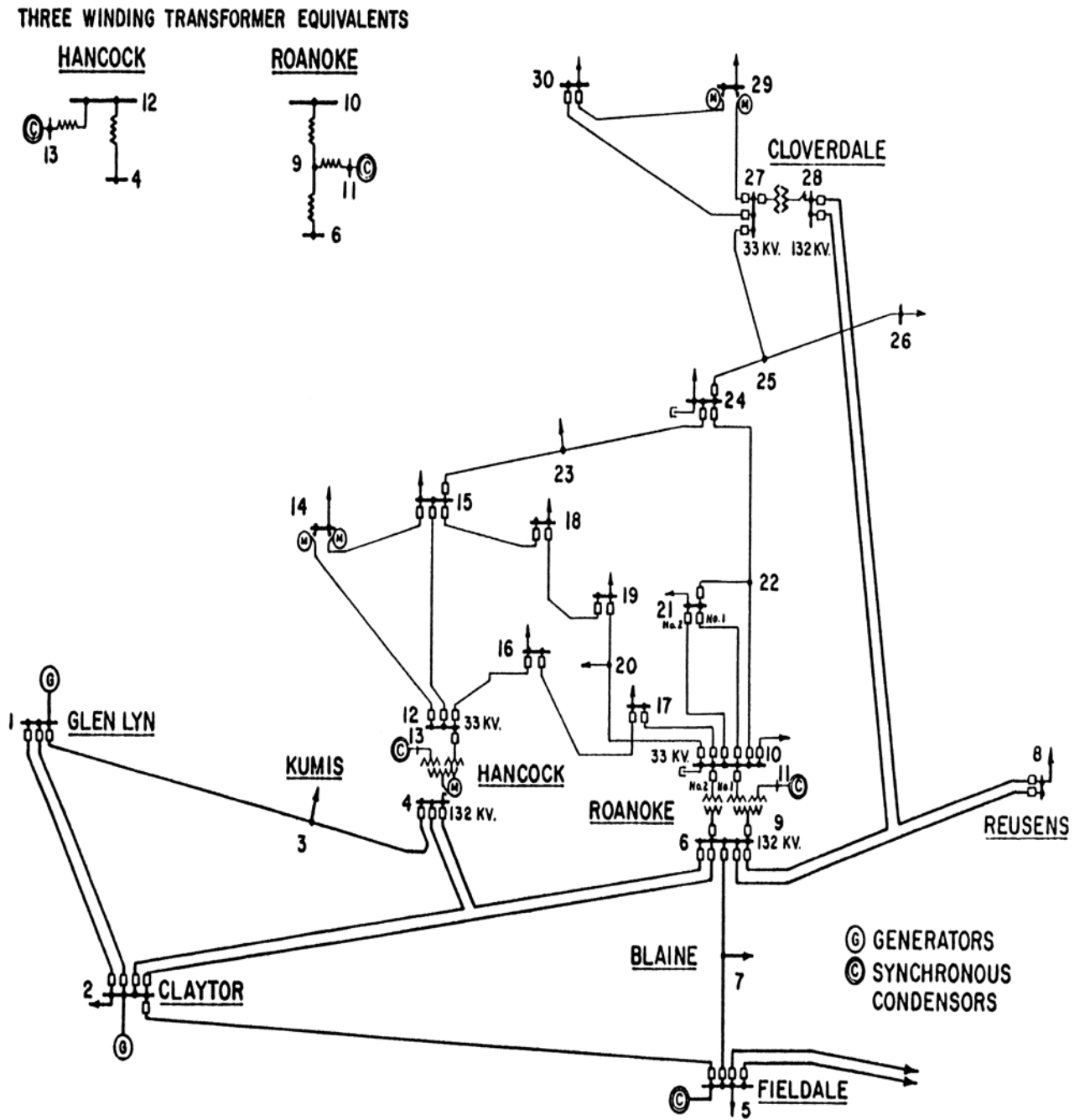


FIGURE 4.10 Réseau standard IEEE 30 nœuds

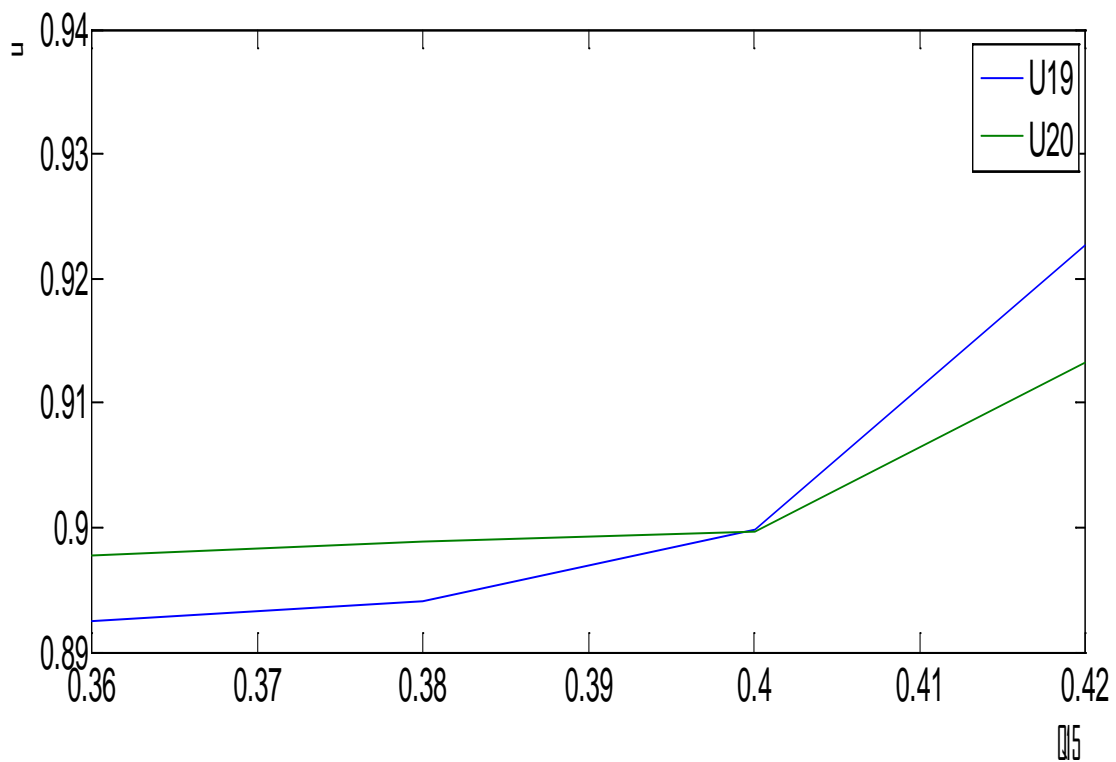
Bus	Tension	Angle	Charge		Production	
N°	Pu	Degré	Mw	Mvar	Mw	Mvar
1	1.06	0	0	0	103.59	14.04
2	1.045	-1.7532	21.7	1.2.7	80	24.15
3	1.0246	-3.8352	2.4	1.2	0	0
4	1.0162	-4.5754	7.6	1.6	0	0
5	1.01	-6.4842	94	19	50	18.42
6	0.9649	-7.3040	0	0	20	24
7	1.0005	-6.33	22.8	10.9	0	0
8	1.0082	-5.6487	30	-10	20	24
9	0.9367	-7.5004	0	0	0	0
10	0.9142	-10.1402	5.8	2.0	0	0
11	0.9863	-4.9138	0	0	20	24
12	0.9305	-8.091	11.2	7.5	0	0
13	0.9649	-7.304	0	0	20	240
14	0.9102	-10.2801	6.2	1.6	0	0
15	0.9016	-10.3478	8.2	2.5	0	0
16	0.9154	-9.8853	3.5	1.8	0	0
17	0.9085	-10.3346	9	5.8	0	0
18	0.9010	11.1936	3.2	0.9	0	0
19	0.89	-11.4429	9.5	3.4	0	0
20	0.8951	-10.7325	22	0.7	0	0
21	0.8934	-10.7325	17.5	11.2	0	0
22	0.8919	-10.7130	0	0	0	0
23	0.8757	-10.8254	3.2	1.6	0	0
24	0.8509	-11.0094	8.7	-5.0	0	0
25	0.781	-10.1466	0	0	0	0
26	0.7012	-8.2647	3.5	12.3	0	0
27	0.7797	10.2231	0	0	0	0
28	0.9918	-5.5664	0	0	0	0
29	0.6805	-9.868	2.4	10.9	0	0
30	0.6535	-11.3766	10.6	11.9	0	0

**Tableau 4.2** Données du réseau après augmentation de la charge du jeu de barre 17

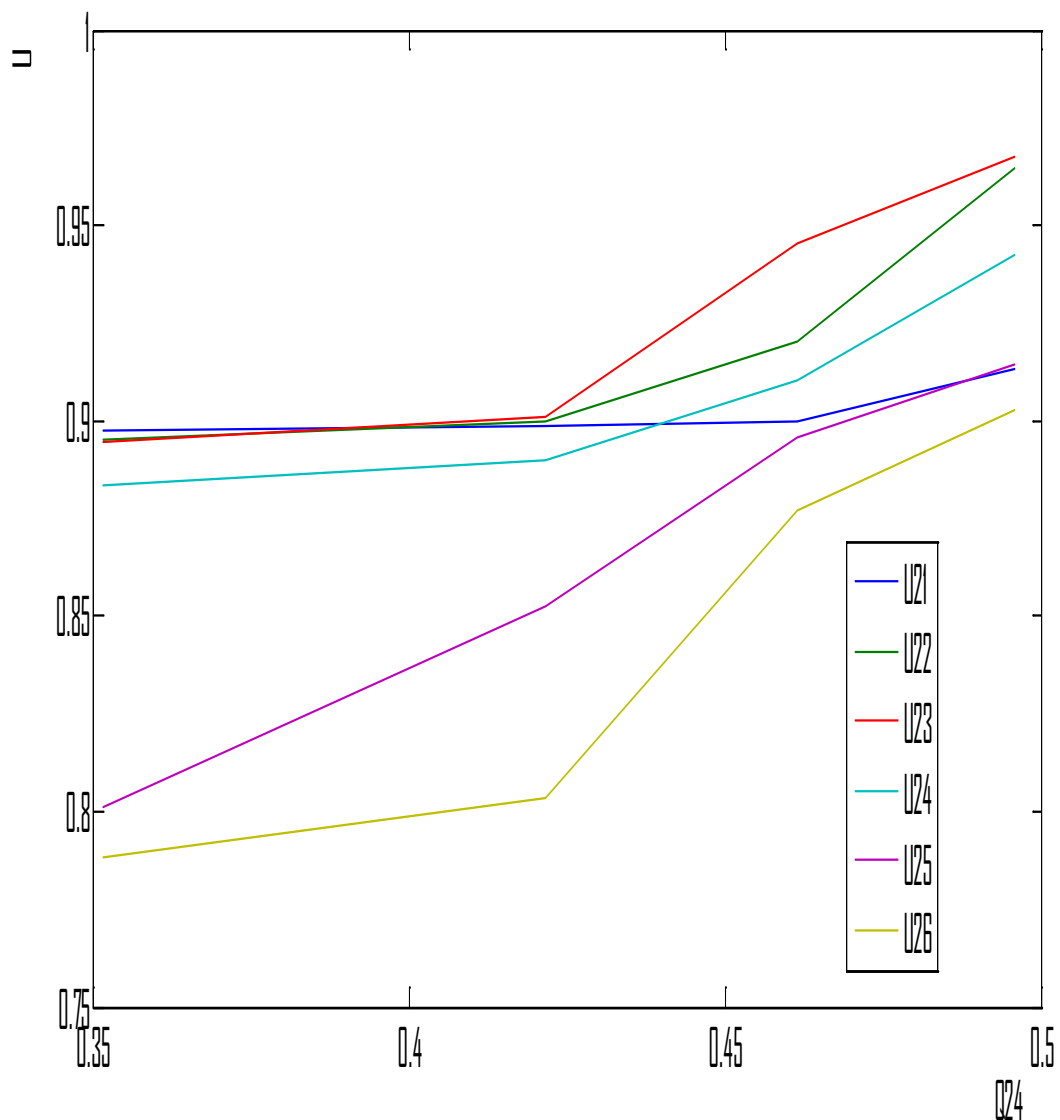


Après avoir augmenté la charge au jeu de barre 17 de 50 MW à 80 MW, la tension de plusieurs jeux de barre a diminué au-dessous des limites admissibles (tableau 4.1) et chaque agent jeu de barre détecte le compensateur qui lui est le plus proche pour l'amélioration du profil de la tension.

L'agent jeu de barre 19 et 20 envoie un message à l'agent compensateur 15, l'agent jeu de barre 21, 22, 23, 24, 25 et 26 envoie un message à l'agent compensateur 24 et l'agent 27, 29 et 30 envoie un message à l'agent compensateur 29. Le résultat est présenté sur les caractéristiques Fig 4.11, Fig 4.12 et Fig 4.13.



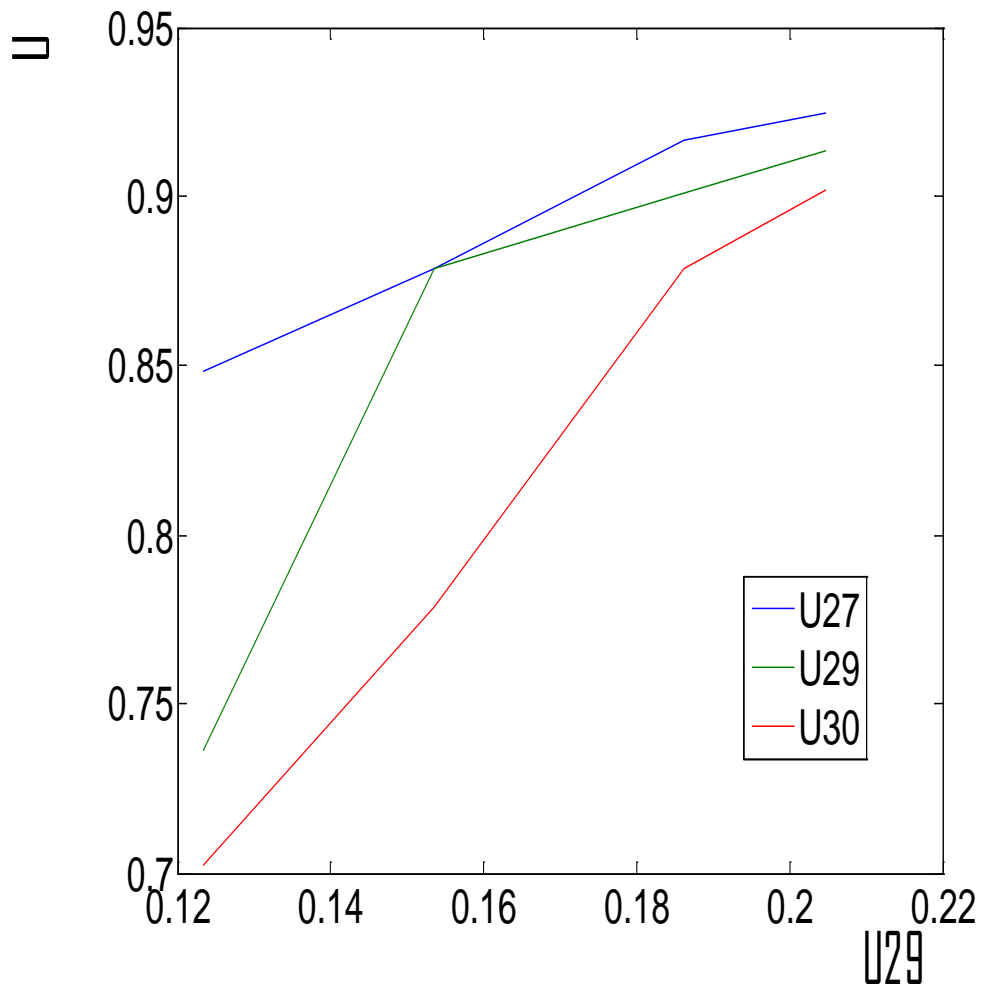
**FIGURE 4.11** Profil des tensions des nœuds 19 et 20 en fonction de Q15



**FIGURE 4.12** Profile des tensions 21, 22, 23, 24 ,25 et 26 en fonction de Q24

L'agent Compensateur CAG 24 reçoit 6 messages des agents BAG21, BAG22, BAG23, BAG24, BAG25 et BAG26 car c'est le compensateur qui est le plus proche pour ces nœuds.

L'agent compensateur classe ses messages par ordre de priorité la plus petite longueur électrique et à chaque fois il vérifie la réserve de puissance réactive et répond au second message.



**FIGURE 4.13** Profile des tensions 27,29 et 30 après compensation

Chaque agent compensateur agit dans son environnement et améliore le profile de tension, bien entendu après vérification des contraintes aussi bien pour CAG15, CAG24 et C AG 29

#### 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre deux types d'agents BAG et CAG ont permis le réglage de la tension par le contrôle de la puissance réactive est ceci sur la base de la communications entre eux. On a utilisé un réseau standard IEEE 9 nœuds et un autre réseau standard IEEE 30 nœuds pour valider notre approche. Les résultats de

simulation justifient cette conception qui est basée sur la communication de chaque agent avec ses voisins et l'ordre de priorité qui est la plus petite longueur électrique.

Le contrôle de la tension est d'abord mis en oeuvre par les agents jeux de barres, et le soutien réactif est assuré par l'agent compensateur .L'interaction entre les deux types d'agent est basé sur la communication et l'échange d'information sur l'état du réseau.

La base de données de chaque type d'agent contribue beaucoup pour la coordination et le sucé d'aboutir à une solution sans recourir à des conflits qui peuvent à leur tour entraîner à une perte de temps et dans les moments critiques il suffit d'agir quand il faut et là où il faut.

#### **4.8 Recommandations relatives à la poursuite des travaux**

L'amélioration de la stabilité de la tension s'effectue par le contrôle de la puissance réactive, dans notre travail on a utilisé une batterie de condensateur et on recommande pour la suite des travaux :

- a)l'utilisation d'autres moyens facts
- b) coordinations des moyens de réglage par ordre de priorité
- c) introduction d'autres indice pour évaluation de la stabilité autre que la tension du jeu de barre
- d) intégration d'un compensateur série pour améliorer la capacité de transport et éliminer la contrainte de la limite thermique de ligne
- e) extension du nombre de message ente agents pour la communication

## **CONCLUSION GENERALE**

Le contrôle centralisé d'un grand système devient de plus en plus difficile à gérer, et pour un meilleur contrôle le système multi agent consiste à distribuer les tâches sur plusieurs agents pour pouvoir agir localement en cas de problème.

Réduire au minimum les pertes dans les réseaux de transmission peut être décrit comme un problème d'optimisation sous réserve à des contraintes de tension (amplitude de tension à chaque noeud doit être dans les limites admissibles) et de flux de puissance (contrainte de flux de puissance de chaque branche du réseau doit être dans les limites admissibles), pour résoudre ce problème les systèmes multi agents offrent une caractéristique de reconnaître l'agent le plus proche pouvant répondre aux besoins. Dans notre travail, on a deux types d'agents le premier BAG supervise le sous système et l'autre agent CAG supervise les moyens de compensations et ils s'échangent les messages par l'information locale, pour coordonner leurs actions à fin de maintenir la tension dans les limites admissible. La communication entre l'agent compensateur et l'agent jeu de barre permet de gérer les situations assez rapidement afin d'éviter la cascade de surcharge qui est une des principales causes de l'effondrement d'un réseau.

Et puisque que les processus industriels sont très sensibles à la qualité de l'énergie électrique, l'information est essentielle dans la détection, la résolution et la prévention des problèmes de qualité d'énergie et est essentiel pour l'évaluation de la performance du système c'est pour cette raison notre choix c'est porté sur l'utilisation des agents car ce dernier peut lire les données mesurées à partir d'un processus, faire des calculs, partager les données traitées avec d'autres agents. Un système distribué est plus performant qu'un système centralisé surtout pour résoudre les systèmes transitoires.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] CHOKRI BENSALAH, B.A (1996). Contribution à l'analyse de la stabilité statique de la tension. Thèse de doctorat Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- [2] TAYLOR, C.W. (1994). Power System Voltage Stability. Première édition Mc Graw- Hill, Inc. New York.
- [3] ARCIDIACONO, V., CORSI, S., NATALE, A, RAFFAELLI. C. et MENDITTO. V.519990°. Nouveaux développement dans la mise en œuvre du réglage automatique de la tension et de la puissance réactive sur le réseau de transport de L'ENEL. Conférence internationale des grands réseaux électriques, 38/39-06,1-7.
- [4] KOISHIKAWA, S., OHSAKA, S., SUZUKI, M., MICHIGAMI, T. et AKIMOTO M. (1990). Commande élaborée de la fourniture de puissance réactive améliorant la stabilité en tension d'un système de transmission de puissance et nouveaux principe de surveillance de la sûreté en tension. *Conférence internationale des grands réseaux électrique, 38/39-06, 38/39-01,1-8*
- [5] P. KESSEL and H. GLAVITSCH, "Estimating the voltage stability of a power System", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. PWRD-I, No. 30, July 19860. 346-354.
- [6] Voltage Stability Analysis Program – VSTAB Version 4.1, Powertech Labs Inc., B.C, Canada.
- [7] BARBIER, C. et BARRET, J.P (1980). An analysis of phenomena of voltage collapse in a transmission system. *Revue générale de l'électricité*, tome 89, No. 10, 672-690.
- [8] SUZUKI, M., WADA, S., SATO, M., ASANO. T. et KUDO, Y. (1992). Newly developed voltage security monitoring system. *IEEE transactions on Power System, vol. 7 No.3, 965-973.*

## Bibliographie

- [9] SEKINE, Y., TAKAHASHI, K., ICHIDA, Y., OHVRA Y. et TSUCHMORI, N. (1992). Méthode d'analyse et de vérification du comportement de la tension d'un réseau électrique et améliorations, notamment des stratégies et du réglage pour assurer de plus grandes marges de stabilité de la tension. *Conférence internationale des grands réseaux électriques, 38-206, 1-9.*
- [10] Groupe de travail CIGRE (1987). Planning against voltage collapse. *Electra*, mars, 38-01, 55-75.
- [11] BOODAPATTI NAGEASWARARAO, B.E. Fuzzy-Expert System for voltage Stability Monitoring and Control (1998). These de master Faculty of Engineering and Applied sciences Memorial University of Newfoundland Canada.
- [12] SEKINE, Y., TAKAHASHI, K., ICHIDA, Y., OHVRA Y. et TSUCHMORI, N. (1992). Méthode d'analyse et de vérification du comportement de la tension d'un réseau électrique et améliorations, notamment des stratégies et du réglage pour assurer de plus grandes marges de stabilité de la tension. *Conférence internationale des grands réseaux électriques, 38-206, 1-9.*
- [13] FLATABO, N., OGNEDAL, R. et CARLSEN, T. (1990). Voltage stability condition in a power transmission system calculated by sensitivity methods. *IEEE transactions on power systems*, vol. 5, No. 4, 1286-1293.
- [14] ELRAZZAZ, Z. et AL-OHALY, A. (1993). Criterion for inductive compensation location to enhance system steady state stability. *IEEE Winter Meeting*. Columbus, WM 152-9 PWRS, Ohio, Etats-Unis, 1-5.
- [15] FOSSO, O.B., FLATABO, N., CARLSON, T., GJERDE, O. et JOSTAD, M. (1992). Calcul des marges de Stabilité de tension en état normal et en cas de panne. *Conférence internationale des grands réseaux électriques, 38-209, 1-7.*
- [16] CANIZARES, C.A., "Conditions for Saddle-Node Bifurcations in AC/AD Power System," *International Journal of elect. Power & Energy Syst.*, Vol. 8, No. 1, pp. 61-68, 1995.

## Bibliographie

- [17] CANIZARES, C.A. "Conditions for saddle-Node Bifurcations in AC/DC Power System," International Journal of Elect. Power & Energy Syst., Vol. 17, No. 1, pp. 61-68, 1995.
- [18] KUNDUR, P. (1994). *Power system stability and control*. Première édition, McGraw-Hill inc., New York, 979-985.
- [19] AJJARAPU, V ., LAU, P.L et BATTULA, S.(1994). An optimal reactive power planning strategy against voltage collapse. *IEEE Transactions on System, vol. 9 No.2, 906-917*.
- [20] CANIZARES, C.A.ALVARADO, F.L.(1994). Point of collapse and continuation methods for large ac/ad system. *IEEE Transactions on System, vol. 8 No.1, 1-8*.
- [21] SCHLUETER, R.A, HU, CHANG, M.W, LO, J.C. et COSTI, A.(1991). Methods for determining proximity to voltage collapse. *IEEE Transactions on Power Systems, vol. 6, No. 1, 285-292*.
- [22] SCHLUTER, R, A. (1993). Unification and classification of algebraic tests for loss of voltage stability. *Electric Machines and power Systems, 21,557-589*.
- [23] VARGAS, L. et QUINTANA, V.H. (1993). Clustering techniques of voltage collapse detection. *Electric power Research, 26, 53-59*.
- [24] GAO, B. (1992). Voltage stability analysis of large scale power systems. Thèse de doctorat, Université de Toronto, Ontario, Canada.
- [25] MORISON, G.K., GAO, B. et KUNDUR, R. (1993). Voltage analysis using static and dynamic approaches. *IEEE transactions on power systems, vol. 8, No.3, 1159-1171*.



## Bibliographie

- [26] WOOLDRIDGE M., JENNINGS N.R., and KINNY D. (2000), «The Gaia Methodology For Agent-Oriented Analysis and Design» *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 3 (3) 285-312.
- [27] COTE.M, Une architecture multi agent et son application aux services financiers. Mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'Université Laval. Faculté des sciences et de génie. Département d'informatique. Avril 1999.
- [28] CHAIB-DRAA.B, Agents et Systèmes Multi agents (IFT 64881A). Notes de cours. Département d'informatique, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec. Novembre 1999.
- [29] JEENNING. N. R. and WOOLDRIGE. M. (2000), «Agent-Oriented Software Engineering» in *Handbook of Technology* (ed. J. Bradshaw) AAAI/MIT Press.
- [30] PESTY.S., BRASSAC. C., et FERRENT. P., Ancrer les agents cognitifs dans l'environnement. In : Actes des 5e Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agent. – La Colle sur Loop, Avril 1997.
- [31] FERBER J., Les systèmes Multi-Agent : vers une intelligence collective. InterEdition, Paris, France, 1995.
- [32] FOX M.S., An organizational view of distributed systems. *IEEE Trans. Syst.Man.Univ. Cybern.*, vol. SMC-11; 1981, pp. 70-80.
- [33] ZAMBONELLI. F., JENNINGS N. R., and Wooldridge M. (2000), «Organisational Abstractions for the Analysis and Design of Multi-Agent Systems» *Proc. 1st Int. Workshop on Agent-Oriented Software Engineering*, Limerick, Ireland, 127-141.
- [34] ADAM. E., KOLKI .C., Étude comparative de méthodes de génie logiciel en vue du développement de processus administratifs complexes, 1999.

## Bibliographie

- [35] KOESTLER.A., «The GHOST in the MACHINE», Editions ARKANA, Londres, 1989.
- [36] ADAM. E., MANDIAU. R., KOLSKI. C., Approche holonique de modélisation d'une organisation orientée workflow : SOHTCO 1999.
- [37] <http://perso.wanadoo.fr/famille.adam/eadam/publis.htm>.
- [38] ROBERTO. A., FLORES-MENDEZ; Towards the standardization of Multi-Agent Systems Architectures : An Overview. ACM Crossroads'special issue on Intelligent Agents, summer 1999. [RUM91] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, and V. Lorensen F. Eddy. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice-Hall, 1991.
- [39] RICORDEL. P. M. and DEMAZEAU .Y., "From Analysis to Deployment : a MultiAgent Platform Survey", 1st International Workshop on Engineering Societies in theAgents World (ESAW), ECAI'2000, A. Ominici, R. Tolksdorf and F. Zambonelli (eds.), august, 2000, Berlin, Germany, LNAI n°1972, Artificial Intelligence, pp.93-105, Springer Verlag, 2000.
- [40] WIEDERHOLD. G., Mediators in the Architecture of Future Information Systems. In: Readings in Agents Edited by HUHNS, M. N. ; SINGH, M. P. . Morgan Kaufmann, San Francisco, 1998. (Originellement: IEEE Computer 25(3):38-49, 1992).
- [41] GEOMED , GEOMED-F (IE feasibility project no 174): Final report. Technical report, GMD, Sankt Augustin, Germany, 1995.
- [42] DECKER. K., WILLIAMSON. M., and SYCARA. K., Matchmaking and Brokering. In: Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-96), December, 1996.

## Bibliographie

- [43] COHEN. P.R., CHEYER. A., WANG. M., and BAEG .S.C., An open agent architecture. In: Proceedings of the AAAI Spring Symposium. 1994.[42] <http://www-poleia.lip6.fr/%7Egnessoum/asa.html>, 1998.
- [44] FERBER.J., Les Systèmes Multi-Agent : vers une intelligence collective, pages 68—95. 1995.
- [45] DEMAZEAU.Y and MULLER. J.-P., Decentralized AI 2. Elsevier North-Holland, 1991.
- [46] MIRIAD.E., Approcher la notion de collectif. Actes des journées multi agents du PRC-IA, Nancy, 1992
- [47] DROUGOUL.A., De la simulation multi agent à la résolution de problèmes. Une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les systèmes multi agents. 1993.
- [48] GASSER.L., C. BRAGANZA, and N. HERMAN.N ., Implementing Distributed Artificial Intelligence Systems using MACE. IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications, pages 119—152, 1987.
- [49] WEISS. M., Multi-agent Systems: a Modern Approach, pages 81—119. M. Huhns and L. Stephens, 1999.
- [50] FERBER. J., Les Systèmes Multi-Agent : vers une intelligence collective, pages 327—360. 1995.
- [51] ENESERETH. M., An Agent-based Framework for Interoperability. In: Software Agents, J.M. Bradshaw (Ed.), Menlo Park, Calif., AAAI Press, 1997, pages 317-345.
- [52] ARNOLD. K., and GOSLING. J., The Java Programming Language. Addison-Wesley Publishing Co., second edition. 1998.

## Bibliographie

- [53] VANDERVEKEN.D., Meaning and Speech Acts. Volume I. Cambridge University Press. New York, 1990.
- [54] FININ. T. et al, Specification of the KQML Agent-Communication Language.Draft. June 1993.
- [55] GASBAOUI. B., Optimisation de l'énergie réactive dans un réseau d'énergie électrique. Thèse de magister Université BECHAR.