

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique

Spécialité Machine Electrique

Présenté par

Latri Badreddine

&

Halima Mansour Oussama

Optimisation de l'emplacement des PMUs dans un réseau électrique

Proposé par : Dr. BELAZZOUG Messoud.

Année Universitair: 2019-2020

Remerciement

Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu le plus Puissant qui a bien voulu nous donner la force et le courage Pour effectuer ce travail.

Nous exprimons nos profondes gratitude à nos parents pour leurs Encouragements, leur soutien et pour les sacrifices Qu'ils ont enduré.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur 'Dr. Belazzoug', Enseignant au département d'électronique à la faculté de Technologie de l'université Blida 1, et 'Mr. Sebaa' pour ses sérieux, ses compétences et ses orientations.

Nous présentant aussi nos remerciements les plus chaleureux à 'Mr. Tarif' Professeur à la Faculté des Sciences et Technologie de Houari Boumediène Bab Zouar pour son soutien, sa collaboration, ses remarques pertinentes et sa disponibilité.

Nos sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour L'honneur qu'ils nous font en participant Au jugement de ce travail, Veuillez trouver ici le témoignage de notre respect le plus profond mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants et à tous les membres du corps professoral de Génie électrique de la Faculté de technologie de l'université Blida..

Dédicaces

Aucun travail n'est possible dans l'isolement. Les rencontres, les conseils et les encouragements constituent des aides précieuses souvent décisives. C'est pourquoi je tiens à dédier mon projet de fin d'études à tous ceux qui ont contribué à ce travail parfois sans le savoir ou du moins sans la portée de leur influence.

Je dédie ce travail à :

Mes parents

Pour les sacrifices déployés à mon égard ; pour leurs patiences Leur amour et leur confiance en moi Ils ont tout fait pour mon bonheur et ma réussite. Nulle dédicace ne peut exprimer ce que je leur dois Que Dieu leur réserve la bonne santé et une longue vie.

Ma sœur et mon frère

Mes chers amis

Pour leurs présences et leurs aides et encouragements.

Et enfin à tous les enseignants et les étudiants de la filière

génie électrique.

J'espère que ce projet donnera une satisfaction à toutes ces personnes et à tous ceux qui auront l'occasion de le lire.

Halima Mansour Oussama

Dédicaces

Aucun travail n'est possible dans l'isolement. Les rencontres, les conseils et les encouragements constituent des aides précieuses souvent décisives. C'est pourquoi je tiens à dédier mon projet de fin d'études à tous ceux qui ont contribué à ce travail parfois sans le savoir ou du moins sans la portée de leur influence.

Je dédie ce travail à :

Celle qui sont la plus chers au monde,

mes parents

à qui je n'arriverai jamais à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, pour son amour son soutien tout au long de mes études afin de faire de moi ce que je suis aujourd'hui, que DIEU les protège toujours.

A mes frères

A mes collègues et mes amis

Hamza et Abderrahmane, Rihab et Maram. A toutes la famille. A tous ceux qui me sont chers.

Et enfin à tous les enseignants et les étudiants de la filière

génie électrique.

J'espère que ce projet donnera une satisfaction à toutes ces personnes et à tous ceux qui auront l'occasion de le lire.

Latri Badreddine

Résumé

ملخص :

شهد قطاع الطاقة الكهربائية تحولات سريعة في السنوات الأخيرة. يتم دمج العديد من مصادر الطاقة، فضلاً عن الأحمال الجديدة والمعدات الجديدة في شبكات الطاقة. في الأيام الأخيرة ، أصبحت وحدة قياس الطور مكوناً أساسياً في شبكة الطاقة نظراً لقدرتها على استخدامها كأداة قياس تسمح بقياسات الطور المتزامن للجهد والتيار. في هذا المشروع، ندرس بالتفصيل الموقع المثالي لوحدة قياس الطور في شبكتين للطاقة (14 ناقلاً و 39 ناقلاً) باستخدام خوارزميات التحسين algorithmes génétique (GA) et evolution différentielle (DE).

Résumé :

Le secteur de l'énergie électrique s'est rapidement transformé ces dernières années. Plusieurs sources d'énergie , ainsi que de nouvelles charges et de nouveaux équipements sont en train de s'intégrer aux réseaux électriques. Ces derniers jours l'unité de mesure du phaseur (PMU) est devenue un composant essentiel dans le réseau électrique en raison de sa capacité à être utilisée comme un outil de mensuration permettant des mesures synchrones du phaseur de tension et de courant. Dans ce projet, nous étudions en détail l'OPP de ce composant (PMU) dans deux réseaux électriques (14 bus et 39bus) à l'aide des algorithmes d'optimisation : algorithmes génétique (GA) et evolution différentielle (DE).

Abstract :

The electrical energy sector has changed rapidly in recent years. Several energy sources, as well as new loads and equipment are being integrated into power grids. In recent days the Phaser Measurement Unit (PMU) has become an essential component in the electrical grid due to its ability to be used as a measurement tool for synchronous phaser measurements voltage and current. In this project, we study in detail the OPP of this component (PMU) in two power grids (14 buses and 39 buses) using optimization algorithms : genetic algorithm (GA) and evolution differentiel (ED).

***Liste des acronymes
et abréviations***

Listes des acronymes et abréviations :

WAMS : Wide Area Management System.

WACS : Wide Area Contrôle System.

AVR : Automatic Voltage Regulator.

AGC : Automatic Generation Contrôle.

PMU : phasor measurement units.

PSS : Power System Stabilizer.

PLC : Programmable logic controller.

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition.

GPS : Global Positioning system of Satellite.

GA : Genetic Algorithm.

ED : Evolution différentiel.

SPMS : Système de Mesure de Phaseur Synchronisé.

OPP : Optimal Placement de PMU.

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

RMS : Root Mean Square.

EMS : Energy Management System.

GSM : Generator Status Monitoring.

DA : Automatisation de Distribution.

ZIB : Zero Injection Buses.

PSAT : Power System Analysis Toolbox.

PDC : Phasor Data Concentrator.

BUS : Binary Unit System.

FACTS : Systèmes de Transmission Flexibles en Courant Alternatif.

EMS : Energy Management System.

SE : Etat Estimation.

K-ppv : K le Plus Proche Voisin.

SPMS : Système de Mesure de Phaseur Synchronisé

RMS : Root Mean Square.

GSM : Generator Status Monitoring.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Système de mesure à grand échelle (WAMS)

1. Introduction.....	3
2. Historique.....	3
3. Processeurs WAMS.....	4
4. Contrôle de supervision et l'acquisition des données (SCADA).....	5
4.1 Unité de station principale (MTU).....	6
4.2 Unité de station éloignée (RTU).....	7
4.3 Contrôleur logique programmable (PLC).....	7
4.4 Système de communication du SCADA.....	7
5. Système de mesures à grande échelle WAMS.....	8
6. Large contrôle régionale et système de protection.....	9
7. Conclusion.....	12

Chapitre 2 : Les Synchrophaseurs (PMUs) et leurs emplacements

1. Introduction.....	14
2. Fondamental de bas des PMUs.....	15
2.1 Techniques de mesure des PMUs.....	15
2.2 Notions pour PMUs.....	17
2.3 Synchrophaseur.....	18
2.4 Applications des PMUs dans les systèmes électriques.....	19
2.5 Perspectives des PMUs.....	20

2.6 Systèmes de positionnement global par satellite (GPS).....	20
2.7 Comparaisons entre le système SCADA et système PMUs.....	22
3. Avantage des PMUs.....	23
4. Emplacement des PMUs.....	24
4.1 Règles de placement du PMU.....	24
4.2 La formulation optimale des problèmes de placement des PMU.....	26
4.3 Zéro Injection Buses (ZIB).....	28
5. Conclusion.....	29

Chapitre 3 : Methode des d'optimisatio

1. Introduction.....	30
2. Techniques d'optimisation.....	30
2.1 Variable du problème.....	31
2.2 Espace de recherche.....	31
2.3 Fonction objective.....	31
3. Méthode d'optimisation.....	32
4. Les Algorithmes génétiques.....	32
4.1 Mécanisme de recherche.....	33
4.2 Codage et population initiale.....	34
4.2.1 Codage binaire.....	35
4.2.2 Codage réel.....	35
4.3 Les opérateurs utilisés par les AG.....	35
4.3.1 La sélection.....	35

4.3.2 Le croisement.....	36
4.3.3 L'opérateur de mutation.....	37
4.3.4 Elitisme.....	38
4.3.5 Réglage des paramètres d'un AG.....	35
4.4 Algorithme d'optimisation.....	39
5. Algorithmes évolutionnaires	40
5.1 Algorithmes à évolution différentielle.....	40
5.1.1 Mutation.....	41
5.1.2 Croisement	42
5.1.3 Sélection.....	42
6. Conclusion.....	43

Chapitre 4 : Applications et résultats

1. Introduction.....	44
2. Teste application.....	44
2.1 Fonction objectif.....	44
3. Application au réseau 14 nœuds	45
3.1 Emplacement des PMUs	45
3.1.1 Mesures avec PSAT.....	46
3.2 Emplacement sans tenir compte de nœud d'injection zéro.....	46
3.2.1 Méthode de l'algorithme génétique.....	46
3.2.2 Méthode d'évolution différentielle.....	49
3.3 Emplacement avec considérant des nœuds d'injection zéro.....	51

4. Application au réseau 39 nœuds	53
4.1 Emplacement des PMUs	53
5. Conclusion.....	56
Conclusion général.....	57

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre 1 : Système de mesure à grand échelle (WAMS)

Figure (1-1) : Processus de WAMS dans systèmes d'alimentation électrique.....	5
Figure (1-2) : Systèmes SCADA.....	6
Figure (1-3) : Concentrateur des données de phaseurs (PDC).....	8
Figure (1-4) : Architecture d'un système de suivi de la zone, le contrôle et la protection de large.....	10

Chapitre 2 : Les Synchrophaseurs (PMUs) et leurs emplacements

Figure (2-1) : le premier synchrophaseur (PMU).....	14
Figure (2-2) : Représentation géométrique d'un phaseur.....	16
Figure (2-3) : Les signaux reçus par PMU.....	17
Figure (2-4) : Compensation de retard du signal introduit par le filtre anticrénelé.....	19
Figure (2-5) : Schéma bloc l'unité de mesure de phaseur.....	21
Figure (2-6) : Utilisation de PMU dans un système électrique.....	22
Figure (2-7) : Le système de bus IEEE-7.....	25
Figure (2-8) : Les règles d'observabilité.....	27
Figure (2-9) : Observabilité topologique du système d'alimentation à l'aide de l'emplacement du PMU.....	28

Chapitre 3 : Methode des d'optimisatio

Figure (3-1) : Les étapes de processus d'optimisation.....	31
Figure (3-2) : Principales méthodes d'optimisation.....	32
Figure (3-3) : Les quatre niveaux d'organisation des AG.....	34

Figure (3-4) : Illustration du codage des variables.....	34
Figure (3-5) : Le codage réel et le codage binaire.....	35
Figure (3-6) : Représentation de l'opération du croisement.....	36
Figure (3-7) : Représentation de l'opération de mutation.....	37
Figure (3-8) : Organigramme d'un algorithme génétique.....	38

Chapitre 4 : Applications et résultats

Figure (4-1) : Représentation unifilaire du réseau étudié (Réseau 14 bus : 5 générateurs, 14 nœuds).....	45
Figure (4-2) : Les solutions de l'emplacement sur le PSAT.....	46
Figure (4-3) : Programmation sur le matlab.....	48
Figure (4-4) : déclaration fonction objectif sur le matlab.....	48
Figure (4-5) : Forme des résultats obtenus par MATLAB.....	49
Figure (4-6) : La fonction objectif pour résoudre l'OPP de PMU pour 14 bus sans ZIB.....	50
Figure (4-7) : Les nœuds adjacents pour nœud d'injection zéro.....	51
Figure (4-8) : La fonction objectif pour résoudre l'OPP de PMU pour 14 bus sur DE avec l'utilisant du ZIB.....	52
Figure (4-9) : Représentation unifilaire du réseau étudié (Réseau New England : 10 générateurs, 46 nœuds).....	53
Figure (4-10) : La fonction objectif pour résoudre l'OPP de PMU pour 39 bus avec l'utilisant du ZIB.....	54

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Tableau (2-1) : Représentation de comparaison entre les systèmes SCADA et PMUs.....	23
Tableau (4.1) : les ensembles de solution par le PSAT.....	46
Tableau (4.2) : les ensembles de solution de l'algorithme génétique.....	49
Tableau (4.3) : les ensembles de solution par le DE.....	43
Tableau (4.4) : Les résultats obtenus de PMUs en 14-bus avec l'utilisant du ZIB.....	52
Tableau (4.5) : La solution obtenue par DE avec l'utilisant du ZIB.....	55

Introduction
général

Introduction général

Ces dernières années, de nombreuses pannes d'électricité (blackouts) dans le monde ont eu un effet sur la fiabilité des sources de tension dans les réseaux électriques.

Les conséquences des blackouts sont à la fois économiques et sociales. Même de courtes interruptions d'électricité peuvent endommager de façon importante des processus industriels, car la remise en marche de ces processus peut prendre plusieurs heures selon les cas.

Les objectifs principaux de cette mémoire sont :

- ✓ L'étude des deux méthodes d'optimisation différentes a résolu le problème de la PPO.
- ✓ Simuler un problème de placement de PMU pour une observabilité complète et incomplète avec MATLAB.

Une des solutions pour rendre le réseau plus fiable est l'ajout de synchrophaseurs appelés également Phase measurement units (PMU). Placés à l'intersection des lignes de transmissions et sur une partie du réseau de distribution, les PMUs permettent de mesurer la phase du courant 30 fois par seconde, soit une fréquence 120 fois supérieure aux systèmes actuels. A l'aide d'un système GPS, les informations récoltées sont alors comparées entre elles, permettant de tracer une carte en temps réel des phases du réseau électrique. Grâce à ces données, il est possible d'estimer le d'estimer sur le réseau et de synchroniser les ligne transmissions entre elles. Ce système devrait également permettre d'estimer les risque de panne et d'éviter les coupures de courant à grande échelle, de parvenir à une meilleure optimisation des lignes de transmission, de faciliter l'intégration des sources d'énergie intermittentes et enfin, d'améliorer la sécurité sur le réseau.

Comme le cout d'un PMU est très élevé, il est donc nécessaire de placer un nombre minimum de PMU sans négliger la sureté et la sécurité du système.

Dans notre travail nous traitons le problème de l'emplacement optimal des PMUs à l'aide de logiciel Matlabe, qui utilises les algoritms d'optimisation avec deux manières différente : la première avec PSAT de la deuxième avec lagorithms génitique (GA) et évolution différentielle (DE).

Introduction général

Une introduction au système de mesure à grand échelle (WAMS) est abordée au premier chapitre, dans le deuxième chapitre, nous avons parlé de synchrophaseurs (PMU) et leurs emplacements.

Dans le troisième chapitre, nous avons fait un rappel de la méthode d'optimisation sur les algorithmes génétique et évolution différentielle et méthode du simplexe.

Le quatrième chapitre illustre les résultats de simulation sur deux réseaux : la première est le réseau de 14 nœuds, le deuxième réseau de 39 nœuds (New England).

Chapitre 1

Système de mesure à grande échelle(WAMS)

1. Introduction :

La fonction du système d'énergie électrique est de convertir l'énergie de l'une des formes naturellement disponibles à la forme électrique pour la transporter aux points de consommation afin de l'utiliser sous d'autres formes telles que la chaleur, la lumière et l'énergie mécanique.

L'avantage de la forme de l'énergie électrique repose sur la flexibilité de son transport et de contrôle avec un degré élevé d'efficacité et de fiabilité [1]. Par conséquent, les réseaux de système d'alimentation sont devenus si importants pour toute la société et il faut faire de grands efforts pour empêcher l'effondrement et l'instabilité des système de puissance.

Les événements récents des effondrements dans le monde entier démontrent le besoin de stabiliser les système d'énergie au-delà des technologies classiques telles que le contrôle de supervision et l'acquisition des données (SCADA « Supervisory Control and Data Acquisition »).

L'augmentation de la demande pour le système d'alimentation, oblige le système à travailler à proximité de ses limites de la stabilité et plus que ça augmente les problèmes du système de protection et de contrôle complémentaire à l'équipement local classique qui pourrait être nommé mesure à grande échelle et de contrôle (WAMAC « Wide Area Measurements and Control system »). La technologie mentionnée est utilisée pour sauver le système à partir d'une panne partielle ou totale dans des situations opérationnelles lorsque l'équipement est en défaut ou fonctionne en dehors de ses limites [2] [3].

2. Historique :

Le conseil de coordination du système occidental (WSCC « Western Système Coordinating Council ») a fait face à un manque critique de l'information dynamique dans les années 1980. Pour cela, le Bonneville Power Administration (BPA) a introduit le système de mesure à grande échelle (WAMS « Wide Area Measurement System »). Ensuite, un plan général pour résoudre ce problème a été formé en 1990 et l'interconnexion occidentale du système d'alimentation en Amérique du Nord a été le premier banc d'essai pour la mise en œuvre WAMS en 1990.

Quelques années après, L'institut de Recherche de l'énergie électrique (EPRI « Electric Power Research Institute ») et le département de l'énergie des états-Unis (DOE « Department of Energy ») ont lancé le Project de système de mesure à grande échelle (WAMS) en 1995. Afin de renforcer le système de réseau occidental d'information dynamique (WDN « Western System Dynamics Information Network »).

Les information dynamiques fournies par (WAMS) peuvent être utilisées dans le but d'éviter des perturbation ultérieures et comprendre les ruptures. En revanche, les ressources d'information fournies par le (WAMS) ont été utilisées pour le maintien de la fiabilité du système.

Les synchrophaseurs (PMU « Phase Mesurment Units ») ont été dans (WAMS) en 1994. Les mesures de synchrophaseurs sont utilisés comme des ressources de données d'un (WAMS), un tel (WAMS) seront appelés (PMU) à base (WAMS), Les mesures peuvent contribuer aux fonction présidentes ou peuvent introduire de nouvelles fonction (WAMS), qui ne sont jamais atteints auparavant par des mesures classiques.

3. Processus WAMS :

Un processus (WAMS) comprend trois sous-processus différents interconnectés : acquisition des données, transmission des données et traitement des données.

En général, un système (WAMS) acquiert des données de système à partir de sources de données classiques et nouvelles, les transmet par l'intermédiaire du système de communication vers le centre de contrôle et les traite. Après l'extraction des informations appropriées à partir des données du système, les décisions relatives au fonctionnement du système d'alimentation sont faits. De temps, (WAMS) peut commander certaines qui sont effectuées par des actionneurs de système dans des sites distants. Touts ces faits indiquent que (WAMS) dénote une utilisation efficace des données et flux de données pour parvenir à une plus sure et une meilleure stratégie pour le flux d'énergie électrique. Le processus (WAMS) est illustré sur la figure (1-1) [4].

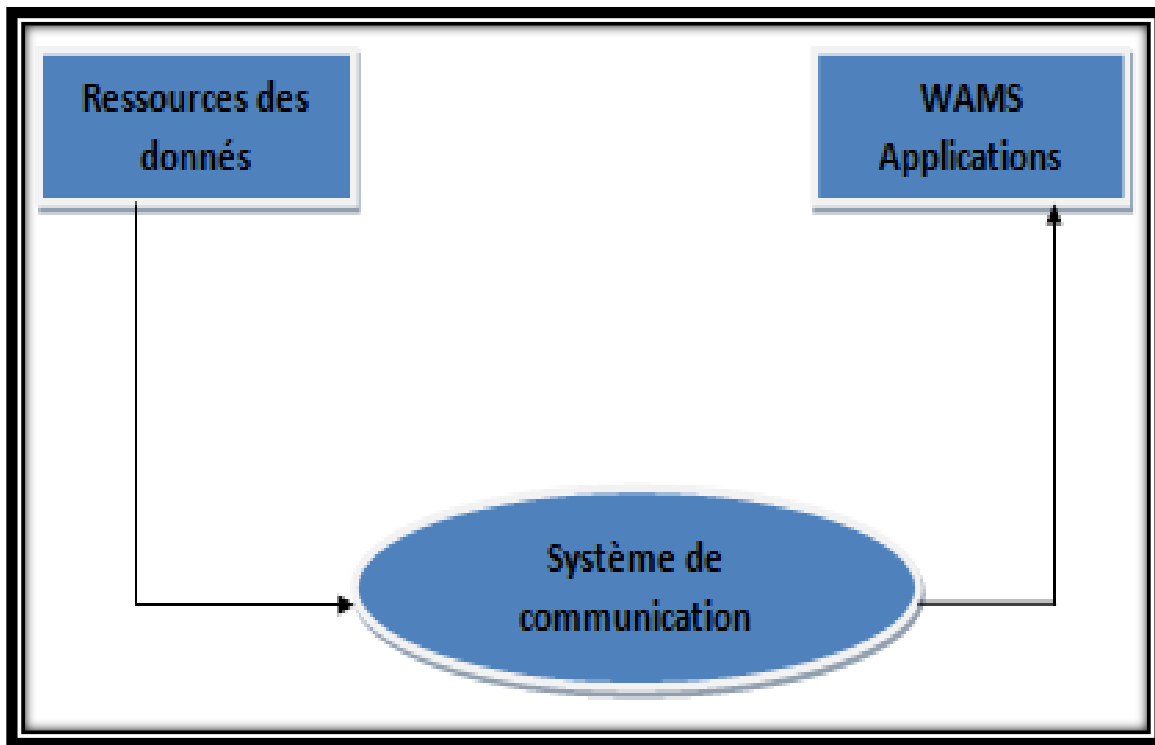


Figure (1-1) : Processus de WAMS dans systèmes d'alimentation électrique.

4. Contrôle de supervision et l'acquisition des données (SCADA) :

Le contrôle de supervision et l'acquisition des données (SCADA) est un nom générique pour un système informatisé, qui est capable de recueillir et de traiter de données et l'applications des contrôles opérationnels sur de longues distances. Les utilisations typiques de (SCADA) comprennent la transmission et la distribution d'énergie et des systèmes de de canalisation.

Dans un système d'alimentation électrique, un systèmes de supervision fourniy trois fonctions essentielles ans le fonctionnement d'un tel système :

- 1) L'acquisition de données.
- 2) Le contrôle de supervision.
- 3) Affichage et commande d'alarme.

En général, un système de supervision comprend à la fois du matériel du logiciel. En règle générale, le matériel (SCADA) peut comporter trois parties : unité de station principale (MTU « Master Terminal Unit »), unité de station éloignée (RTU « Remote Terminal Unit »), et le système de communication. Il convient de noter que parfois les contrôleurs logiques

programmables (PLC « Programmable Logic controllers ») ou des dispositifs électroniques intelligents (IDEs « Intelligent Electronic Devices ») peuvent être utilisés comme RTU dans les systèmes (SCADA).

La forme la plus simple du (SCADA) comprend : un MUT situé le centre de contrôle, un site de champ éloigné constitué soit un RUT ou un IDE, et un système de communication qui fournit un chemin de communication entre le site éloigné et le centre de contrôle. La figure (1-2) montre les sous-systèmes SCADA.

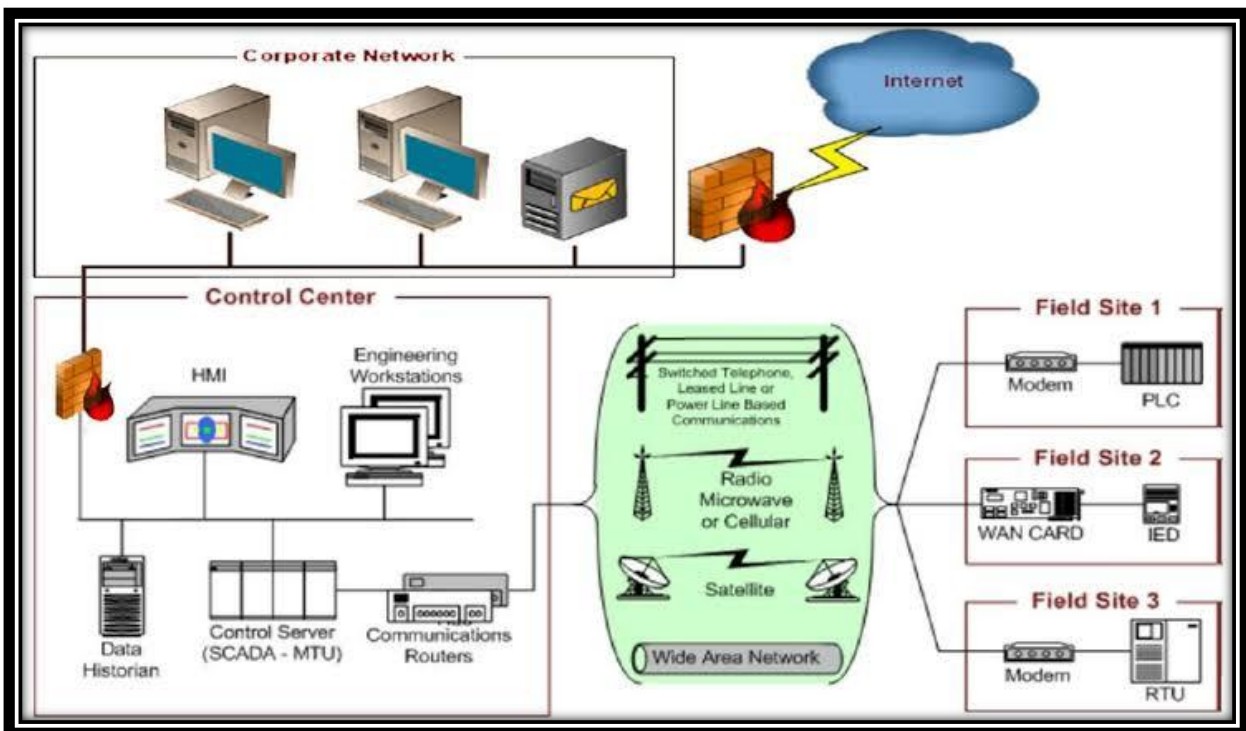


Figure (1-2) : Systèmes SCADA.

Les systèmes SCADA sont les composante suivants :

4.1 Unité de station principale (MTU) :

L'unité de station principale (parfois appelé centre de SCADA, serveur de SCADA, ou station maitre) peut être considéré comme le cœur d'un système SCADA. Il gère toutes les communications, recueille des données de RTU, envoie des informations à d'autres système, les commande des actionneurs de système qui sont connectés à RTU et les interfaces avec les opérateurs. En effet, MTU est un dispositif, qui est situé dans le centre de contrôle et il

agit en tant que maître, tandis que RTU sont placés dans des sites distants et d'agir comme esclaves.

4.2 Unité de station éloignée (RTU) :

L'unité de RTU est une unité d'acquisition et de contrôle des données autonome. Les RTU sont généralement à base de microprocesseur et surveillent les équipements de contrôle sur les sites éloignés. Leurs principales tâches sont de deux ordres : pour le contrôle et l'acquisition des données provenant des équipements de traitement sur les sites distants, et communiquer les données obtenues à une station maître (MTU) [4].

En général, une petite taille de RTU comprendent moins de 10 à 20 signaux analogiques et numériques ; une taille moyenne de RTU ont 100 numérique et 30 à 40 entrées analogiques. Les autres unités terminales avec plusieurs entrées sont connues comme celles de grandes dimensions.

4.3 Contrôleurs logique programmable (PLC) :

En général, les PLC sont de nature modulaire. Ils peuvent être étendus pour surveiller et contrôler les appareils de terrain supplémentaires dans les sites distants. Depuis ; les PLC ont un microprocesseur intégré, ils peuvent être programmés pour fonctionner localement même si la communication avec la station maître est perdue.

Les PLC ont deux principaux avantages par rapport au RTU commercial. Tout d'abord, ce sont des appareils à usage général et peuvent facilement effectuer une variété de fonctions différentes. Deuxièmement, les PLC sont physiquement compacts et nécessitent moins d'espace que des solutions alternatives. À la suite de ces faits, dans les systèmes SCADA, les PLC sont préférés à des fins spéciales des RTU parce qu'ils sont plus économiques, polyvalents, flexibles et configurables. Cependant, les PLC peuvent ne pas convenir à des besoins spécialisés par exemple des applications de télémétrie radio [4].

4.4 Système de communication du SCADA :

Les systèmes de communication fournissent des voies de communication entre la station maître et les sites distants. Cela peut être fait par le biais des médias privés de transmission (par

exemple fibre optique ou ligne louée) ou des moyens atmosphériques (sans fil ou par satellite).

Sous communication SCADA il existe trois principales architectures de communication physique : point à point, multipoint architectures et relais station [4].

5. Système de mesure à grande échelle WAMS :

Les systèmes de mesure à grande échelle peuvent contrôler l'état du système d'alimentation en ligne. Il se compose de trois parties principales : l'acquisition de données en utilisant (PMU), de transmission des données au concentrateur des données de phaseurs (PDC « Phasor Data Concentrator ») et la procédure de traitement des données. Dans les applications (WAMS) un nombre de (PMUs), qui sont connectés au concentrateur de données en tant que stockage de masse, sont accessibles à partir du centre de contrôle. Un schéma de relation entre (PDC) et (PMUs) est illustré à la figure (1-3) [3] [5].

Comme le montre la figure (1-3) les applications courantes de (WAMS) ont lieu dans plusieurs couches. La couche de base devrait viser à atteindre la capacité de surveillance. Cela pourrait être utilisé pour améliorer l'estimation de l'état, l'analyse des défauts, et de l'information de l'opérateur.

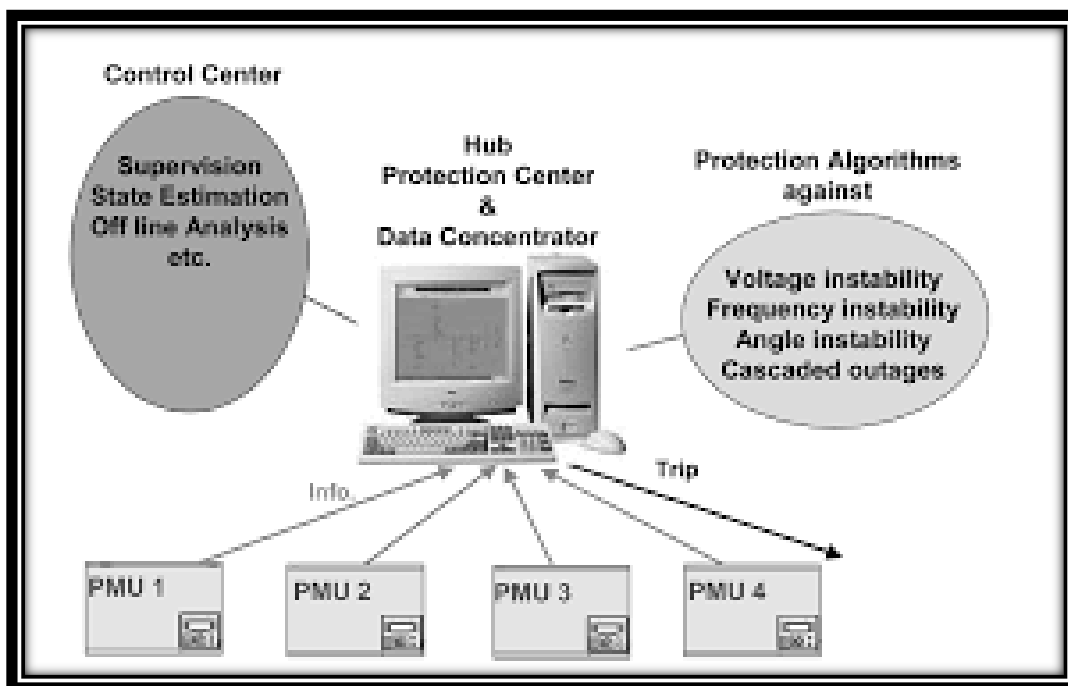


Figure (1-3) : Concentrateur des données de phaseurs (PDC).

Le système de mesure dans une vaste zone (WAMS) va progressivement devenir une garantie importante pour la sécurité et la stabilité des systèmes électriques futurs.

❖ Fonctionnement

En tant qu'infrastructure d'information pour les fonctions de surveillance, de contrôle et de protection dans les réseaux de transmission intelligents, un système de mesure à grande surface (WAMS) basé sur une unité de mesure de phaseur synchrone (PMU) utilise un système de synchronisation de haute précision avec une horloge de système de positionnement global (GPS), qui peut être utilisé dans Surveillance et contrôle en temps réel sous l'état du système dynamique, et améliorer la sécurité du système, il comprend généralement un déphaseur de concentrateur de données (PMU) (PDC), le centre de contrôle (WAMS) est principalement responsable du traitement des données de mesure et de l'envoi des commandes de contrôle. La plate-forme du centre de surveillance est Système logiciel de réception, de gestion et de traitement des données en temps réel [6].

Les équipements installés électriquement (PMU) à différents endroits peuvent synchroniser l'acquisition de données en ligne dans le délai imparti par (GPS)

6. Large contrôle régionale et système de protection :

Le manque de coordination entre les services de contrôle publics locaux tels que l'AVR "Automatic Voltage Regulator", l'AGC "Automatic Power Generation Control" et le PSS "Power System Stabilizer" peut causer de graves problèmes, tels que des oscillations inter-Zen. Pour résoudre ces problèmes, un grand système de contrôle de zone centralisé (WACS) trouvé dans le contrôle de réseau distribué peut être utilisé. WACS utilise de nombreuses informations dynamiques collectées par PMU pour coordonner les actions des agents distribués. Le WACS reçoit des informations et des données de différentes zones du système d'alimentation et envoie des signaux de contrôle / rétroaction appropriés aux agents locaux répartis dans le réseau électrique selon certaines fonctions de cibles prédéfinies pour améliorer les performances dynamiques du système. système.

D'autre part, des systèmes de contrôle et de protection à grande échelle sont utilisés pour protéger et protéger le système en cas d'interférences sévères ou de conditions de fonctionnement à augmentation de charge extrême [3].

En outre, comme mentionné précédemment, l'idée de base du "système de contrôle et de protection à grande échelle" du WACS est de traiter de manière centralisée les données pour évaluer les conditions de fonctionnement réelles du système électrique en fonction des contraintes de puissance, stabilité. Bien que WACS ait une large gamme d'applications spécifiques, la structure de base reste inchangée en fonction du phénomène discuté. Le matériel peut être expliqué sur la base du traitement des données dans WACS, comme le montre la figure (1-4) [2].

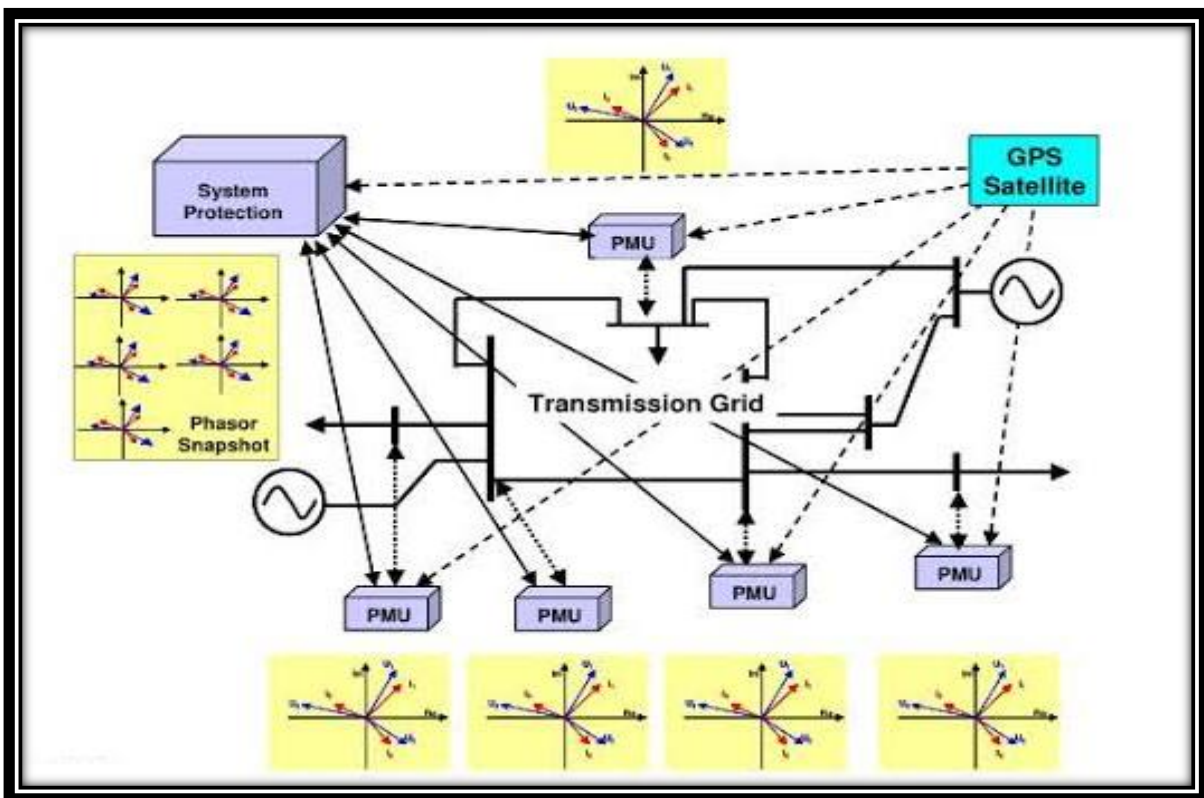


Figure (1-4) : Architecture d'un système de suivi de la zone, le contrôle et la protection de large.

La figure (1-4) montre plus de détails sur l'architecture du système WAMAC, y compris l'interface du «système de gestion de l'énergie» SCADA / EMS et l'automatisation des sous-stations, ainsi qu'un réseau de contrôle en boucle fermée pour le contrôleur, tel que FACTS «système de transmission CA flexible» [7]. Afin de protéger le système contre les risques de panne, des mesures de contrôle locales aideront le réseau. Dans le même temps, la commande principale, l'ancien SCADA / EMS ou la fonction WAMAC développée est un outil qui peut aider l'exploitant du réseau à contrôler et à optimiser le fonctionnement du

système électrique en envoyant des signaux de commande. Le point de consigne de contrôle de l'utilitaire de contrôle local. Ces contrôles locaux comprennent l'exploitation des équipements de production ou de transport [8].

Comme le montre la figure (1-4), le WACS est divisé en deux niveaux: (a) un centre de protection du système incorporant des applications étendues et (b) des dispositifs de terrain pour la collecte de données et des services de contrôle public locaux. Une liaison de communication peut être établie entre le centre d'exploitation et le système de contrôle pour obtenir un partage de données optimal et mettre en œuvre des principes de contrôle. Pour une mise en œuvre efficace, l'emplacement du PMU qui envoie les valeurs mesurées au centre de protection du système (CPS) dans le système d'alimentation doit être soigneusement étudié.

Le mainframe inclut le prétraitement des index entrants et les services de base. L'interface avec le système SCADA / EMS peut recevoir des informations de topologie et des paramètres d'équipement. Sur la base de ces informations synchronisées, le système de contrôle et de protection à grande échelle modifiera l'emplacement des équipements FACTS, des excitateurs de générateurs et d'autres équipements de contrôle fixes. Le signal de commande sera directement renvoyé au contrôleur local périphérique spécifique ou au système d'automatisation du poste de travail [3].

Bien qu'il soit impossible de prévoir ou de prévenir tous les accidents susceptibles d'entraîner l'effondrement du système électrique, le système de surveillance complet peut fournir des prévisions de sécurité fiables et des mesures de coordination optimisées. Cette technologie peut atténuer ou prévenir les perturbations majeures dans la zone et se compose de deux parties principales: un grand système de mesure et un grand système de contrôle. La première partie comprend l'acquisition et la réception de données et d'informations de tous les points clés du réseau et leur transmission au centre de contrôle, et la seconde partie comprend l'analyse des données pour envoyer des points de consigne de contrôle pour l'équipement de contrôle local [9].

7. conclusion :

Les systèmes de mesure à grande échelle (WAMS) est une nouvelle opportunité pour les opérateurs de système de surveiller, faire fonctionner et contrôle la protection des systèmes d'alimentation dans une large zone géographique. Le WAMS combine les données fournies par synchrophaseur et mesures conventionnelles avec la capacité des nouveaux système de communication afin d'obtenir de l'information dynamique de l'ensemble du système. Le processeurs WAMS peut être divisé en trios sous-processeurs interconnecté ; acquisition de données, livraison de données et traitement des données. Ces sous-processeurs sont respectivement effectués par mesure, de communication et de gestion de l'énergie sous-systèmes. Chaque sous-système possède différentes taches à sur les données du système. En conséquence, il est certainement important que les fonctions et les équipements de ces sous-systèmes sont profondément étudiés du point de vue des données [4].

Dans ce chapitre nous avons a examiné en profondeur les équipements et les fonctions de chaque sous-processeurs, séparément. Il a été montré que WAMS contribue aux systèmes de surveillance pour passer des systèmes "d'acquisition de données" pour les systèmes d'information "dynamique". Les informations dynamique des systèmes d'alimentation permettent aux opérateurs de réseaux électriques pour surmonter génération, d'exploitation et de planification des défis qui des grands générateurs aux petits équipements ménagers, les système WAMS sont capables de surveiller et de contrôle différentes fonctions en temps réel. Nous pouvons conclure que, dans les système d'alimentation modernes, WAMS est une partie essentielle au fonctionnement et contrôle du système d'alimentation.

En particulier, ce chapitre montre que l'information dynamique des système d'alimentation, à la suite de la mise en œuvre WAMS ; contribue aux opérateurs du système pour prendre de meilleures décisions pour le fonctionnement et la planification du système. Cependant, en plus des systèmes d'alimentation, l'information dynamique de tout système interconnecté (par exemple des pipelines de gaz naturel) aide les opérateurs de système / administrateurs pour réduire les coute d'exploitation et d'accroitre l'efficacité de ces systèmes interconnectés. Par conséquent, les concepts WAMS peuvent également être

généralisés à d'autres systèmes interconnectés pour former un système d'information dynamique et fournir des données du système pour les application connexes en temps réels.

En conclusion, nous pouvons dire que même si le WAMS a d'abord été introduit dans les systèmes d'alimentation afin d'obtenir des information dynamique de ces systèmes, il peut aussi être bien établie dans d'autres infrastructures critiques (par exemple, les gaz naturel, le pétrole, l'approvisionnement en eau, d'urgence services, télécommunications, etc.) pour fonctionner, surveiller et contrôle ces infrastructures.

Chapitre 2 :
Les Synchrophaseurs (PMUs)
et leurs emplacements

1. Introduction :

En 1893, Charles Proteus Steinmetz a présenté un document sur la description mathématique simplifiée des formes d'onde d'électricité en courant alternatif. Steinmetz a appelé sa représentation un phaseur. En s'inspirant des travaux de Steinmetz, Arun G. Phadke et James S. Thorp à Virginia Tech ont utilisé en 1988 la technique de calculs des phaseurs pour introduire la notion des PMUs sur les réseaux électriques.

Le synchrophaseur (pmu) est un dispositif utilise pour détecter la tension et la forme d'onde de courant qui est synchronise avec un signal d'horloge obtenu en continu a partir du système de positionnement global (GPS). Intégration avec le récepteur GPS [10] ,la station de base est capable de recevoir les données synchrones de chaque PMU en temps réel .L'emplacement des circuit de dysfonctionnement ou de ligne de transmission peut être immédiatement identifie si les différences de phase entre les différents PMUs sont détectés

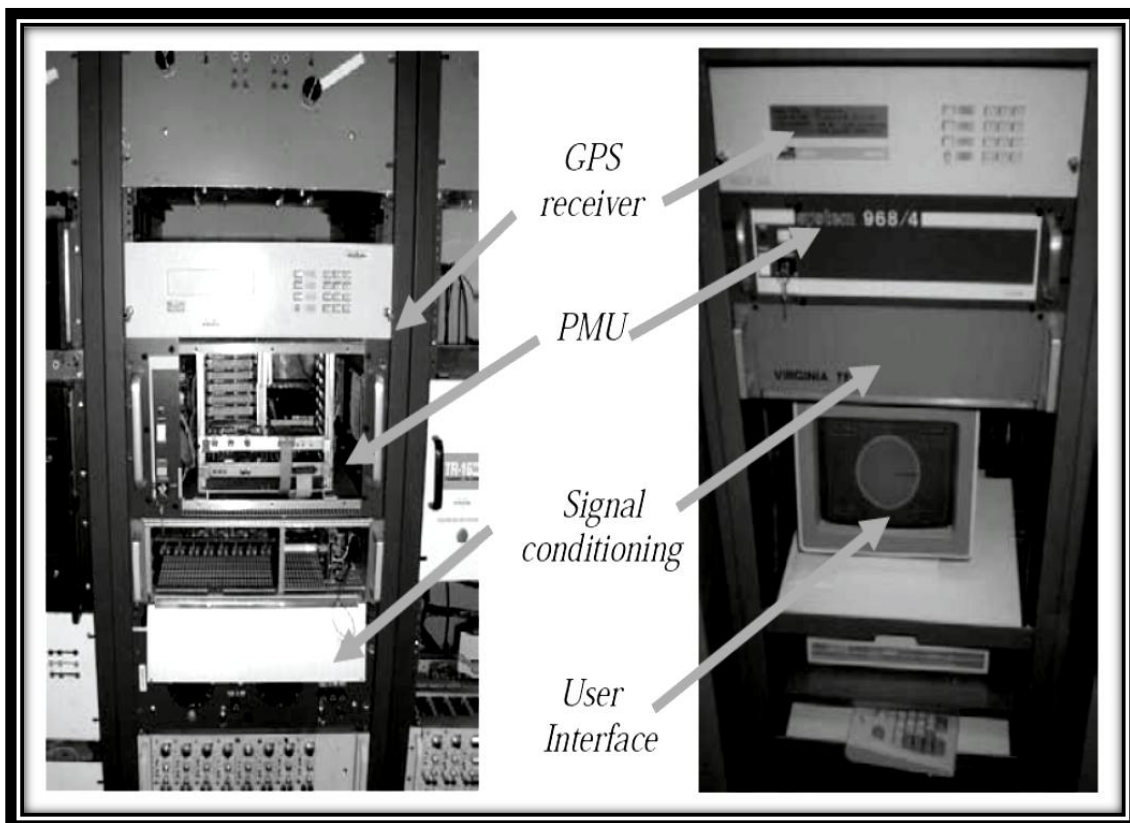


Figure (2-1) : le premier synchrophaseur (PMU).

2. Fondamental de base des PMUs :

Les PMUs ont une technologie qui fournit des informations en phaseur (à la fois de l'amplitude et de l'angle de phase) en temps réel. L'avantage de renvoyer l'angle de phase à un temps de référence mondial et utile pour capter le plan large zone de pression du système d'alimentation. L'utilisation efficace de cette technologie est très utile pour atténuer les coupures de courant et l'apprentissage du comportement et temps réel du système d'alimentation. Avec l'avancement de la technologie, l'instrumentation à base de microprocesseur, comme relais de protection et Enregistreurs de défaut de perturbation (DFRs « Disturbance Fault Recorders ») incorporer le module PMU ainsi que d'autres fonctionnalités existantes comme une caractéristique étendue.

2.1 Techniques de mesure des PMUs :

Une forme d'onde sinusoïdale pure peut être représentée par un nombre complexe unique connu sous le nom de phaseur. Considérons un signal sinusoïdal ;

$$\mathbf{x}(t) = X_m \cos(\omega t + \Phi) \quad (2.1)$$

Avec : $\omega = 2\pi f$

La représentation de phaseurs de cette sinusoïdal est donnée par :

$$\mathbf{x}(t) = \frac{X_m}{\sqrt{2}} e^{j\Phi} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} (\cos\Phi + j \sin\Phi) = X_r + j X_i \quad (2.2)$$

Où la magnitude $\frac{X_m}{\sqrt{2}}$ est la valeur quadratique moyenne (RMS), et les X_r et X_i sont les parties réelles et imaginaires de la valeur complexe (ses composantes rectangulaires).

Le phaseur est un concept fondamental en génie électrique qui représente un signal sinusoïdal son ampleur et sa phase par rapport à une référence. Dans la figure de Représentation géométrique d'un phaseur comme représente sur la figure (2-1), la distance entre la crête sinusoïdal du signal et la référence temporelle (par exemple le temps = 0) est défini comme étant un angle de phase et il est transféré à une mesure angulaire de la représentation de phaseurs.

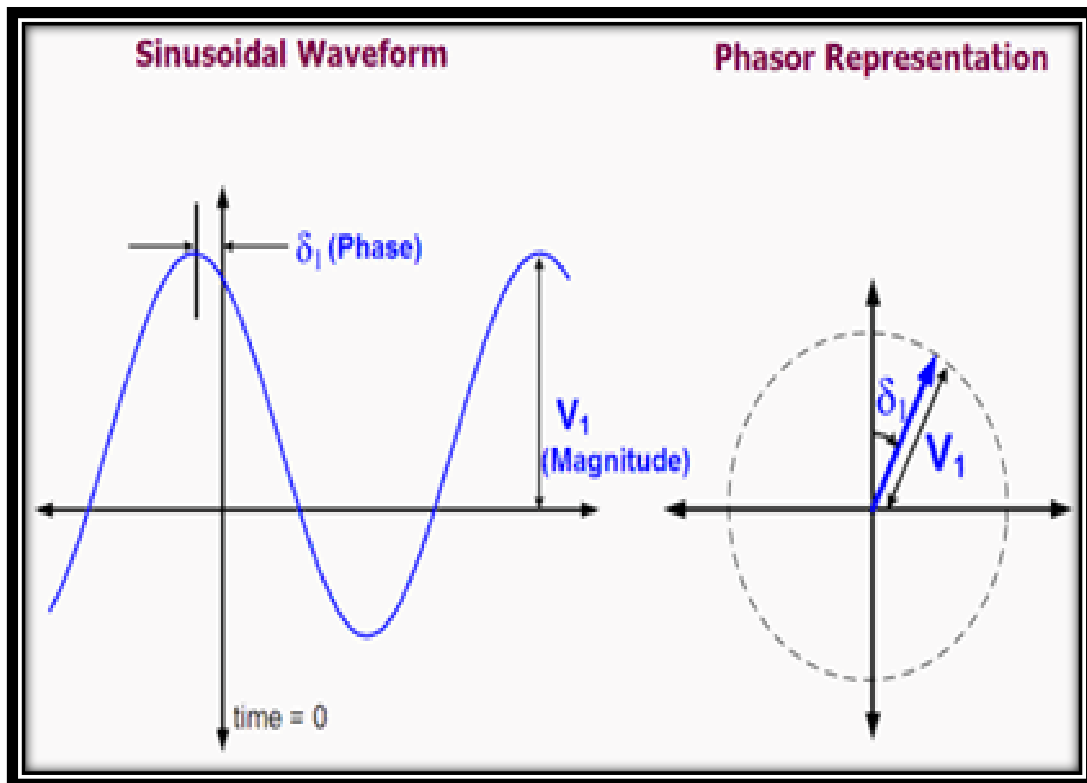


Figure (2-2) : Représentation géométrique d'un phasor.

La technologie Phasor y compris le synchrophaseur (PMU) [11] est une technologie de mesure de valeur dans le système d'alimentation pour surveiller l'état des réseaux de transport et de distribution. Comme représenté sur la figure (2-2), le phasor de la composante 50 Hz est obtenue en se basant sur la forme d'onde de tension analogique en numérique échantillonné qui est synchronisé avec le signal d'horloge à partir du récepteur GPS dans des emplacements distribués (# 1 et # 2). La référence de temps est intitulé comme un signal « de référence commun » et il permet de synchroniser les différentes formes d'onde à tous les différents sites. La différence d'amplitude entre le signal # 1 et le signal # 2 sur la figure (2-2) est due à l'atténuation du signal sur la ligne de transmission aérienne.

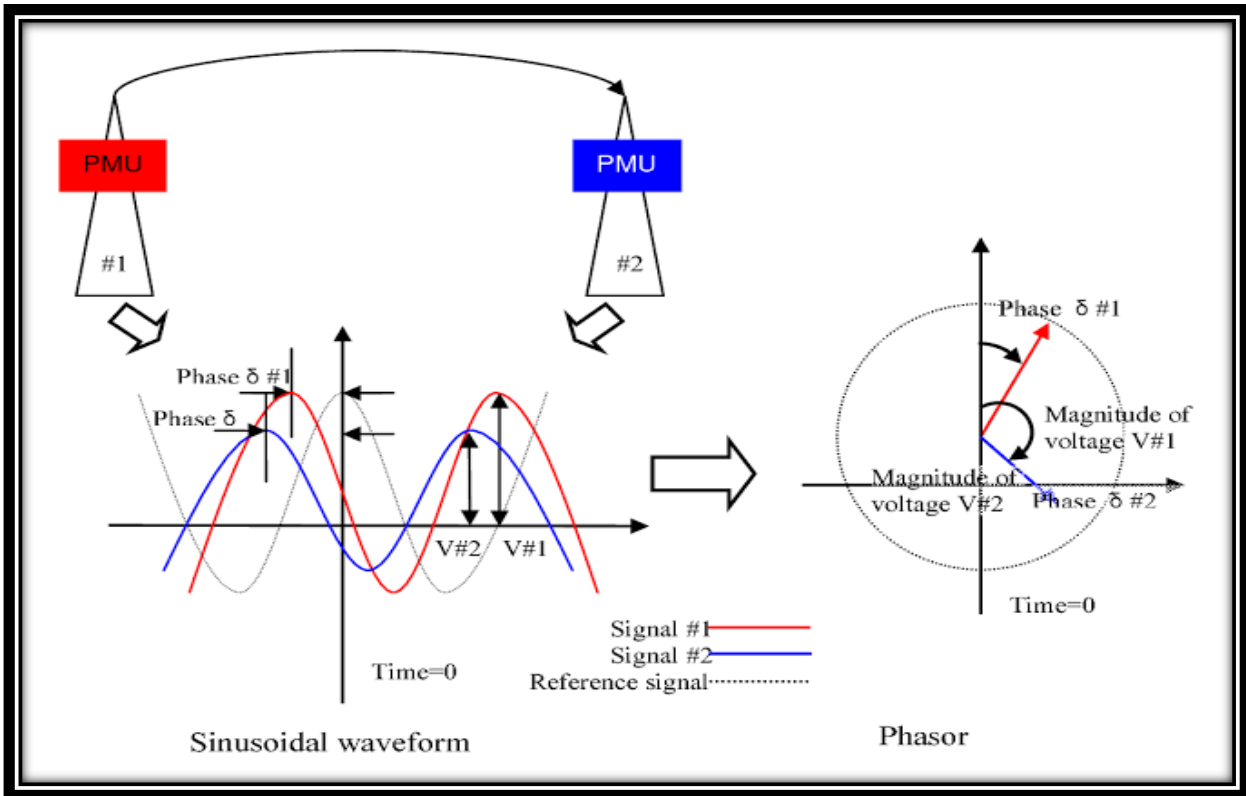


Figure (2-3) : Les signaux reçus par PMU.

2.2 Notions pour PMUs :

Bien qu'un phaseur constante implique une forme d'onde sinusoïdale stationnaire, dans la pratique, il est nécessaire de traiter avec des mesures de phaseurs qui considèrent le signal d'entrée sur une fenêtre de données finie. Dans un grand nombre de PMUs la fenêtre de données en cours d'utilisation est une période de la fréquence fondamentale du signal d'entrée. Si la fréquence du système d'alimentation ne correspond pas à sa valeur nominale (il est rare), le PMU utilise un pas de fréquence de suivi et évalue la période de la composante fondamentale de fréquence avant que le phaseur est ainsi estimé. Il est clair que le signal d'entrée peut avoir des composantes harmoniques ou non. La tâche du PMU est de séparer la composante de fréquence fondamentale et de trouver sa représentation de phaseurs.

La technique la plus courante pour déterminer la représentation phaseur d'un signal d'entrée est d'utiliser des échantillons de données prises à la forme d'onde, et d'appliquer la transformée de Fourier discrète (DFT) pour calculer le phaseur. Étant donné que les données échantillonnées sont utilisées pour représenter le signal d'entrée, il est essentiel que les filtres anti-repliement soient appliqués au signal avant que les échantillons de données sont

prises. Les filtres anti-repliement sont des dispositifs analogiques qui limitent la largeur de bande de la bande passante à moins de la moitié de la fréquence d'échantillonnage de données (critère de Nyquist). Si $x_k\{K=1,2,3,\dots,N-1\}$ sont les N échantillons du signal d'entrée pris sur une période, puis la représentation de phaseur.

$$X = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x e^{-jk \frac{2\pi}{N}} \quad (2.3)$$

Le multiplicateur devant le signal de sommation peut avoir besoin d'explication. A notre que pour des signaux d'entrée réels, les composantes du signal à une fréquence ω appariassent dans la DFT à $\pm \omega$ et sont complexes conjugués de l'autre. Ils peuvent être combinés, ce qui donne un facteur de deux en face du signe de la somme dans (2.3). La valeur de crête de la fréquence fondamentale ainsi obtenue est ensuite convertie en valeur quadratique moyenne en divisant par deux. La DFT calcul permet d'éliminer les harmoniques du signal d'entrée. Cependant, les signaux non harmoniques et des bruis aléatoires présents dans le signal d'entrée conduit à une erreur dans l'estimation du phaseur. L'erreur d'estimation en raison de ces effets a été discutée dans la littérature ouverte.

2.3 Synchrophaseur :

Le synchrophaseur est un terme utilisé pour décrire un phaseur qui a été estimée à un instant connu sous le nom de la balise de temps du synchrophaseur. Afin d'obtenir la mesure simultanée de phaseurs à travers une vaste zone du système d'alimentation, il est nécessaire de synchroniser ces balises de temps, de sorte que toutes les mesure phaseurs appartenant à la même étiquette temporelle sont vraiment simultanées. Considérons le marqueur $t = 0$ sur la figure (2-1) est le marqueur de temps de la mesure. Le PMU doit alors fournir le phaseur donnée par (2.2) en utilisant les données d'échantillonnage du signal d'entrée. Notez qu'il existe des filtres anticrénelage présents dans l'entrée du PMU, qui produisent un retard de phaseur de la caractéristique de filtre. En outre, ce retard est fonction de la fréquence du signal. La tâche du PMU est de compenser ce retard parce que les données échantillonnées sont prise après le retard de l'anti aliasing est introduit par le filtre. Ceci est illustré sur la figure (2-3). La synchronisation est obtenue en horloge d'échantillonnage qui est verrouillé en phase au signal d'une impulsion par seconde fournir par un récepteur GPS. Le récepteur peut être construit dans le PMU, ou peut être installé dans la sous-station et l'impulsion de

synchronisation distribuée au PMU et à tout autre dispositif qui l'exige. Les marqueurs de temps sont à des intervalles qui sont des multiples d'une période de la fréquence nominale du système d'alimentation. Il convient également de noter que la sortie normale du PMU est la tension de séquence positive et de phaseurs de courant. Dans de nombreux cas, les PMUs sont également en mesure de fournir des phaseurs pour des tensions et des courants de phase individuels [12].

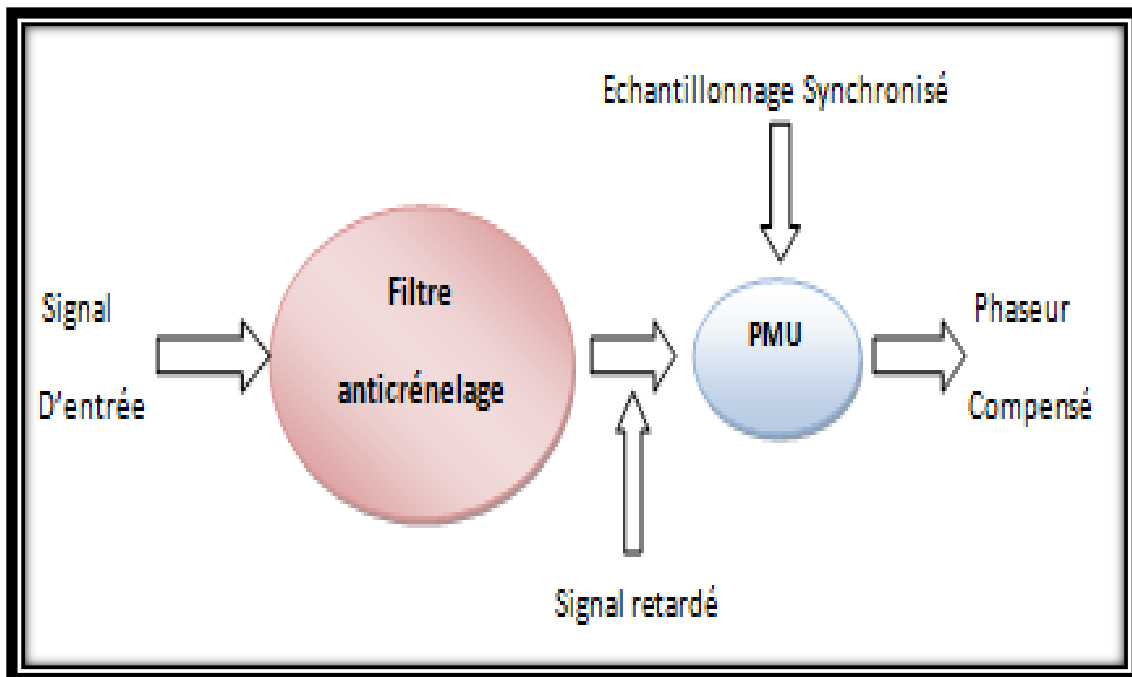


Figure (2-4) : Compensation de retard du signal introduit par le filtre anticrénelé.

2.4 Application des PMUs dans les systèmes électriques :

La technologie de mesure de phaseur synchronisée est relativement nouvelle, et par conséquent plusieurs groupes de recherche dans le monde entier développent activement des applications de cette technologie. Il semble clair que bon nombre de ces applications peuvent être commodément regroupées comme suit :

- Système de surveillance d'énergie en temps réel.
- Protection des réseaux avancés.
- Système de contrôle avancés.

2.5 Perspectives des PMUs :

Les PMUs facilitent des solutions novatrices aux problèmes de services publics traditionnels et d'offrir aux ingénieurs système d'alimentation toute une gamme d'avantages potentiels, y compris :

- Une estimation précise de l'état du système d'alimentation peut être obtenue à intervalles réguliers, ce qui permet des phénomènes dynamiques à observer à partir d'un emplacement central, et les mesures de contrôle appropriées prises.
- Pour assurer une qualité acceptable de la puissance fournie aux consommateurs.
- Les analyses post-perturbations sont beaucoup améliorées parce que des instantanés précis des états du système sont obtenus grâce à la synchronisation GPS.
- Pour analyser la vulnérabilité du système contre toute éventualité. Ceci est connu comme l'évaluation de la sécurité des réseaux de systèmes d'alimentation.
- Protection avancée basée sur des mesures de phaseurs synchronisées pourrait être mise en œuvre, avec des options pour améliorer la réponse globale du système à des événements catastrophiques.
- Contrôle avancé par rétroaction à distance devient possible, ce qui améliore les performances du contrôleur [12].

2.6 Systèmes de positionnement globale par satellite (GPS) :

Le système GPS comprend 24 satellites répartis sur six orbites à une altitude approximative de 10 000 milles au-dessus de la surface de la Terre. Ils sont donc approximativement à la moitié des altitudes correspondant à une orbite géosynchrone. Le positionnement du plan orbital et celui des satellites sur les orbites sont tels qu'à tout moment, au moins quatre satellites sont visibles depuis n'importe quel point de la surface de la Terre. Souvent, plus de six satellites sont visibles [12].

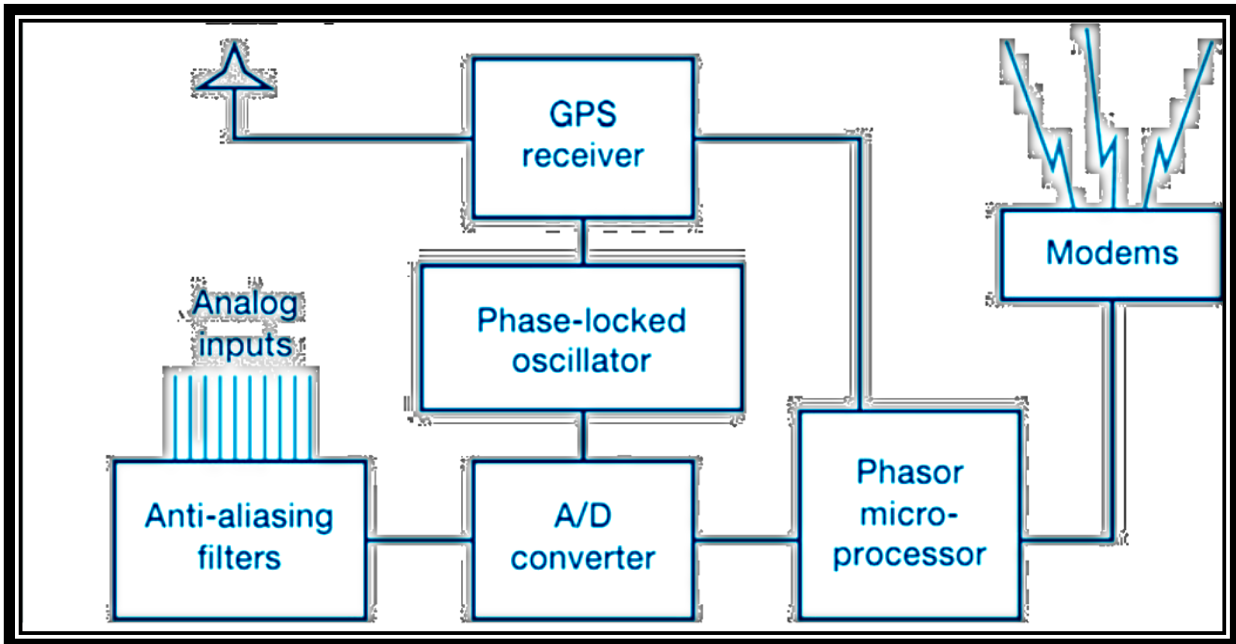
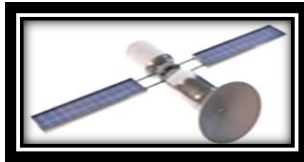


Figure (2-5) : Schéma bloc l'unité de mesure de phaseur.

Le canal à usage civil du système GPS transmet les coordonnées de position des satellites à partir de laquelle l'emplacement d'une station de réception sur la terre pourrait être déterminée. En outre, les satellites transmettent second signal d'une seule impulsion, avec un identifiant pour le signal qui peut être interprété par les récepteurs de stations terriennes. La transmissions à usage civil du signal temporel est précis à moins de 1 microseconde, et souvent dans la pratique se révèle être beaucoup plus précis. L'impulsion de temps est d'une importance cruciale pour l'application considérée ici. La pratique normale consiste à verrouillage de phase une horloge d'échantillonnage à cette impulsion. L'instant d'échantillonnage serait identifié comme étant le nombre d'impulsion dans un intervalle d'une seconde identifiée par le GPS temps-tag. Le format exact pour l'étiquetage du temps est défini dans la norme IEEE 1344. Il convient de mentionner qu'une norme de temps connue comme étant la norme IRIG-B est actuellement utilisé par l'industrie de l'énergie pour les enregistreurs de défaut numériques temps-tagging et d'autres système de surveillance événement de sous-station. Cependant, à la norme réceptrice IRIG-B la précision de synchronisation est de l'ordre de 1 milliseconde, ce qui suffit pas pour la mesure du système d'alimentation précis (une tolérance de 1 milliseconde correspond à

une incertitude d'environ 20°). Le complète du diagramme de PMUs et l'utilisation PMUs dans les systèmes d'alimentation sont présentés sur la figure (2-5) & (2-6) [12].

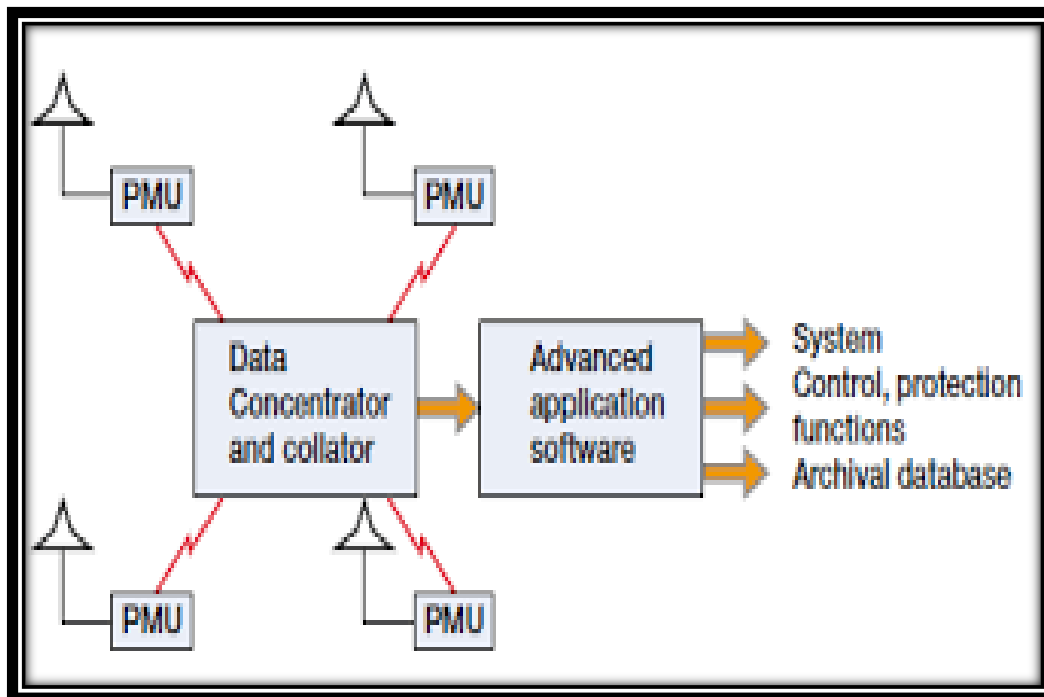


Figure (2-6) : Utilisation de PMU dans un système électrique.

Les différents caractéristiques de PMU sont données ci-dessous comme suit :

- PMUs sont ensuite calculées en utilisant des algorithmes DFT-like, et le temps est estampillé avec un GPS.
- PMUs sont des mesures 50/60 Hz formes d'onde de courant alternatif (tension et courant) généralement à un taux de 48 échantillons par cycle.
- Le temps résultant étiqueté PMUs peut être transmis à un récepteur local ou à distance à des taux jusqu'à 60 échantillons par cycle [12].

2.7 Comparaison entre le système SCADA et système PMUs :

Les comparaisons suivantes entre les systèmes SCADA et PMUs sont données dans le tableau (2-1) ci-dessous.

<i>Attribut</i>	<i>SCADA</i>	<i>PMU</i>
La mesure	Analogue	Numérique
Résolution	2-4 échantillons par Cycle	Jusqu'à 60 échantillons par cycle
Observabilité	Régime permanent	Dynamique / Transitoire
Surveillance	Local	Large zone
Mesure de l'ange	Non	Oui

Tableau (2-1) : Représentation de comparaison entre les systèmes SCADA et PMUs.

Du tableau ci-dessus il est conclu que les PMUs sont donnés des résultats plus précis et efficaces que les comparaison des systèmes SCADA [12].

3. Avantage des PMUs :

Les PMUs facilitent des solutions novatrices aux problèmes de services publics traditionnels et d'offrir aux ingénieurs système d'alimentation toute une gamme d'avantages potentiels, y compris :

- Une estimation précise de l'état du système d'alimentation peut être obtenue à intervalles réguliers, ce qui permet des phénomènes dynamiques à observer à partir d'un emplacement central, et les mesures de contrôle appropriées prises.
- Pour assurer une qualité acceptable de la puissance fournie aux consommateurs.
- Les analyses post-perturbations sont beaucoup améliorées parce que des instantanés précis des états du système sont obtenus grâce à la synchronisation GPS.
- Pour analyser la vulnérabilité du système contre toute éventualité. Ceci est connu comme l'évaluation de la sécurité des réseaux de systèmes d'alimentation.
- Protection avancée basée sur des mesures de phaseurs synchronisées pourrait être mis en œuvre, avec des options pour améliorer la réponse globale du système à des événements catastrophiques.
- Contrôle avancé par rétroaction à distance devient possible, ce qui améliore performances du contrôle.

4. Emplacement des PMUs :

L'emplacement des PMUs à toutes les sous-stations permet une directe de l'état du réseau. Toutefois, l'emplacement de PMU sur chaque nœud d'un système est difficile à réaliser, soit en raison de facteur de coût ou en raison de la non-existence des moyens de communication dans certains postes. En outre, comme une conséquence de la loi d'Ohm, quand un PMU est placé à un nœud, les nœuds voisins deviennent également observables [13] [14]. Ceci implique qu'un système peut être observé avec un nombre minimum de PMU que le nombre de nœuds.

Comme le coût d'un PMU est très élevé, il est donc nécessaire de placer un nombre minimum de PMU sans négliger la sûreté et la sécurité système. Ainsi, les nœuds les plus sensibles dans le système de puissance donnée en fonction des variation de charge sont détectés et les PMUs sont placées de manière optimale de telle sorte que tous les nœuds sensibles sont observés. Ainsi, le nombre de PMU se réduire encore que le nombre proposé dans [15] [16] [17] [18] [19] ce qui réduit le coût du système.

4.1. La formulation optimale des problèmes de placement des PMU :

Dans ce partie, le problème de l'emplacement optimal d'une PMU dans un système d'alimentation soumis à un processus standard avec et sans bus à injection zéro (ZIB). Le bus à injection zéro peut être défini de manière générale comme un bus dans le réseau du système d'alimentation privé d'un générateur et d'une jonction de charge, comme indiqué à la Figure (II.7). Pour une condition de processus ordinaire d'un système d'alimentation à bus n sans effet (ZIB), le problème de placement de PMU peut être formulé comme suit :

$$\min(g(X)) \quad (2.4)$$

La solution vectorielle de l'équation (2.4) doit satisfaire à la fois aux exigences d'un nombre optimisé de PMU et de leur localisation, l'objectif principal étant d'assurer l'observabilité topologique en temps réel de l'ensemble du réseau. Dans cette équation $g(X)$ est la fonction objective du problème formulé, elle est définie comme suit:

$$g(X) = \sum_i^n W_i \cdot X_i \quad (2.5)$$

Sujet à:

$$f(X) \geq U_1 \quad (2.6)$$

W_i est le coût de la PMU installée sur le bus i^{th} , X est une variable de décision binaire, où ses éléments sont définis comme suit:

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{PMU est installé dans le noeud } i \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad (2.7)$$

Les entrées de la fonction vectorielle $f(X)$ sont $f_i(X)$, qui sont toutes des zéros. L'élément $f_i(X)$ présente la fonction d'observabilité sur le bus i^{th} , et U_1 est un vecteur avec des éléments non nuls. Les contraintes non linéaires présentées par l'équation (2.7) sont formées sur la base de la connaissance des emplacements et des types de mesures existants. La fonction vectorielle $f(X)$ est définie comme suit:

$$f(X) = A \cdot X \quad (2.8)$$

La matrice A est la matrice de connectivité binaire qui représente les informations de connectivité entre les bus d'un système d'alimentation. Sur la base de l'équation (2.8), la fonction d'élément $f_i(X)$ est défini comme suit [20]:

$$f_i(X) = \sum_j^n A_{ij} \cdot X_j \quad \text{et} \quad i \in [1 \ n] \quad (2.9)$$

Les éléments A_{ij} of matrix A reliant le bus i au bus j sont définis comme suit:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 1 & \text{si le bus } i \text{ est connecté au bus } j \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad (2.10)$$

Expliquez tout ce qui a été dit dans l'exemple présenté à la figure (2-7) représentant le système de bus IEEE-7 constitué de sept nœuds (en caractères gras) et de huit branches (en cercles); si nous supposons que la mesure d'injection zéro est au bus 2[20].

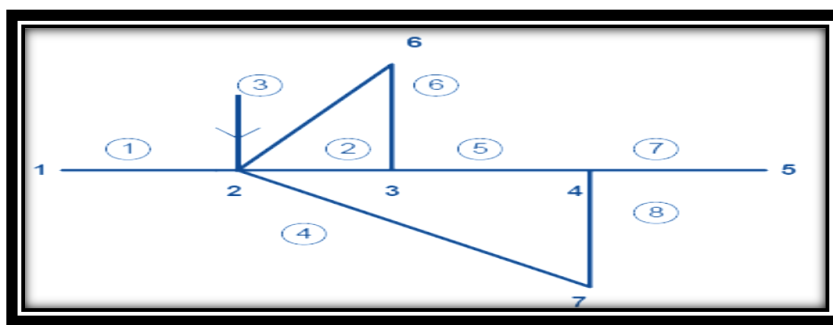


Figure (2-7) : Le système de bus IEEE-7.

Ensuite, pour cette matrice de connectivité de bus système, on donne: $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

La fonction vectorielle f (X) est donnée par: $(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \\ X6 \\ X7 \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

4.2 Règles de placement du PMU :

Principalement basée sur cette condition sur les lois de base du courant de branche et de la tension de nœud dans la théorie des circuits, de nombreuses règles sont appliquées pour analyser le réseau afin de garantir que celui-ci est entièrement observable. Les dispositifs de PMU sont en mesure de fournir à l'opérateur du système un ensemble de mesures de phaseur synchronisé dans le système afin de le rendre observable. Dans ce cas, il est nécessaire de rendre chaque bus existant observable, qu'il ait ou non une génération / demande. nous fournissons le concept d'observabilité, comme suit sur ces trois cas:

PREMIER CAS : Pour les PMU connectées dans des bus, le phaseur de tension et le phaseur de courant de toutes ses branches incidentes sont connus. Celles-ci sont appelées « mesures directes» [20]. La figure (2-5) montre que l'UGP placée dans le bus 02 est appelée processus mesuré directement. Pendant ce temps, les courants de branche connectés au nœud sont également mesurés par le PMU. Dans le premier cas, les paramètres bien connus mesurés par PMU sont **V2, I1,2, I2,3 et I2,4** et donc les caractéristiques du conducteur sont **(R1,2 + jX1,2, R3,2 + jX3,2, R4,2 + jX4,2)**. La zone observée par la PMU sur un bus est décrite à la figure (2-8).

DEUXIEME CAS : dans l'éventualité où les phaseurs de courant et de tension dirigés vers un côté d'une branche sont acclamés, le phaseur de tension situé à l'autre extrémité de la branche est obtenu en utilisant les équations (2.4) à (2.7), Celles-ci sont appelées «pseudo mesures» [22].La magnitude de la tension est déterminée dans les formats suivants:

$$V_1 = V_2 + I_{1,2} * (R_{1,2} + jX_{1,2}) \tag{2.11}$$

$$V_3 = V_2 - I_{3,2} * (R_{3,2} + jX_{3,2}) \tag{2.12}$$

$$V_4 = V_2 - I_{4,2} * (R_{4,2} + jX_{4,2}) \tag{2.13}$$

TROISIEME CAS : Si les phaseurs de tension du blazonage au long d'une branche sont identifiés, le phaseur de courant de ce conteneur de division est accompli avec précision. Ces mesures sont identifiées comme des «mesures indirectes».

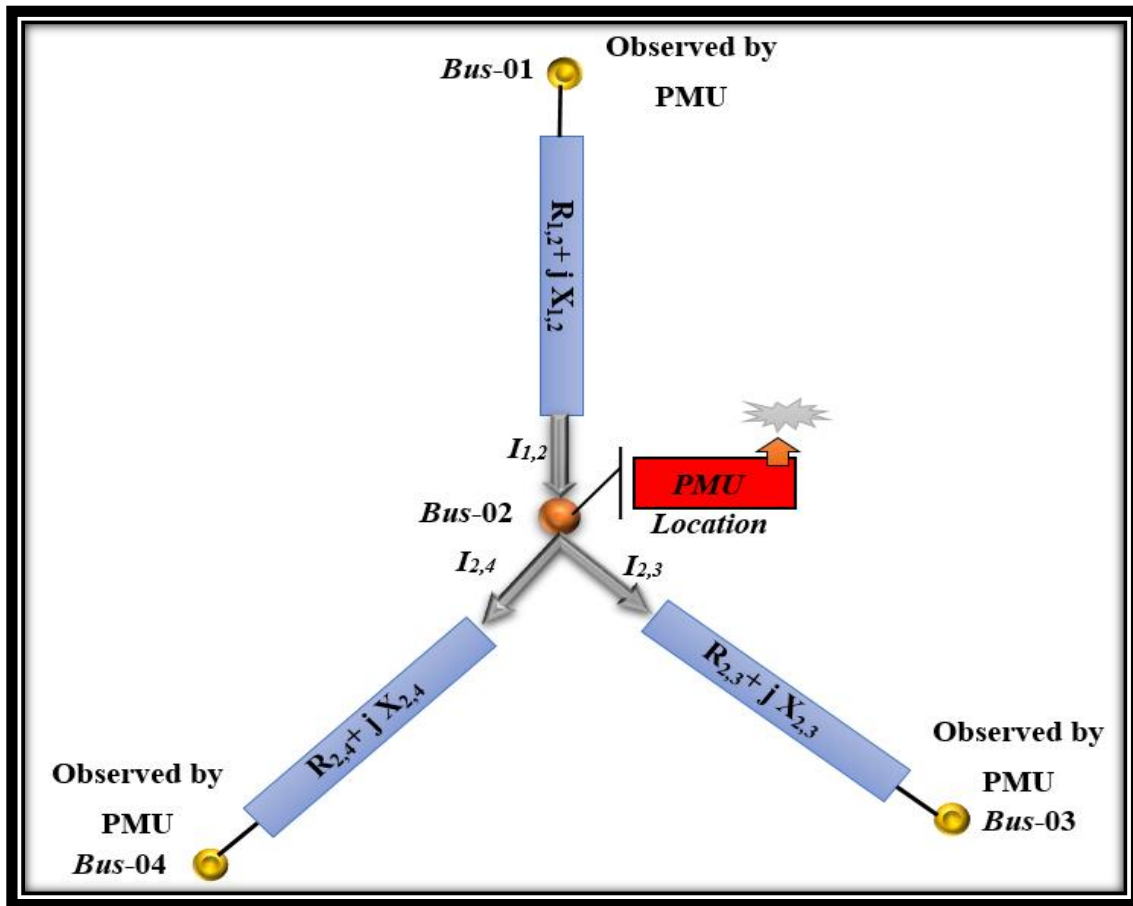


Figure (2-8) : Les règles d'observabilité.

Une magnitude de tension sur les bus 01, 03 et 04 est observée et mesurée par les PMU, le courant de ligne dans la branche (1-2), (3-2) et (4-2), ainsi que la tension dans le bus 02 être calculé. Les équations en résolution des données non identifiées sont des ombres :

$$V_2 = V_1 - I_{1,2} * (R_{1,2} + jX_{1,2}) \tag{2.14}$$

$$V_2 = V_3 + I_{3,2} * (R_{3,2} + jX_{3,2}) \tag{2.15}$$

$$V_2 = V_4 + I_{4,2} * (R_{4,2} + jX_{4,2}) \tag{2.16}$$

$$I_{1,2} = I_{3,2} + I_{4,2} \tag{2.17}$$

4.3 Zéro Injection Buses (ZIB) :

Les systèmes d'alimentation contiennent toujours certains bus auxquels ni génération ni charge ne sont connectés, ils sont appelés bus à zéro injection (ZIB) [21].

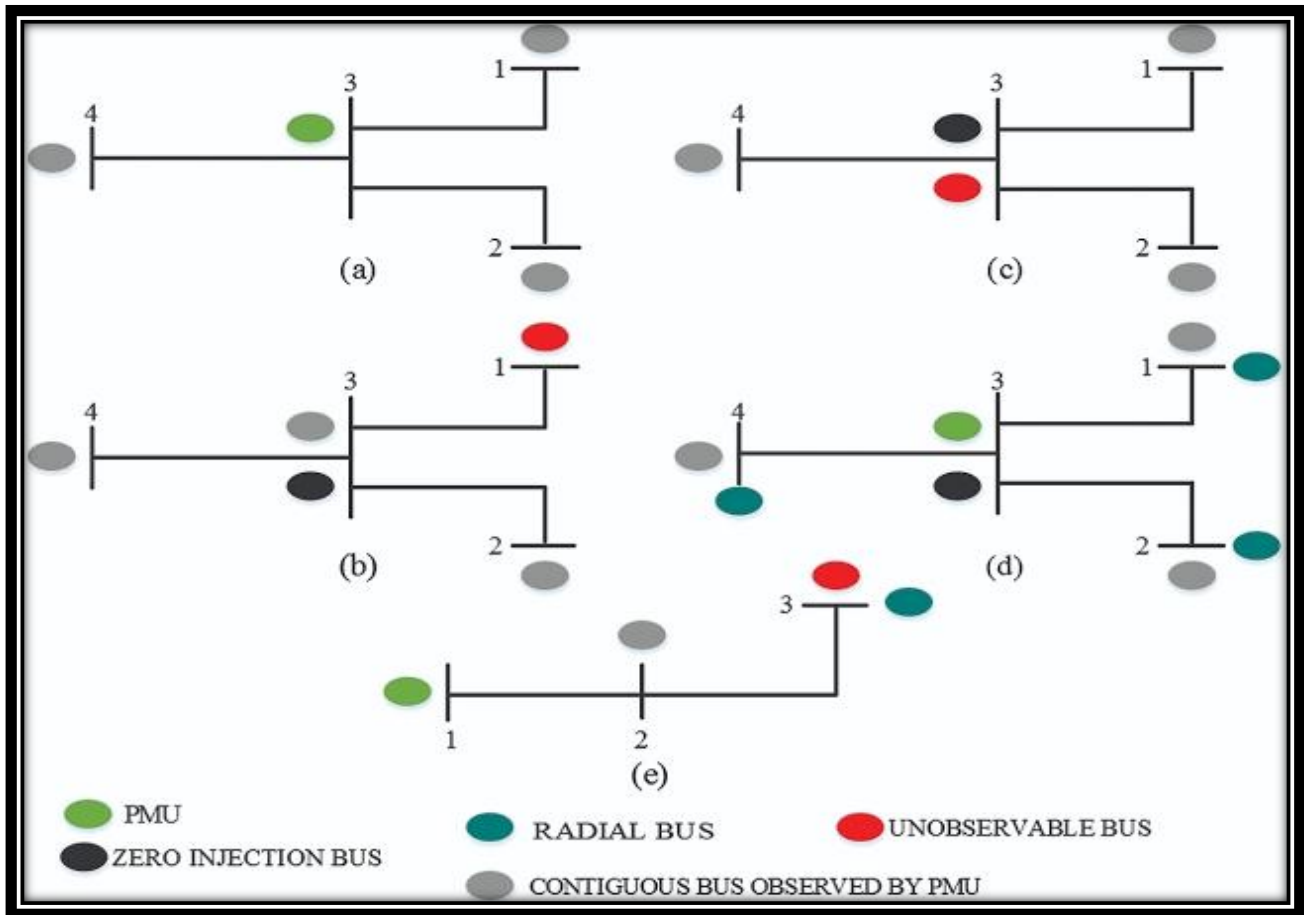


Figure (2-9) : Observabilité topologique du système d'alimentation à l'aide de l'emplacement du PMU.

- L'emplacement d'une PMU sur un bus observe ce bus ainsi que tous les autres bus qui y sont directement connectés, comme le montre la Figure (2-9-a).
- Si un ZIB observable est entouré de tous les bus observables sauf un, le bus non observable peut être observé en appliquant le KCL à ce ZIB. Figure (2-9-b).
- Si un ZIB non observé est entouré de tous les bus observables, elle peut être rendue observable en appliquant KCL à ZIB. Figure (2-9-c).
- Si un bus radial est connecté à un ZIB, il n'est pas nécessaire de placer une PMU sur le ZIB adjacent à ce bus Figure (2-9-d).

- Si deux bus radiaux ou plus sont connectés au même ZIB, comme indiqué à la Figure (2-9-e), une PMU doit être placée sur le ZIB pour observer tous les bus radiaux qui lui sont connectés [21].

5. Conclusion :

Une des solutions pour fiabiliser le réseau est d'augmenter le phaseur synchronisé, également appelé unité de mesure de phase (PMU). Le PMU est situé à l'intersection de la ligne de transmission et d'une partie du réseau de distribution, et peut mesurer la phase du courant 30 fois par seconde, et sa fréquence est 120 fois celle du système actuel. Utilisez ensuite le système GPS pour comparer les informations collectées les unes aux autres, de sorte que des cartes en temps réel de chaque phase du réseau électrique puissent être dessinées.

En utilisant ces données, vous pouvez estimer la pression sur le réseau et synchroniser les lignes de transmission entre elles. Le système devrait également être en mesure d'estimer le risque de panne et d'éviter les pannes de courant à grande échelle pour parvenir à une meilleure optimisation des lignes de transport, promouvoir l'intégration de l'énergie intermittente et enfin parvenir à une amélioration de la sécurité du réseau.

Chapitre 3

Méthode d'optimisation

1. Introduction :

Les ingénieurs sont quotidiennement confrontés à des problèmes techniques de plus en plus complexes, qui apparaissent dans des domaines très différents, tels que le traitement d'image, la conception de systèmes mécaniques, la planification et l'exploitation du réseau électrique, etc. Le problème à résoudre peut généralement être exprimé sous la forme générale d'un problème d'optimisation. La définition des problèmes d'optimisation est généralement complétée par des données de contraintes:

Respectez ces contraintes, sinon la solution ne sera pas réalisable [22]. Compte tenu des lacunes des méthodes classiques, les méthodes pour résoudre de tels problèmes ont incité les chercheurs à proposer des solutions de plus en plus efficaces, parmi les quelles on peut utiliser des méta-heuristiques. Ce dernier comprend également la logique floue, les méthodes de recherche tabou, les algorithmes d'optimisation des essaims de particules, les algorithmes génétiques, méthode du simplexe et évolution différentielle.

2. Techniques d'optimisation :

La figure (3-1) montre les trois étapes du processus d'optimisation [24] [25]: analyse, synthèse et évaluation. Dans un premier temps, il faut analyser le problème et faire un certain nombre de choix a priori: variables du problème, espace de recherche, fonction objectif et méthode d'optimisation. Une fois ces différents choix effectués, la méthode choisie synthétisera les solutions possibles, puis les évaluera, puis les éliminera jusqu'à ce qu'une solution acceptable soit obtenue.

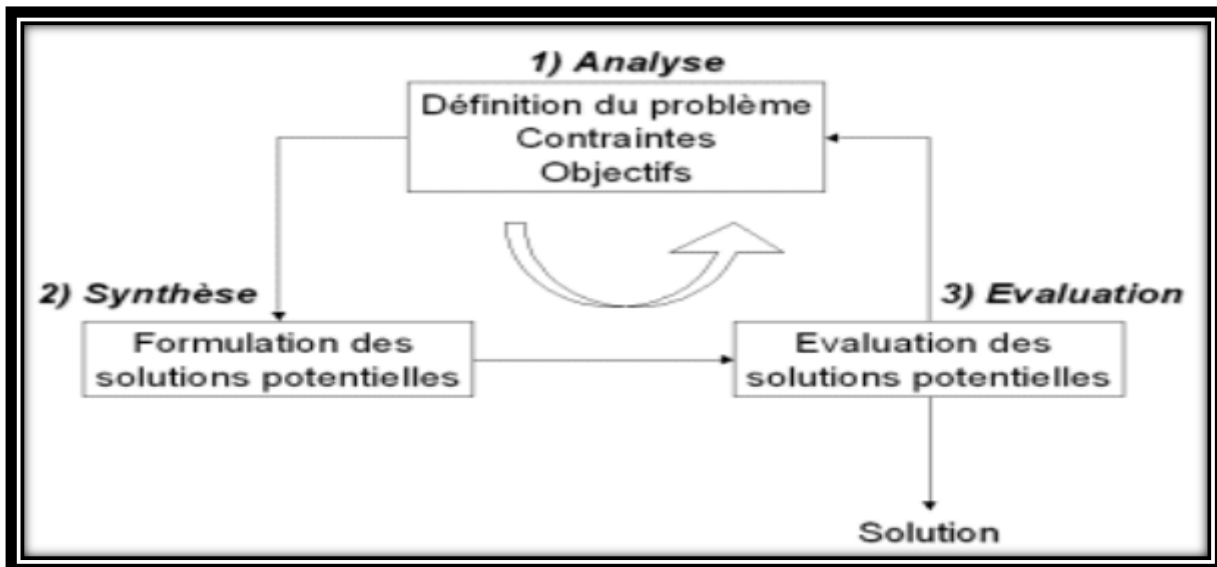


Figure (3-1) : Les étapes de processus d'optimisation.

2.1 Variable du problème :

Les variables qui définissent le problème sont déterminées par l'utilisateur. Il peut être dans l'intérêt de l'utilisateur de modifier un grand nombre de paramètres pour augmenter le degré de liberté de l'algorithme pour découvrir de nouvelles solutions. Ces variables peuvent avoir différentes propriétés.

2.2 Espace de recherche :

Dans certaines méthodes d'optimisation (comme les stratégies d'évolution), l'espace de recherche est infini: seule la population initiale est restreinte à un espace limité, mais dans le cas de Monte Carlo et des algorithmes génétiques, il est généralement nécessaire de définir un espace de recherche limité .

2.3 Fonction objective :

La quantité à optimiser peut être, par exemple, la consommation, le rendement, le coefficient de transmission, etc. Les algorithmes d'optimisation doivent généralement définir une fonction qui tient compte de la corrélation entre la quantité à optimiser et la solution potentielle. Cette fonction est appelée fonction adaptative. Quelle que soit la façon dont l'algorithme converge, il convergera vers la direction optimale de la fonction. Ou sa définition. Une fois cette fonction définie, vous devez choisir une méthode qui convient au problème actuel.

3. Méthodes d'optimisation :

La plupart des problèmes d'optimisation sont des problèmes difficiles, il n'y a donc pas de solution algorithmique efficace pour toutes les données. Compte tenu de l'importance de ces problèmes, de nombreuses solutions ont été développées. Ces méthodes peuvent être classées conformément à la figure (3-2) [33].

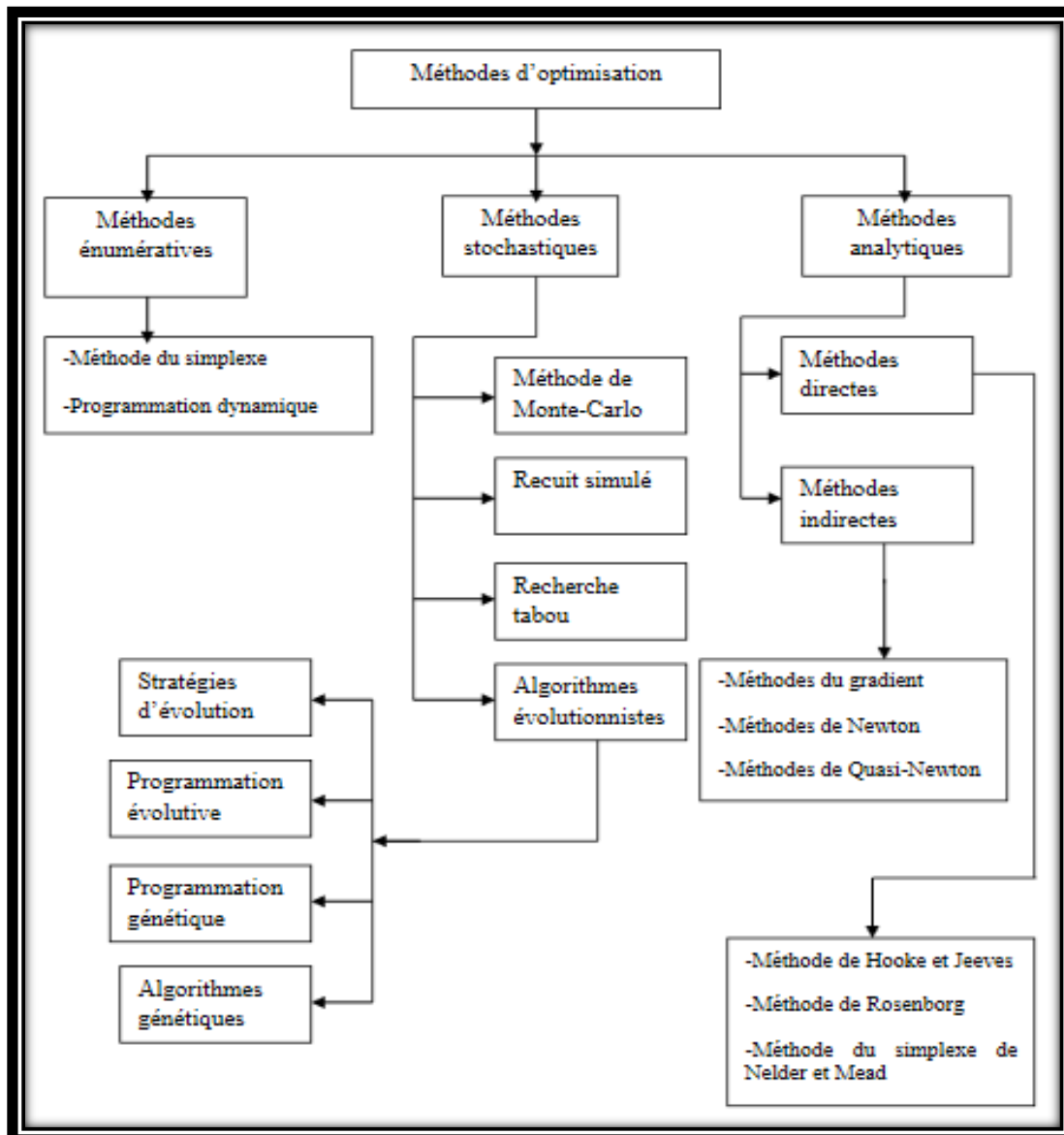


Figure (3-2) : Principales méthodes d'optimisation.

4. Les algorithmes génétiques :

L'algorithme génétique s'inspire de la sélection naturelle et de la génétique et est une méthode d'optimisation stochastique bien connue. Ils utilisent les principes de survie personnelle les plus appropriés. C'est J. Halland [33], qui a jeté les bases théoriques des

algorithmes génétiques, du paradigme darwinien de l'évolution naturelle au paradigme de l'évolution artificielle. Au milieu des années 80, G. Les travaux de Goldberg [34] ont fait de l'algorithme génétique une méthode d'optimisation réalisable, efficace et non spécifique, qui a franchi une nouvelle étape [35]. Il est nécessaire de définir quelques termes de base rencontrés dans la littérature [27]:

- **Individu** : solution potentielle du problème.
- **Chromosome** : solution potentielle du problème sous une forme codée (forme de chaîne de caractères).
- **Population** : ensemble fini d'individus (de solution).
- **Gène** : partie élémentaire (caractère) non divisible d'un chromosome.
- **Fitness** : terme anglo-saxon qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (donc d'une solution).

4.1 Mécanisme de recherche :

N'oubliez pas que la génétique représente une personne par code, c'est-à-dire qu'un ensemble de données (appelées chromosomes) peut identifier pleinement cette personne. La propagation dans cette région représente un mélange aléatoire des chromosomes de deux individus qui ont donné naissance à des enfants individuels avec de nouvelles empreintes génétiques héritées de leurs parents. Ensuite, par l'apparition de nouveaux chromosomes qui n'existent pas chez les parents, la mutation génétique est caractérisée dans le code génétique de l'enfant.

Le phénomène génétique de ce type de «mutant» est rare, mais il peut toujours mieux s'adapter au milieu naturel, ce qui peut expliquer le changement de morphologie des espèces. La disparition de certaines espèces s'explique par la loi de survie, selon laquelle seuls les individus les plus adaptés peuvent avoir une durée de vie suffisante pour produire une progéniture. Les individus maladaptés auront tendance à disparaître.

C'est un choix naturel qui a conduit à une adaptabilité croissante des personnes de génération en génération. On peut conclure que la fonction de l'algorithme génétique est basée sur les étapes suivantes [23].

4.2 Codage et population initiale :

Tout d'abord, nous devons représenter les différents états possibles de la variable pour laquelle nous voulons trouver la meilleure valeur sous forme AG utilisable : c'est le code. Cela permet d'établir un lien entre la valeur de la variable et les individus de la population, imitant ainsi la transcription génotype-phénotype qui existe dans le monde réel. Il existe trois principaux types de codage: le codage binaire, le codage en nombre réel et le codage en base n .

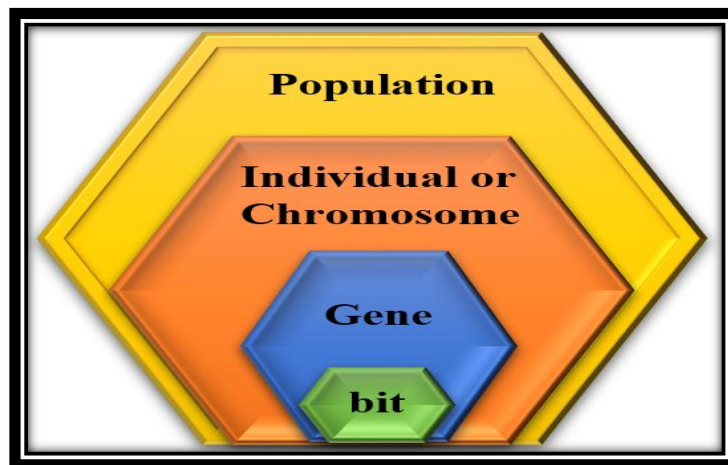


Figure (3-3) : Les quatre niveaux d'organisation des AG.

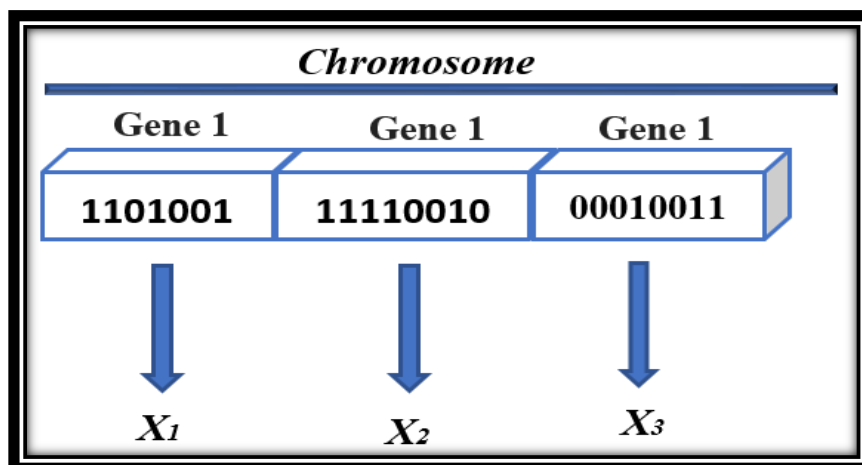


Figure (3-4) : Illustration du codage des variable.

4.2.1 Codage binaire :

Ce code est le premier code utilisé dans le champ GA. Elle présente plusieurs avantages: la plus petite lettre **[0,1]**, le développement facile des opérateurs génétiques, et l'existence de bases théoriques (théorie des graphes).

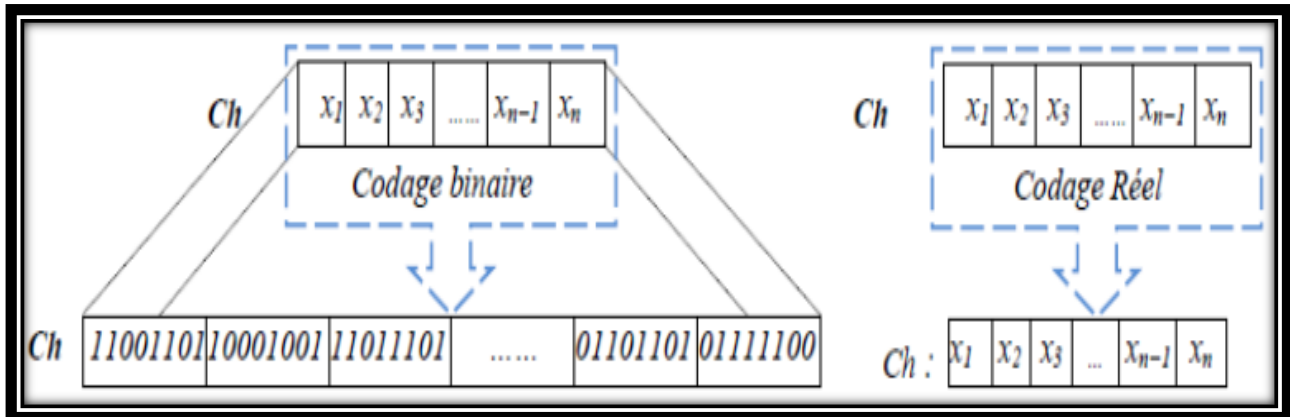


Figure (3-5) : Le codage réel et le codage binaire.

4.2.2 Codage réel :

Il a l'avantage de la simplicité. En fait, chaque chromosome est un vecteur dont les composants sont les paramètres du processus d'optimisation. Par exemple, si nous recherchons la valeur optimale d'une fonction de n variables $f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$, nous pouvons simplement utiliser le chromosome ch contenant n variables.

Avec ce type de codage, le processus d'évaluation des chromosomes sera plus rapide en raison du manque d'étapes de transcoding (du binaire aux nombres réels). Les résultats donnés dans montrent que les vraies représentations conduisent généralement à une meilleure précision et à des gains significatifs en temps d'exécution [34].

4.3 Les opérateurs utilisés par les AG :

4.3.1 La sélection :

Premièrement, on génère une population de taille aléatoire avec un codage approprié généralement binaire. Chaque individu (chromosome) désigne par une chaîne de bit codée, qui représente des gènes qui sont les variables de la fonction coût. Chaque bit est représenté avec deux valeurs 0 ou 1 appelées allèle. Cette opération est inspiré à la fois de la

théorie d'évolution des espèces : les individus ayant une meilleure adaptation (fitness) ont plus de la chance de recopier dans la deuxième génération, autrement dit les individus les plus forts se survivent avec une probabilité croissante [23].

4.3.2 Le croisement :

En premier lieu, le but de cette opération est de créer une diversité dans notre population car l'exploitation (recopiage du meilleur chromosome) ne conduit pas à une exploration optimale de toute l'espace de recherche, en réalité on n'explore qu'une partie de notre espace si les individus sont similaires l'opérateur de croisement n'est qu'une juxtaposition des meilleures portions des anciens chromosomes dont le but d'arriver à générer de bons nouveaux chromosomes et le processus se répète jusqu'à la convergence vers la solution optimale (meilleure adaptation).

Il existe un grand nombre d'opérateurs de croisement, les plus classiques dans le cadre de l'optimisation stochastique sont figure (3-6) :

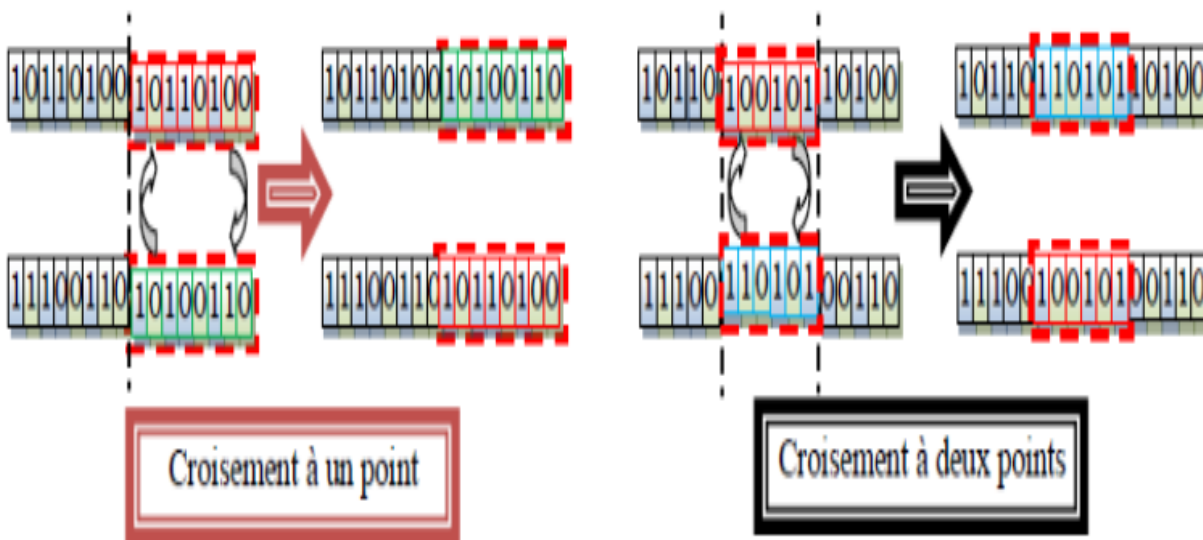


Figure (3-6) : Représentation de l'opération du croisement.

- **Le croisement à un point** : un site de croisement est choisi aléatoirement sur le chromosome, puis les chaînes de code sont échangées autour de ce site ;
- **Le croisement à deux points** : deux sites de croisement sont choisis, et les portions de code sont échangées alternativement ;

- **Le croisement uniforme** : chaque gène d'un descendant est choisi aléatoirement parmi les gènes des parents ayant la même position dans le chromosome. Assez souvent le second descendant est construit en prenant les choix complémentaires du premier. D'autres types de croisements existent, comme par exemple le croisement multipointou bien des croisements spécialisés comme dans le cas du problème du voyageur de commerce ou des problèmes d'ordonnancement qui tiennent compte de la structure particulière du codage employé.

4.3.3 L'opérateur de mutation :

De façon schématique, la mutation effectue une perturbation mineure du chromosome de l'individu. Par exemple, dans le cas d'un codage binaire un site de mutation est choisi aléatoirement, et le bit correspondant est inversé figure (3-8).

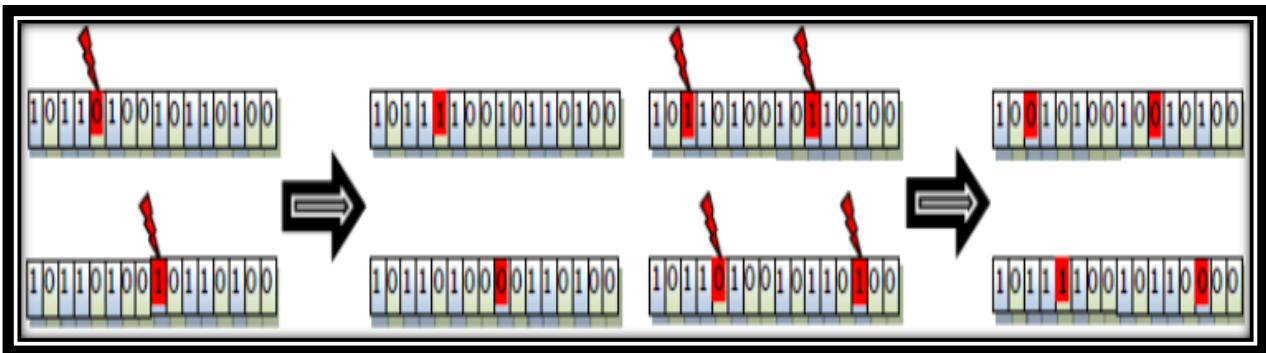


Figure (3-7) : Représentation de l'opération de mutation.

L'effet de cet opérateur est de « troubler » la tendance à la concentration induite par la sélection et le croisement de façon à laisser la population de la possibilité de « visiter » d'autres régions de l'espace de recherche.

La probabilité de mutation reste usuellement très faible et très souvent, elle est maintenue à une valeur fixée tout au long de l'évolution de l'AG. Des schémas génétiques fondés sur une probabilité de mutation variable qui décroît au fur et à mesure de l'évolution de l'AG sont aussi utilisés. D'un point de vue théorique, il a été prouvé qu'un tel AG converge vers l'optimum global de son espace de recherche pour une taille de population finie, si sa probabilité de mutation $p_m(k)$ décroît à chaque génération en respectant la borne minimale.

4.3.4 Elitisme :

La stratégie élitiste consiste à conserver le meilleur individu à chaque génération. Ainsi l'élitisme empêche l'individu le plus performant de disparaître au cours de la sélection ou que de bonnes combinaisons soient affectées par les opérateurs de croisement et de mutation.

Après chaque évaluation de la performance des individus à une génération donnée, le meilleur individu de la génération précédente ($t-1$) est réintroduit dans la population si aucun des individus de la génération t n'est meilleur que lui. Par cette approche, la performance du meilleur individu de la population courante est monotone de génération en génération. Il apparaît que l'élitisme améliore considérablement les performances de l'algorithme génétique pour certaines classes de problèmes, mais peut les dégrader pour d'autres classes, en augmentant le taux de convergences prématurées. Actuellement, les algorithmes élitistes obtiennent de meilleurs résultats sur un grand nombre de problèmes multi-objectifs [28][35].

4.3.5 Réglage des paramètres d'un AG :

L'élaboration d'un algorithme génétique nécessite le réglage de certains paramètres. Ce réglage a une influence sur la convergence de l'algorithme génétique et les résultats obtenus. Cependant, il n'existe pas de règle spécifique pour ajuster les paramètres d'un AG, et ils sont souvent choisis de manière empirique. Quelques remarques sont alors à soulever [27]:

- **Probabilité de croisement** : la probabilité de croisement a une influence considérable sur la vitesse de convergence d'un algorithme génétique. Plus elle est grande et plus elle favorise la recombinaison des individus tout en favorisant de tomber dans un optimum local. Les valeurs usuelles pour ce paramètre varient entre 0.6 à 0.95.
- **Probabilité de mutation** : elle doit être assez faible par rapport à celle du croisement de manière à ne pas perturber l'évolution de l'algorithme. Une valeur élevée transformera l'algorithme en une recherche aléatoire, alors qu'une valeur très faible rendra impossible l'extraction des optima locaux. Les valeurs usuelles pour ce paramètre varient de 0.001 à 0.2.

- **Taille de la population** : augmenter la taille de la population permet d'augmenter sa diversité et réduit la probabilité d'une convergence prématurée vers un optimum local, mais en même temps elle augmente le temps nécessaire pour converger vers les régions optimales de l'espace de recherche.

4.4 Algorithme d'optimisation :

Un algorithme génétique se basant sur les étapes représentantes par l'organigramme suivant:

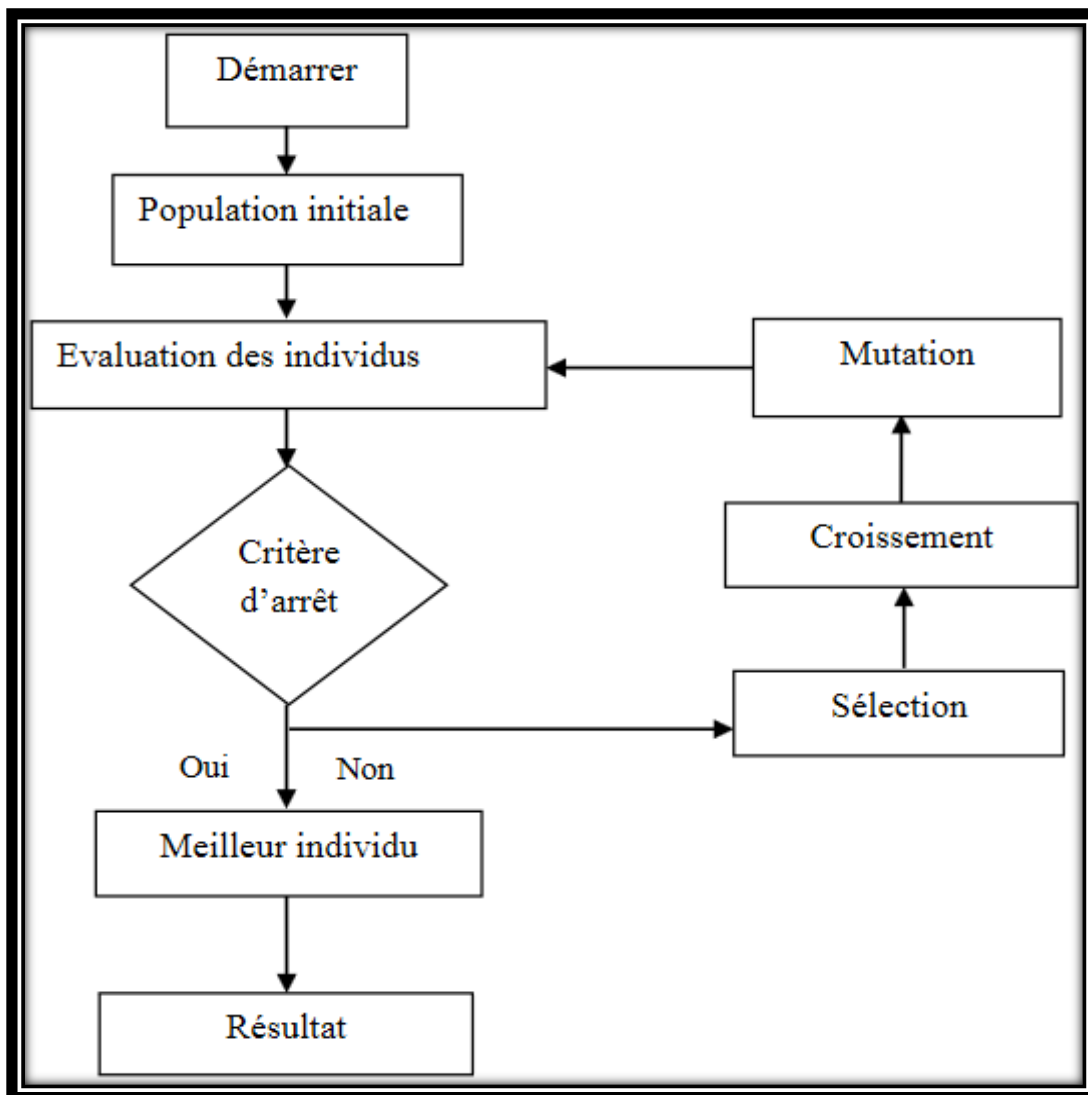


Figure (3-8) : Organigramme d'un algorithme génétique [35].

5. Algorithmes évolutionnaires :

Les algorithmes évolutionnaires (Evolutionary Algorithms ou Evolutionary Computation) est un discipline de l'intelligence artificielle, sont des algorithmes d'optimisation stochastique simulant l'évolution naturelle. Ces algorithmes sont inspirés du paradigme de l'évolution darwinienne des espèces, telle qu'elle a été dénie par Charles Darwin. Les espèces naturelles sont en compétition pour survivre, et seules les plus aptes survivent à la sélection naturelle. Au cours de leur évolution, ces même individus auront la possibilité de transmettre leurs patrimoine génétique à la génération suivante par reproduction. L'itération de ce principe pendant des générations permet de faire apparaître et de sélectionner dans la population des individus plus adaptés à leur environnement [33].

5.1 Algorithmes à évolution différentielle :

L'évolution différentielle (Differential evolution DE) est une métaheuristique stochastique d'optimisation qui a été inspirée par les algorithmes génétiques et des stratégies évolutionnaires combinées avec une technique géométrique de recherche. Les algorithmes génétiques changent la structure des individus en utilisant la mutation et le croisement, alors que les stratégies évolutionnaires réalisent l'auto-adaptation par une manipulation géométrique des individus. Ces idées ont été mises en oeuvre grâce à une opération simple, mais puissante, de mutation de vecteurs, proposée en 1995 par K. Price et R. Storn [36]. Même si, à l'origine, la méthode de l'évolution différentielle était conçue pour les problèmes d'optimisation continus et sans contraintes, ses extensions actuelles peuvent permettre de traiter les problèmes à variables mixtes et gèrent les contraintes non linéaires [37].

Dans la méthode DE, la population initiale est générée par tirage aléatoire uniforme sur l'ensemble des valeurs possibles de chaque variable. Les bornes inférieures et supérieures des variables sont spécifiées par l'utilisateur selon la nature du problème. Après l'initialisation, l'algorithme effectue une série de transformations sur les individus, dans un processus appelé évolution. [38] La population contient N individus. Chaque individu \mathbf{x}_i, \mathbf{G} est un vecteur de dimension \mathbf{D} , où \mathbf{G} désigne la génération :

$$\mathbf{x}_{i, \mathbf{G}} = (\mathbf{x}_{1i, \mathbf{G}}, \mathbf{x}_{2i, \mathbf{G}}, \dots, \mathbf{x}_{\mathbf{D}i, \mathbf{G}}) \quad \text{avec } i = \{1, 2, \dots, N\} \quad (3.2)$$

Le standard DE utilise trois techniques (mutation, croisement et sélection) comme les algorithmes génétiques. A chaque génération, l'algorithme applique successivement ces trois opérations sur chaque vecteur pour produire un vecteur d'essai (trial vector) :

$$\mathbf{u}_{i,G+1} = (\mathbf{u}_{1i,G+1}, \mathbf{u}_{2i,G+1}, \dots, \mathbf{u}_{Di,G+1}) \quad \text{avec } i = \{1, 2, \dots, N\} \quad (3.3)$$

Une opération de sélection permet de choisir les individus à conserver pour la nouvelle génération ($G + 1$).

5.1.1 Mutation :

Pour chaque vecteur courant $x_{i,G}$, on génère un vecteur mutant $v_{i,G+1}$ qui peut être créé en utilisant une des stratégies de mutation suivantes :

- **Rand/1 :**

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{r_1,G} + F(\mathbf{x}_{r_2,G} - \mathbf{x}_{r_3,G}) \quad (3.4)$$

- **Best/1 :**

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{best,G} + F(\mathbf{x}_{r_1,G} - \mathbf{x}_{r_2,G}) \quad (3.5)$$

- **Current to best/1 :**

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{i,G} + F(\mathbf{x}_{r_1,G} - \mathbf{x}_{r_2,G}) + F(\mathbf{x}_{best,G} - \mathbf{x}_{i,G}) \quad (3.6)$$

- **Best/2 :**

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{best,G} + F(\mathbf{x}_{r_1,G} - \mathbf{x}_{r_2,G}) + F(\mathbf{x}_{r_3,G} - \mathbf{x}_{r_4,G}) \quad (3.7)$$

- **Rand/2 :**

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{r_1,G} + F(\mathbf{x}_{r_2,G} - \mathbf{x}_{r_3,G}) + F(\mathbf{x}_{r_4,G} - \mathbf{x}_{r_5,G}) \quad (3.8)$$

Les indices $r_1, r_2, r_3, r_4 \dots r_N \in \{1, 2, \dots, N\}$ sont des entiers aléatoires et tous différents. Ils sont également choisis différents de l'indice courant i . $\mathbf{x}_{best,G}$ est le meilleur individu à la G^{me} génération. $F \in [0, 2]$ est une valeur constante, appelée differential weight, qui contrôle l'amplification de la variation différentielle de $(\mathbf{x}_{ri,G} - \mathbf{x}_{rj,G})$.

5.1.2 Croisement :

Après la mutation, une opération de croisement binaire forme le vecteur d'essai $u_{ij,G+1}$, selon le vecteur $x_{ij,G}$ et le vecteur mutant correspondant $v_{ij,G+1}$. L'opération de croisement est introduite pour augmenter la diversité des vecteurs de paramètres perturbés. Le nouveau vecteur $u_{ij,G+1}$ est donné par la formule suivante :

$$u_{ij,G+1} = \begin{cases} u_{1i,G+1} & \text{si } (randb(j) \leq CR) \quad \text{ou } j = rnbr(i) \\ x_{ji,G} & \text{pour tout } j \in 1, 2, \dots, D \\ x_{ji,G} & \text{si } (randb(j) > CR) \quad \text{et } j \neq rnbr(i) \end{cases} \quad (3.9)$$

Où $randb(j)$ est la j^{me} valeur procurée un générateur de nombre aléatoire uniforme appartenant à l'intervalle $[0,1]$. CR est le coefficient de croisement qui appartient à l'intervalle $[0,1]$ et est déterminé par l'utilisateur. $rnbr(i)$ est un indice choisi au hasard dans l'ensemble $\{1, 2, \dots, N\}$.

5.1.3 Sélection :

Pour décider quel vecteur, parmi $u_{i,G+1}$ ou $x_{i,G}$, doit être choisi dans la génération $G+1$, on doit comparer les valeurs de fonction du coût de ces deux vecteurs. En effet, on garde le vecteur ayant la plus petite valeur de fonction du coût en cas de minimisation. Le nouveau vecteur $x_{i,G+1}$ est choisi selon l'expression suivante :

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} u_{i,G+1} & \text{si } f(u_{i,G+1}) < f(x_{i,G}) \\ x_{i,G} & \text{Sinon} \end{cases} \quad (3.10)$$

Il est clair qu'un bon choix des principaux paramètres de l'algorithme (taille de la population N , facteur de mutation F et facteur de croisement CR) contribue de façon importante à l'efficacité de la méthode. L'auto-adaptation de ces paramètres paraît donc intéressante pour l'amélioration de l'algorithme.

6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes méthodes d'optimisation, le principe de fonctionnement des algorithmes génétiques (AG) et algorithmes à évolution différentielle, et méthode du simplexe. Ce dernier est utilisé dans notre travail afin d'optimiser le réseau électrique avec des systèmes PMU.

Chapitre 4

Application et résultats

1. Introduction :

Les chapitres précédents montrent que La gestion des réseaux électriques est devenue très complexe par suite la croissance de leurs tailles, c'est pour ça que les systèmes de surveillance a grande surface (WAMS) sont devenus un moyen très importants dans le réseau électrique.

En même temps nous avons parlé sur l'appareille de mesure PMU et aussi comment obtenir l'emplacement optimale des PMU pour que le réseau soit observable ce qui assure une bon détection de défauts dans le réseau choisi.

L'objectif de ce chapitre est de trouver le meilleur emplacement possible des PMUs à l'aide du MATLAB, se concentre sur la simulation de l'application de l'outil d'optimisation comme : l'algorithme génétique (GA), L'évolution différentiel (DE). nous proposons à étudier de réseaux électrique : le réseau de 14-nœuds et le réseau de 39-nœuds (New England).

2. Test d'application :

Dans la première manière on utilise le PSAT comme référence puisque ce programme donne de résultats directs pour des exemples des réseaux .

Il deuxièmes manières on utilise les algorithmes d'optimisation : algorithmes génétique et l'évolution différentielle sur l'emplacement optimal du PMU.

2.1 Fonction objectif :

Il existe des fonctions objectif, d'abord pour minimiser le cout des PMUs installées dans les buses, cette fonction est présentée dans l'équation (2.5) et les contraintes sont définies par des équations (2.6 aux 2.8) respectivement.

3. Application au réseau 14 nœuds :

3.1 Emplacement des PMUs :

Un schéma simple de l'IEEE système de test à 14-nœuds est montré dans figure (4-1). Ce système compose d'une région. Il se compose des 5 générateurs (numérotés : 1, 2, 3, 6 et 8) avec de 20 lignes, avec un seul nœud d'injection zéro dans ce réseau (nœud 7).

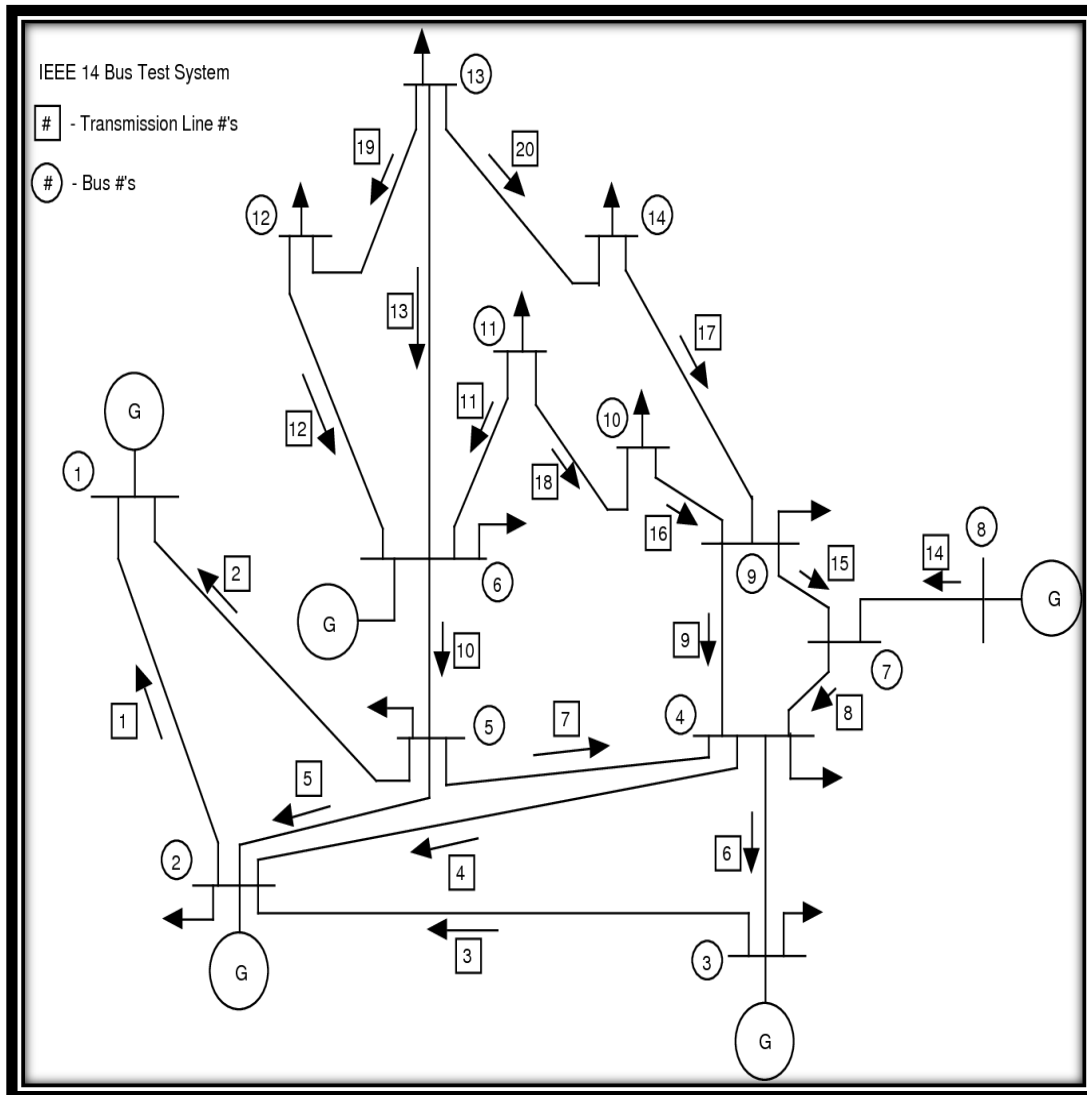


Figure (4-1) : Représentation unifilaire du réseau étudié (Réseau 14 bus : 5 générateurs, 14 nœuds).

3.1.1 Mesures avec PSAT :

Le PSAT a donné les résultats suivant :

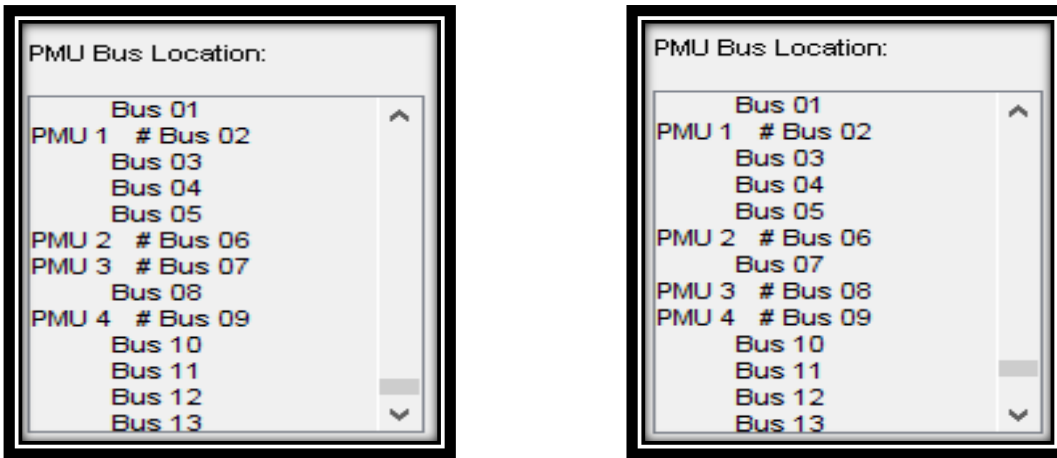


Figure (4-2) : Les solutions de l’emplacement sur le PSAT.

D’après le PSAT on obtient deux solutions d’emplacement optimal dans lequel le system soit observable.

Nombre de solution	Ensemble de solution			
S1	2	6	7	9
S2	2	6	8	9

Tableau (4.1) : les ensembles de solution par le PSAT.

3.2 Emplacement sans tenir compte de nœud d’injection zéro :

3.2.1 Méthode de l’algorithme génétique :

Compte tenu du système à 14-nœuds illustré à la figure (4-1), le problème de localisation du PMU peut être exprimé comme suit :

$$\min x_1 + x_2 + \dots + x_{14} \tag{4.1}$$

Les contraintes sont écrites comme suite :

$$\text{Bus 1 : } x_1 + x_2 + x_5 \geq 1 \tag{4.2}$$

$$\text{Bus 2 : } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 1 \tag{4.3}$$

$$\text{Bus 3 : } x_2 + x_3 + x_4 \geq 1 \quad (4.4)$$

$$\text{Bus 4 : } x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_9 \geq 1 \quad (4.5)$$

$$\text{Bus 5 : } x_1 + x_2 + x_4 + x_5 \geq 1 \quad (4.6)$$

$$\text{Bus 6 : } x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{13} \geq 1 \quad (4.7)$$

$$\text{Bus 7 : } x_4 + x_7 + x_8 + x_9 \geq 1 \quad (4.8)$$

$$\text{Bus 8 : } x_7 + x_8 \geq 1 \quad (4.9)$$

$$\text{Bus 9 : } x_4 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{14} \geq 1 \quad (4.10)$$

$$\text{Bus 10 : } x_9 + x_{10} + x_{11} \geq 1 \quad (4.11)$$

$$\text{Bus 11 : } x_6 + x_{10} + x_{11} \geq 1 \quad (4.12)$$

$$\text{Bus 12 : } x_6 + x_{12} + x_{13} \geq 1 \quad (4.13)$$

$$\text{Bus 13 : } x_6 + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq 1 \quad (4.14)$$

$$\text{Bus 14 : } x_9 + x_{13} + x_{14} \geq 1 \quad (4.15)$$

Dans le matlab un premier M File on doit déclarer les contraintes comme représente les captures suivantes :

```

2  function y=pmu(x)
3  %BUS 1:
4
5  y=sum(x);
6  if x(1)+x(2)+x(5)<1
7  y=999; return
8  end
9  %BUS 2:
10 %x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5)<=1
11 if x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5)<1
12 y=999; return
13 end
14 %BUS 3:
15 if x(2)+x(3)+x(4)<1
16 y=999; return
17 end
18 %BUS 4:
19 if x(2)+x(3)+x(4)+x(5)+x(7)+x(9)<1
20 y=999; return
21 end
22 %BUS 5:
23 if x(1)+x(2)+x(4)+x(5)<1
24 y=999; return
25 end
26 %BUS 6:
27 if x(6)+x(11)+x(12)+x(13)<1
28 y=999; return
29 end
30 %BUS 7:
31 if x(4)+x(7)+x(8)+x(9)<1
32 y=999; return
33
34 %BUS 8:
35 if x(7)+x(8)<1
36 y=999; return
37 end
38 %BUS 9:
39 if x(4)+x(7)+x(9)+x(10)+x(14)<1
40 y=999; return
41 end
42 %BUS 10:
43 if x(9)+x(10)+x(11)<1
44 y=999; return
45 end
46 %BUS 11:
47 if x(6)+x(10)+x(11)<1
48 y=999; return
49 end
50 %BUS 12:
51 if x(6)+x(12)+x(13)<1
52 y=999; return
53 end
54 %BUS 13:
55 if x(6)+x(12)+x(13)+x(14)<1
56 y=999; return
57 end
58 %BUS 14:
59 if x(9)+x(13)+x(14)<1
60 y=999; return
61 end
    
```

Figure (4-3) : Programmation sur MATLAB.

Et dans un autres M File on déclare la fonction objectif global du système concerne (IEEE 14-Bus) :

```

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
- 1.0 + ÷ 1.1 x % %
1 - LB=zeros(1,14);
2 - UB=ones(1,14);
3 - options=gaoptimset('PopulationType', 'bitstring', 'Generations',500000, 'FitnessLimit',4, 'PlotFcns',@gaplotbestf)
4 - [x,f]=ga(@pmu,14,[],[],[],[],LB,UB,[],options)
    
```

Figure (4-4) : déclaration fonction objectif sur MATLAB.

Les résultats obtenus avec l’algorithme génétique pour les solutions aléatoires sont représenté par le tableau ci-dessus :

Nombre de solution	Ensemble de solution			
S1	2	6	7	9
S2	2	6	8	9
S3	2	8	10	13
S4	2	7	10	13
S5	2	7	11	13

Tableau (4.2) : les ensembles de solution de l'algorithme génétique.

D'après les résultats obtenue sur l'algorithme génétique, il y'a parmi cinq solutions, la solution d'emplacement optimale est S_1 : [2, 6, 7, 9]. Il montre que le système est entièrement observable avec seulement quatre PMU installés sur quatre nœuds.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> x=[0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0]
x =
     0     1     0     0     0     1     1     0     1     0     0     0     0     0
>> x=[0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]
x =
     0     1     0     0     0     1     0     1     1     0     0     0     0     0
>> |

```

Figure (4-5) : Forme des résultats obtenus par MATLAB.

3.2.2 Méthode d'évolution différentielle :

Chacune des inégalités ci-dessus garantit l'observabilité sur le nœud correspondant. Par combiner ces nœuds observables.

La figure (4-6) représentée les résultats obtenus de la minimisation de la fonction objective dans sans injection zéro (ZIB) :

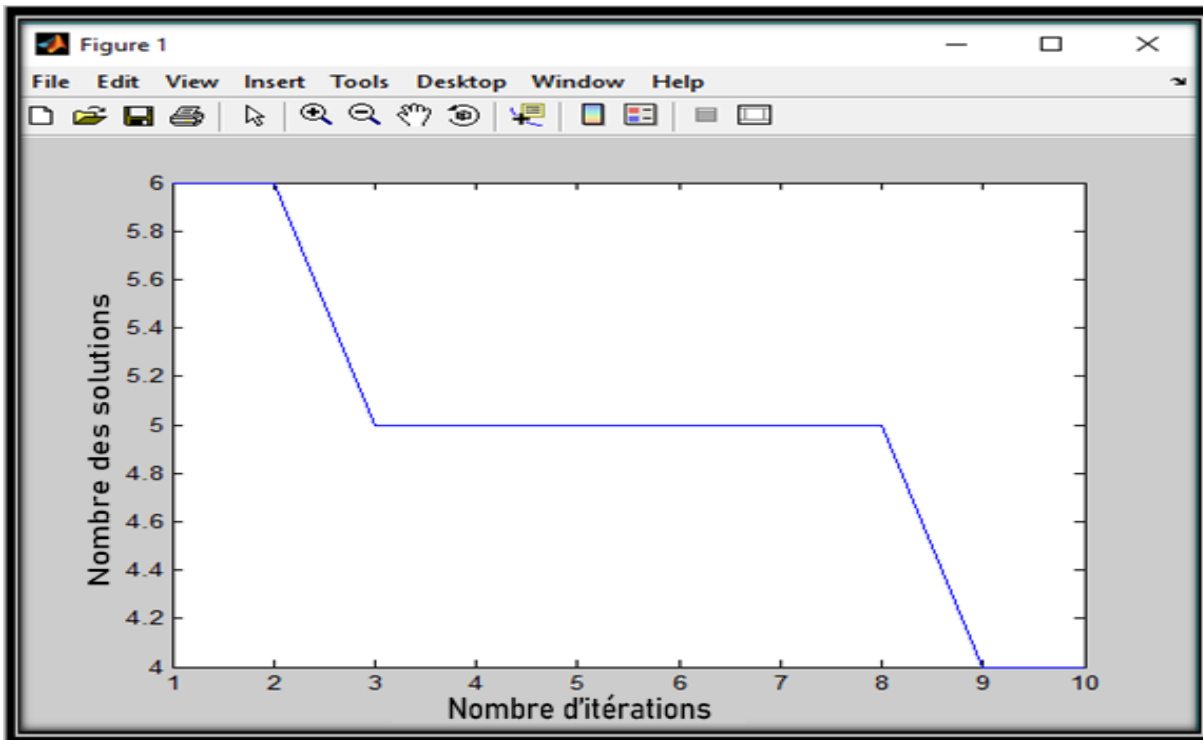


Figure (4-6) : La fonction objectif pour résoudre l'OPP de PMU pour 14 bus sans ZIB.

Sur le tableau (4.3) on obtient quatre solutions d'emplacement optimal dans lequel le system soit observable :

Nombre de solution	Ensemble de solution			
S1	2	6	7	9
S2	2	6	8	9
S3	2	6	10	13
S4	2	6	11	13

Tableau (4.3) : les ensembles de solution par le DE.

D'après les résultats obtenue par le programme DE, il y'a parmi quatre solutions, la solution d'emplacement optimale est S_1 : [2, 6, 7, 9]. Il montre que le système est entièrement observable avec seulement quatre PMU installés sur quatre nœuds.

3.3 Emplacement avec considérant des nœuds d'injection zéro :

Au nœud d'injection zéro, aucun nœud n'est injecté dans le système. Le nœud 7 est un nœud d'injection zéro. La figure (4-2) montre les nœuds voisins du nœud d'injection zéro :

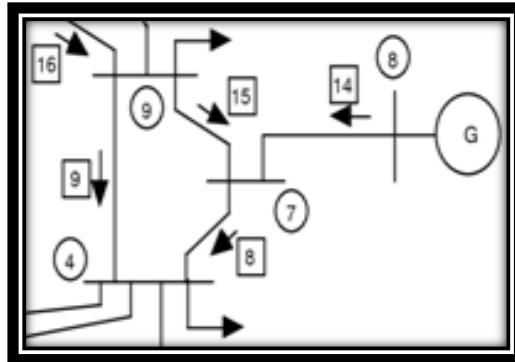


Figure (4-7) : Les nœuds adjacents pour nœud d'injection zéro.

Pour les systèmes de 14-nœud IEEE, les nœuds 4, 8 et 9 sont des nœuds voisins au nœud 7. Les contraintes de l'équation (4.8) et les équations (4.5), (4.9) et (4.10), qui appartiennent aux nœuds voisins sont modifiés comme suit :

$$\text{Bus 4 : } x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_9 \geq u_4 \quad (4.16)$$

$$\text{Bus 7 : } x_4 + x_7 + x_8 + x_9 \geq u_7 \quad (4.17)$$

$$\text{Bus 8 : } x_7 + x_8 \geq u_8 \quad (4.18)$$

$$\text{Bus 9 : } x_4 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{14} \geq u_9 \quad (4.19)$$

Les contraintes suivantes ont été ajoutées pour le nœud d'injection zéro, ce qui signifie que dans le cas de trois nœuds observables, le quatrième doit être observé.

$$u_4 + u_7 + u_8 + u_9 \geq 3 \quad (4.20)$$

La figure (4-8) représentée les résultats obtenus de la minimisation de la fonction objective dans injection zéro (ZIB) :

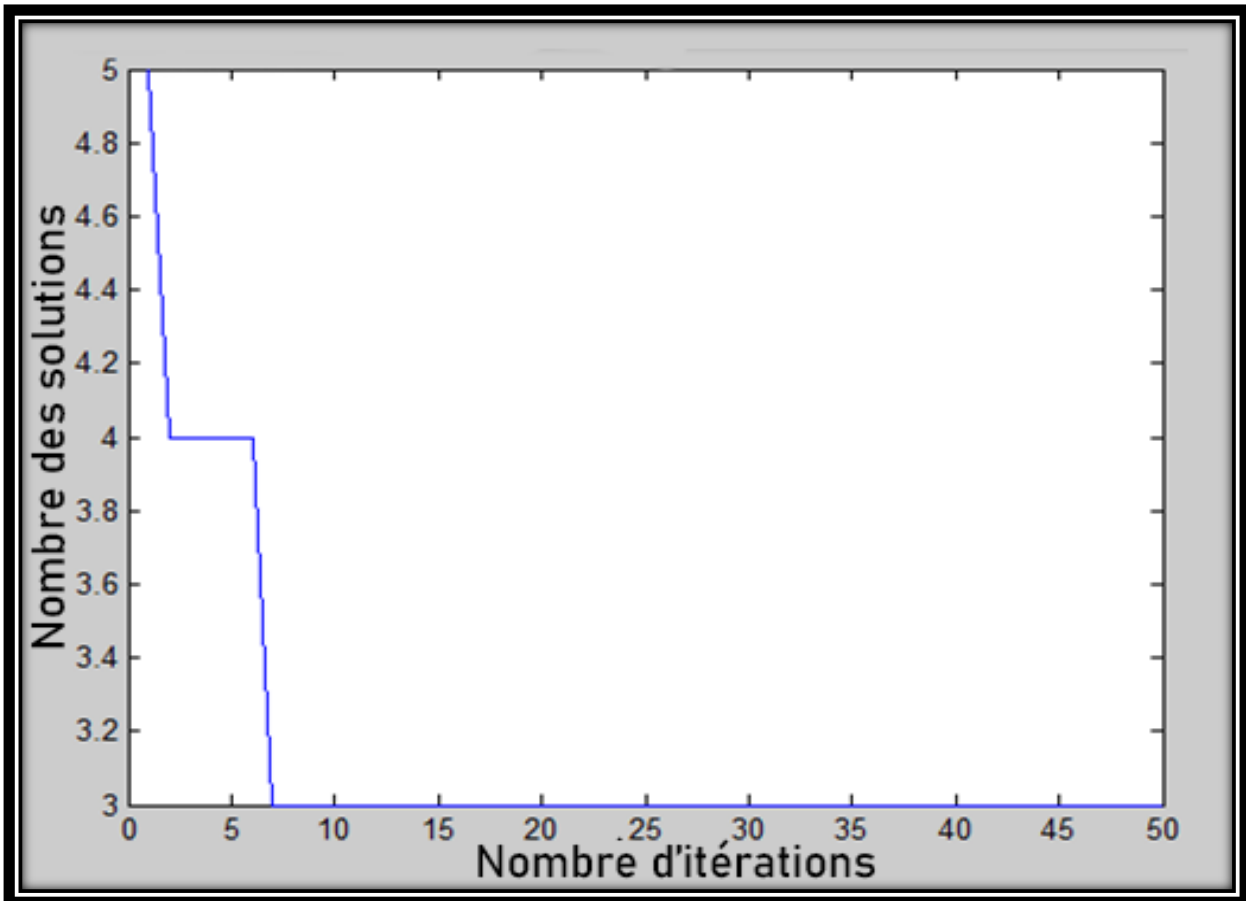


Figure (4-8) : La fonction objectif pour résoudre l’OPP de PMU pour 14 bus sur DE avec l’utilisant du ZIB.

Après avoir résolu le problème de localisation du PMU avec deux méthodes différentes, algorithmes génétique et évolution différentielle, nous avons obtenu les solutions suivantes :

Méthode utilisées	Ensemble de solution		
GA	2	10	13
DE	2	6	9

Tableau (4.4) : Les résultats obtenus de PMUs en 14-bus avec l’utilisant du ZIB.

La solution 2, 6 et 9 notez que le nombre de PMU peut être réduit en considérant zéro nœud d’injection. Par conséquent, seuls trois PMU sur les 2, 6 et 9 sont des nœuds observables, à l’exception du nœud 8.

Cependant, si le nœud 7 est considéré comme un nœud d’injection zéro nulle. Le courant de la ligne (7-8) peut être calculé et l’état du nœud 8 peut être observé sans PMU supplémentaire.

4. Application au réseau 39 nœuds :

4.1 Emplacement des PMUs :

La figure (4-3) montre un diagramme schématique simple du système de test IEEE à 39-nœuds de New England. Le système se compose de trois régions et 10 générateurs (numérotés du 30 à 39), 19 charges, 36 lignes de transmission, 46 branches et 10 d'injection zéro dans le réseau. (Les nœuds d'injection zéro sont : 2, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 17, 19 et 22).

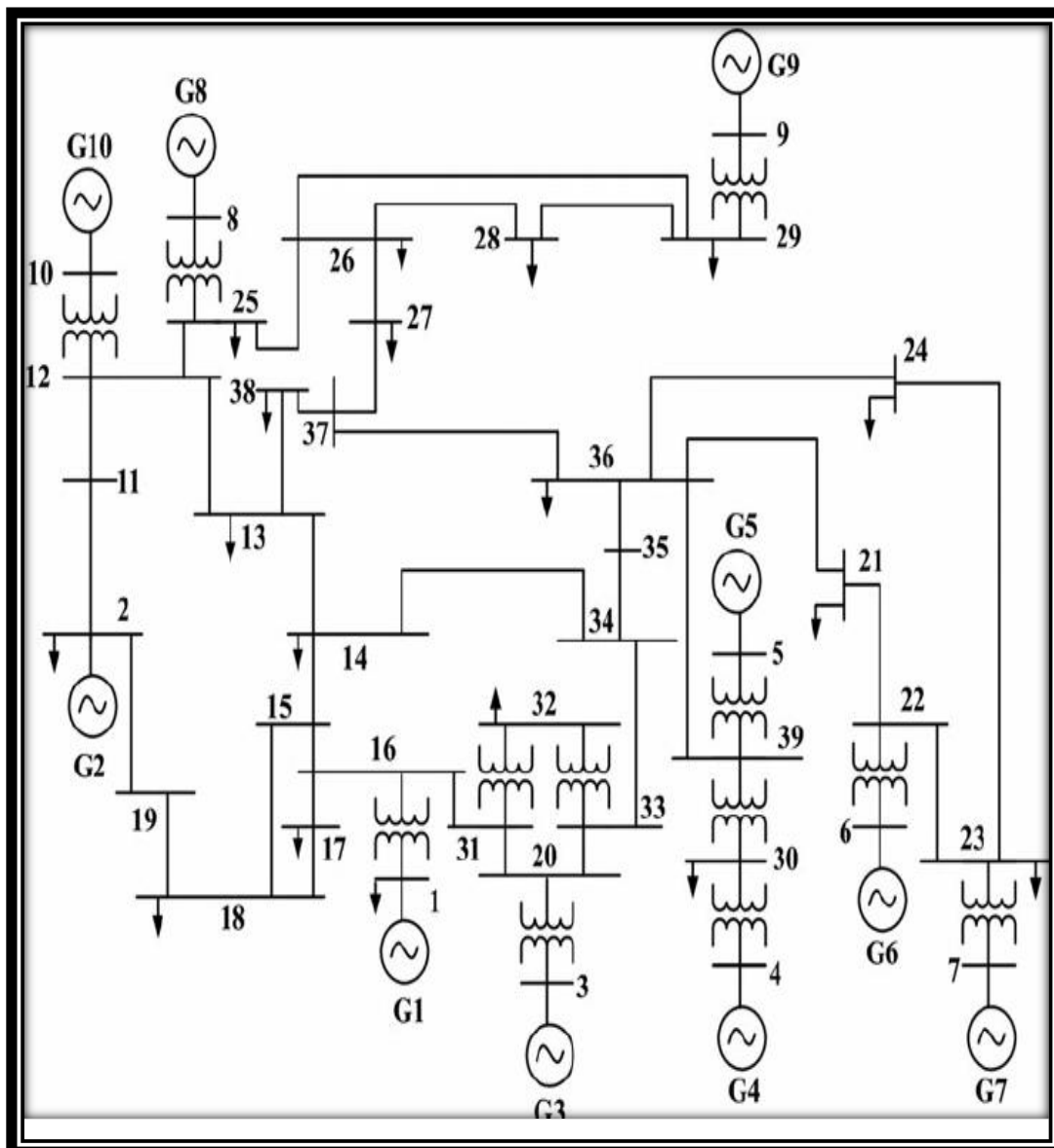


Figure (4-9) : Représentation unifilaire du réseau étudié (Réseau New England : 10 générateurs, 46 nœuds).

En utilisant la méthode de DE résolu le problème de l'emplacement optimal du PMU. Compte tenu du nœud d'injection zéro du système, l'observabilité de l'ensemble du système est réalisée par au moins 9 PMU. Cela signifie qu'en installant seulement 9 PMU sur 9 nœuds spécifiques de la solution obtenue, l'ensemble du système sera entièrement visible.

Les résultats obtenus de la minimisation de la fonction objective dans injection zéro (ZIB) sont présentés sur la figure (4-8) :

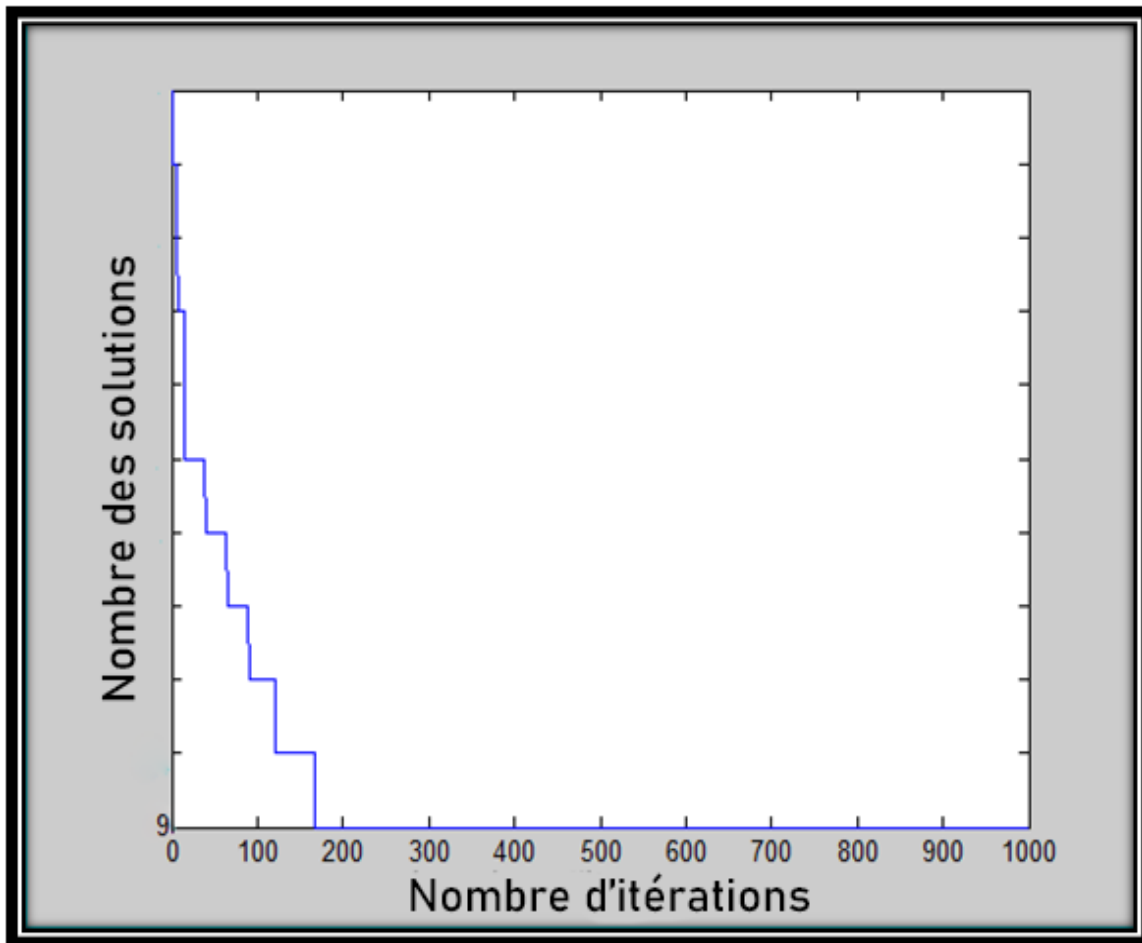


Figure (4-10) : La fonction objectif pour résoudre l'OPP de PMU pour 39 bus en utilisant du nœud ZIB.

Les solutions sont résumées dans le tableau (4.3) pour éviter les doubles emplois.

Nombre de solution	Ensemble de solution								
S1	3	6	10	16	20	23	29	37	39
S2	3	6	10	16	20	23	25	29	39
S3	3	6	10	16	23	25	29	34	39
S4	3	6	10	16	23	29	34	37	39
S5	3	6	13	16	20	23	29	37	39
S6	3	6	13	16	20	23	25	29	39
S7	3	6	13	16	23	25	29	34	39
S8	3	6	13	16	23	29	34	37	39

Tableau (4.5) : La solution obtenue par DE en utilisant du noued ZIB

D'après les résultats obtenue par le DE, il y'a parmi quatre solutions, il y'a parmi ces 8 ensembles de solution, la solution S8 est celle qui donne la meilleure solution pour l'emplacement du PMU.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des simulations MATLAB par deux méthodes pour deux différents réseaux électriques l'un est constitué de 14-BUS et l'autre de 39-BUS (New-England).

- Réseau 14-BUS :
 - ✓ Méthode GA.
 - ✓ Méthode DE.
- Réseau 39-BUS :
 - ✓ Méthode DE.

Et on a validé les résultats du premier réseau par le P SAT, et même on a découvert que toutes les méthodes utilisées donnent des résultats aléatoires dans chaque itération.

Finalement on conclure qu'il ne suffit pas seulement d'augmenter le nombre des PMU pour avoir une observabilité totale de réseau concerné. Il suffit d'effectuer un emplacement optimal des PMU.

Conclusion

général

Conclusion général

Dans ce travail nous avons étudié l'emplacement optimal des pmu's dans le réseau électrique afin d'optimiser le nombre des synchrophaseurs dans la ligne électrique ce qui permet de minimiser le cout d'installation.

Les PMUs représentent toujours un moyen efficace pour obtenir des informations sur le réseau électrique, mais le nombre des PMUs n'est pas suffisamment égal aux nombre des nœuds, grâce à leurs thème économique et de facilite de communication dans certain nœuds.

Dans le derniers chapitre, nous avons développé un programme qui est assez fiable et qui nous autorise à définir et établir l'OPP dans un réseau électrique a différent nombre de bus ce qui permet de détecter, localiser et classifier les défauts électriques dans les lignes de transport.

L'étude avec PSAT nous a donné moin de solutions pour un system IEEE-14 BUS, contrairement l'étude avec DE et GA donne plusieurs solutions.

L'emplacement optimal des PMU nous a donnés une observabilité totale du réseau avec un nombre minimum de PMU.

Finalement, nous espérons que notre travail sera fort utile pour l'amélioration des connaissances des étudiants et constituera une étape pour aborder une étude plus approfondie sur la simulation de l'optimisation de l'emplacement des Synchrophaseurs et avec d'autres algorithmes d'estimation des phaseurs et de l'utilisation du logiciel de simulation MATLAB/PSAT et d'autre logiciel.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] P. Kundur, Power System Stability and Control. New York : McGraw Hill Publication Company, 1994.
- [2] M. Zima, M. Larsson, P. Korba, C. Rehtnz, and G. Andersson, \Design Aspests for Wide-Area Monitoring and Control Système, “ in Proceedings of the IEEE, vol. 93,pp.980{996,May 2005.
- [3] j. Berrschr,C. Carnal,D. karlson, j .McDaniel, and K. Vu, \Wide-Area Protection and Power Système Utilization, “in proceedings of the IEEE ,Vol. 93, pp.997 {1003,May 2005}.
- [4] Mohamed Shahraeini and Mohamed Hossein Javidi.\Wide Area Measurement Système, Iran, {March, 2012}.
- [5] D.Yam,\wide Area Protection and Control Système With WAMS Based,“in pro-ceedings of International Conference on Power Système Technology, vol. 1,pp. 1 {5, October 2006}.
- [6] Consortin for Electric Reliability Technology Solutions (CERT). Phasor Technology. [Online]Available at : <http://www.phasorrdms.com/phasor-adv-fac.html#Question2> {Accessed 30 may 2014}.
- [7] X. P. Zhang, C. Rehtanz and B. Pal, Flexible AC Transmission systèmes : Modeling and Contrôle. New York : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [8] D. Karlson, M. Hemmingsson, and S. Lindahl, Wide Area Système Monitoring and contrôle, {IEEE Power and Energy Magazine, vol 93, pp. 892 {906, September 2004}.
- [9] Esmaeil Ghahremani, Contribution to Wide Area Contrôle of power systems, Laval University Quebec 2013.
- [10] A. G. Phadke, <<synchronized phasor measurements in power systems>> in IEEE Computer Applications in Power, Vol. 6,Issue 2, pp. 10-15, April 1993 .
- [11] Aranya C. Chow J.H, and Salazar A, 2009, <<Interarea Model Estimation For Radial Power System Transfer Paths With Intermediate Voltage Control Using Synchronized Phasor Measurement>> IEEE Trans. On Power System, Vol.24, No.3

Bibliographie

- [12] Bindeshwar Singth , N.K. Sharma , A.N. Tiwari , K.S. Verma*, and S.N. Singth. Applications of phasor measurement unit (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers.
- [13] Marin FJ , Garcia-Largos F , Joya G, Sandoval F . Optimal phasor measurement unit placement using genetic algorithms. *comput Method Neural Model* 2003;2686(1):486-93.
- [14]Chakrabarti S, Kyriakids E. Optimal placement of phasor measurement uni for power system observability. *IEEE Trans Power Sys* 2008;23(3):1433-40.
- [15] Baldwin TL, Mili L Boisen Jr MB Adapa R. Power system observability with minimal phasor measurement placement. *IEEE Trans Power Syst* 1993;8(2):707-15.
- [16] Azizi, Dobakhshari AS, Nezam Sarmadi SA, Ranjbar AM. Optimal PMU placement by an equivalent linear formulation for exhaustive search. *IEEE Trans Smart Grid* 2012;3(1):174-82.
- [17] Enhaee A , Hooshmand RA, Fesharaki FH. A new method for optimal placement of phasor measurement units to maintain full network observability under various contingencies. *Electr Power Syst* 2008; 89(1):1-10.
- [18] Gou B. Generalized integer linear programming formulation for opyimal PMU placement *IEEE Trans Power Syst* 2008; 23(3):1099-104.
- [19] Dua D, Dambhare S, Gajbhiye RK, Soman SA. Optimal multistage scheduling of PMU placement : an ILP approach.*IEEE Trans Power Del* 2008;23(4):1812-20.
- [20] These de doctorat/ Universities de medea./annee 2019 Contribution à l'utilisation des Unités de mesure du phaseur PMU pour l'amélioration du comportement dynamique du réseaux électrique.
- [21] Venkatesh .T and Trapti Jain , "Optimal PMU Placement using Best First Search Algorithm with Pruning", Discipline of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Indore india, 2014
- [22] R. Benabid. «Optimisation multiobjectif de la synthèse des FACTS par les particules en essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques», mémoire de magister 2007, Université Amar Telidji-Laghouat.

Bibliographie

- [23] N. Mancer. «Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS)», mémoire de magister 2012, Université Mohamed Khider –Biskra.
- [24] A. Blal. «Placement optimal d'un SVC dans un réseau d'énergie électrique par algorithme génétique» mémoire de magister 2011, Université des sciences et de la technologie d'Oran.
- [25] M. Rezig. «Etude d'un dispatching économique des puissances actives par les algorithmes de fourmis» mémoire de magister 2008, Université Hassiba Benbouali-Chlef.
- [26] M.Hamed.«Dispatching économique dynamique par utilisation de méthodes d'optimisation globales», mémoire de magister 2013, Université Mohamed Khider –Biskra.
- [27] L. Kartobi. «Optimisation de la synthèse des FACTS par les algorithmes génétiques et les essais particuliers pour le contrôle des réseaux électriques», mémoire de magister 2006, Université USTHB..
- [28] S. Mahdi. «Optimisation multi-objectif par un nouveau schéma de coopération Méta/Exacte», mémoire de magister 2006, Université Mentouri de Constantine.
- [29] B. Gasbaoui.«Optimisation de l'énergie réactive dans un réseau d'énergie électrique», mémoire de magister 2008, Université Bechar.
- [30] D.E.Gold. «Algorithmes génétiques exploration, optimisation et apprentissage automatique», édition Addison Wesley, France 1994.
- [31] J. Holland, «Adaptation in natural and artificial systems», University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [32] D .E. Goldberg. «Genetic algorithm optimization and machine learning», Addison Wesley publishing company, Ind .USA, 1989.
- [33] B.Sid, «Optimisation topologique de structures par algorithmes génétiques», Université de technologie de Belfort-Montbéliard 2006.

Bibliographie

[34] Michalewicz, Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer-Verlag 1992.

[35] Abd. Maoucha. «Etude et identification paramétrique d'une cellule photovoltaïque organique», mémoire de magister 2011, Université de Batna.

[36] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces". Journal of Global Optimization, Vol. 11, No. 4, p. 341-359, 1997.

[37] J. Lampinen and I. Zelinka. Mixed Integer-Discrete-Continuous Optimization By Differential Evolution - Part 1 : the optimization method. In : Proceedings of MENDEL'99 -5th International Mendel Conference Soft Computing.

[38] Abbas EL DOR, Perfectionnement des algorithmes d'Optimisation par Essaim Particulaire.Applications en segmentation d'images et en électronique,p.18,5/12/2012.