

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED- NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Électrotechnique

Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

L'APPROCHE DU LOUP GRIS (GWO) POUR L'OPTIMISATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES DISTRIBUÉS

Présenté par :

- NAIR Amina
- MOUSSAOUI Fatima Zohra

Soutenu le : ...29/06/2021..... devant le Jury :

<i>M. LAOUER Mohamed</i>	<i>Pr</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>Mme REKKAL Kahina</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. MAAMRI Mokhtar</i>	<i>Dr</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Co-Encadreur</i>
<i>M. HABCHI Yassine</i>	<i>MAA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

Remerciement

*Avant tout, nous remercions ALLAH
le Tout-puissant de nous avoir donné le courage,
la volonté et la patience de mener à terme ce présent
travail dans des meilleures conditions.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre
encadreur Rekkal Kahina et MAAMRI Mokhtar,
pour leurs précieux conseil et aides durant
toute la période du travail.*

*Je tiens aussi à remercier tous les membres du
jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger
mon travail.*

*Et aussi nos remerciements s'adressent en
particulière toutes les enseignons de département
d'électrotechnique.*

*A tous ceux qui nous ont aidés et encouragés
de près ou de loin.*

Dédicace

*Du fond du cœur je remercie notre grand seigneur
Allah d'avoir illuminé mon chemin malgré toutes
les difficultés rencontrées.*

Je dédié ensuite mon travail :

*A ma mère qui est la lumière de mes yeux et qui me comble
d'amour.*

*A mon père qui m'a toujours épaulé, soutenu financièrement et
moralement et donné son amour et son respect.*

*A mon chère et unique frères Abderrahmane, tous mes chères
sœurs Ikhlass, Marwa, et à ma petite sœur (que j'adore) Chifaa,
pour leurs amours et leurs attentions, leurs aides et leurs soutiens
qu'ils m'ont apportés.*

*A mon superviseur Rekkal kahina pour ses contrôles et ses
orientations.*

A toute la famille « NAIR » et « DAHOU ».

A mon binôme et mon amie d'étude : Fatima.

A tous ceux que j'aime, et à tous ceux qui m'aime.

Nair Amina

Dédicace

Je dédie ce travail avant tout à mes chers parents qui m'ont aidé et encouragé à terminer mes études universitaires.

A mes frères à qui je souhaite plein succès dans leur carrière.

Pour toute ma famille. Je voudrais également exprimer mes remerciements à l'encadreur Rekkal Kahina pour les conseils et les instructions qui ont contribué à l'achèvement de cette recherche. Et je n'oublie pas ma copine, dans ce souvenir, Amina.

À tous mes collègues de l'étude et à tous ceux qui ont contribué au succès de ce travail de près ou de loin.

Moussaoui Fatima Zohra

Table des matières

Liste des figures	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des Abréviations	vi
Liste des Nomenclatures et Unités	viii
Résumé	xi
Introduction générale.....	1
Chapitre I : État de l'art sur les réseaux électriques distribués	
I.1.Introduction	2
I.2 Principes structurant un réseau électriques	2
I.3. Structure de base d'un réseau électrique ordinaire	3
I.3.1.LaGénération	3
I.3.2.L'agrégationdans lesréseauxélectriques	4
I.3.2.1. La production centralisée	4
I.3.2.2.la production décentralisée	6
I.3.3.Le réseaudetransportélectrique	7
I.3.3.1. Les réseaudetransportede répartition	8
I.3.3.2.Caractéristiquesgénérales dutransportélectrique	9
I.3.4.Poste Source	10
I.3.4.1.Définition	10
I.3.4.2.La protection despostes-sources	11
I.3.5.Lesystème dedistribution	11
I.4.Evolution desréseauxélectriques	11
I.4.1.Structure classiqued'unréseauélectrique	14
I.4.2.Structure moderneouIntelligentd'unréseauélectrique	15
I.5.Les générateurs distribués programmables (DG)	16
I.6.Conclusion	17
Chapitre II : Les systèmes de production d'énergie électrique multi-source	
II.1. Introduction	18
II.2. Définition de système d'énergie électrique multi-source	18
II.3.Classification	18
II.3.1.Le régime du fonctionnement.....	19
II.3.2.La structure du système hybride	19
II.4. Etudes des structures de systèmes hybrides	20
II.4.1. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle	20
II.4.1.1. Système photovoltaïque/source conventionnelle	21

Sommaire

II.4.1.2. Systèmes éolien/source conventionnelle	24
II.4.1.3. Systèmes photovoltaïque/éolien/diesel	24
II.4.2. Systèmes hybrides sans source conventionnelle	25
II.4.2.1. Système hybride photovoltaïque/stockage	25
II.4.2.2. Système hybride éolien/stockage	25
II.4.2.3. Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage	26
II.4.2.4. Système hybride photovoltaïque/éolien sans stockage	26
II.5. Système de conversion d'énergie hybride.....	26
II.6. Conclusion	27
Chapitre III : Les topologies des méthodes d'optimisation appliquée	
III.1.Introduction	29
III.2. Optimisation par la méthode de Ziegler et Nicholas	29
III.2.1. Méthode de la réponse indicielle.....	29
III.2.2. Méthode de gain critique	30
III.2.3. Avantages et inconvénients de la méthode de Ziegler et Nicholas.....	30
III.3. Optimisation par la méthode de PSO (optimisation par essai de particule)	31
III.3.1 Problème d'optimisation	31
III.3.2 Principe de fonctionnement de PSO	31
III.3.3 Mécanisme de confinement	33
III.3.4 Déroulement de l'algorithme	34
III.3.5 Optimisation des paramètres du régulateur PID par PSO	35
III.3.6 Avantages et Inconvénients de PSO	35
III.4 Optimisation par la méthode de GWO (L'optimisation du loup gris).....	35
III.4.1 Définition	35
III.4.2 Principe de la méthode	36
III.4.3. Opérateurs	37
III.4.3.1. Hiérarchie sociale	38
III.4.3.2. Encercler les proies	38
III.4.3.3. Chasse	38
III.4.3.4. Attaquer une proie	39
III.4.4. Les étapes générales de l'algorithme GWO	40
III.4.5. Les étapes pour écrire l'algorithme GWO (organigramme).....	40
III.5. Simulation et résultat avec la méthode d'optimisation GWO	41
III.6. Conclusion	50
Conclusion générale	49
Bibliographies.....	53
Annexe.....	56

Liste des figures

Figure I.1	Consommation du réseau algérien pendant une journée d'été.	2
Figure I.2	Structure de base d'un réseau électrique.	3
Figure I.3	Architecture traditionnelle des différents sous-systèmes des réseaux électriques : de la génération à la distribution de l'énergie en passant par le transport et la répartition.	4
Figure I.4	Principe de fonctionnement d'une centrale thermique.	5
Figure I.5	Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.	6
Figure I.6	Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.	6
Figure I.7	Exemple de réseau électrique avec des sources de production décentralisée	7
Figure I.8	Structure maillé d'un réseau de transport électrique.	8
Figure I.9	Projet d'interconnexions électriques en 400 kV en Afrique du Nord.	9
Figure I.10	Schéma générale des postes sources HTB/HTA	10
Figure I.11	Schéma arborescente d'une station de distribution	11
Figure I.12	Evolution de la production et de la consommation d'électricité en Algérie	12
Figure I.13	MEDA (méditerranéens) : Consommation d'électricité (de 1971 à 2007)	13
Figure I.14	Représentation verticale (sens unique) des réseaux électriques classique.	14
Figure I.15	Représentation horizontale (bidirectionnelle) des réseaux électriques actuels	15
Figure I.16	Schéma général d'un système de réseau intelligent	15
Figure I.17	une carte géographique sur la localisation et les différents réseaux électriques à l'échelle nationale d'un premier réseau électrique réalisé en Algérie.	16
Figure II.1	Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.	18
Figure II.2	système hybride connecté au réseau.	19
Figure II.3	système hybride autonome.	19
Figure II.4	Classification des systèmes hybrides	20
Figure II.5	Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle	20
Figure II.6	Système hybride avec connexion série.	21
Figure II.7	Système hybride à commutation.	22
Figure II.8	Système hybride à connexion parallèle	23
Figure II.9	Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien	27

Liste des Figures

Figure III.1	Réponse indicielle d'un processus d'ordre 3	29
Figure III.2	Méthode du gain critique	30
Figure III.3	Déplacement d'une particule	32
Figure III.4	Organigramme générale de la méthode PSO	34
Figure III.5	Approche d'optimisation du PID par l'algorithme PSO	35
Figure III.6	Hierarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas).	36
Figure III.7	Comportement de chasse des loups gris : (A) suivre, chasser et approcher la proie (B-D) poursuivre, encercler et harceler la proie. (E) situation stationnaire et attaque.	37
Figure III.8	Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et leurs prochains Emplacements possibles	39
Figure III.9	mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui le présent	40
Figure III.10	Organigramme de la méthode GWO	41
Figure III.11	Organigramme de l'algorithme GWO	42
Figure III.12	Centrales solaire de la wilaya de Naama	43
Figure III.13	Les paramètres des panneaux solaires	43
Figure III.14	Diagramme illustre la capacité de production et des coûts de carburant d'un système hybride (μ TAG/GD) par GWO	45
Figure III.15	Diagramme illustre la capacité de production et des coûts de carburant d'un système hybride (μ TAG/GD/PV) par GWO	46
Figure III.16	Plan de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama.	47
Figure III.17	Turbines à gaz 9fa de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).	47
Figure III.18	Modèle de turbine à gaz 9 fa.	48
Figure III.19	Turbines à vapeur de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).	48
Figure III.20	Tranche (deux turbines à gaz et une turbine à vapeur) de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).	49

Liste des tableaux

Tableau I.1	2007 MEDA, combustibles dans les centrales électriques	14
Tableau I.2	Comparaison entre le réseau électrique traditionnel et intelligent	16
Tableau II.1	Les avantages et les inconvénients d'un système hybride avec connexion série	22
Tableau II.2	Les avantages et les inconvénients d'un Système hybride à commutation.	23
Tableau II.3	Les avantages et les inconvénients d'un Système hybride à connexion parallèle.	24
Tableau III.1	Paramètres PID obtenus à partir d'une réponse indicielle (Z Nt).	30
Tableau III.2	Réglage de Ziegler et Nicholas par méthode du gain critique.	30
Tableau III.3	Coefficients de coût et limites de production pour un réseau électrique distribués, site de Naama	44
Tableau III.4	Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel) par la méthode de GWO	45
Tableau III.5	Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel et un parc solaire) par la méthode de GWO	46

Liste des Abréviations

B

BP: Turbine basse pression

BT: basse tension

C

CA: Courant Alternatif

CC: Courant Continu, : Courant Continu

CIGRE: Conseil international des grands réseaux électriques

D

DG ou GED: Générateur électrique distribué

G

GED: Générateur électrique distribué

GSAP: générateur à aimants permanents

GWO: Grey Wolf Optimiser (L'optimisation du loup gris)

H

HP: Turbine haute pression

HT: haute tension

HTA: haute tension de niveau A

HTB: haute tension de niveau B

HVDC: Liaison à courant continu de haute tension.

I

IEEE: Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens

M

MEDA: méditerranéens

MP: Turbine moyenne pression

MPPT: Maximal Power Point Tracking

MT moyenne tension

P

P: Proportionnel

PCCN: Protections et Contrôle Commande Numérique

PI: proportionnel-intégral

PID: proportionnel-intégral-dérivée

PSO ou OEP: Optimisation par essaim particulière

PV: Panneaux photovoltaïques

Liste des Abréviation

R

RPD:Réseau Public de Distribution
RPT:Réseau Public de Transport
RTE:réseau de transport d'électricité

S

SF6:hexafluorure de soufre

T

THT:très haute tension

W

WT:turbine éolienne : turbine éolienne

Liste des Nomenclatures et Unité

9

9,8: coefficients tenant compte des unités.

A

a: l'ordonnée de la tangente

A: ampère, unité de courant

A^{\rightarrow} et C^{\rightarrow} : Des vecteurs de coefficients.

C

C1, C2: constantes d'accélération

D

D: Dérivée.

E

E: l'amplitude

G

GWh: Gigawattheure

H

h: hauteur de la chute, en mètres [m] .

Hz: Hertz, une unité de mesure de la fréquence

K

K_0 : gain statique

K_{cr} : gain critique

K_d : action dérivée

K_i : Action Intégral.

K_p : Action proportionnel

Kv: kilovolt (1Kv=103 v)

Kw: kilowatt (1KW=103 W)

L

L: retard apparent

Liste des Nomenclatures et Unité

M

m:mètre

m^3/s :mètre cube sur seconde est l'unité de mesure de volume du SI

MVA:Méga Voltampère, une unité du système international (SI).

MW:mégawat ($1MW=10^6w$)

P

P:puissance hydraulique, en kilowatts [*kW*], :Pente de la tangente

P_{best} :la meilleure position.

Q

q:débit en mètres cubes par seconde [m^3/s]

R

r 1, r2:variables aléatoire

T

T_{cr} :la période d'oscillation

T_d :la constante de temps dérivée.

TEP:tonnes équivalent pétrole.

T_i : la constante de temps intégral

TWH:térawattheure, unité de mesure d'énergie.

W

W: Watt, L'unité de puissance, dans le système SI

Y

Y_{∞} :valeur asymptotique

Ω

ω :fonction de pondération.

ω_{max} :poids initial.

ω_{min} :poids final

Autres nomenclatures

C_1, C_2, C_3 : Des vecteurs aléatoires

N_d :Le nombre de variables du problème

N_{kmax} :Le nombre maximal d'itérations

N_p :Le nombre maximal d'itérations

X:le vecteur de position.

$X_a(t)$:Représente la position de l'alpha.

Liste des Nomenclatures et Unité

$X_{\beta}(t)$: Indique la position de la bête

$X_{\delta}(t)$: Est la position de delta.

X_p : Le vecteur de position de la proie

g_{best} : la meilleure position globale.

g_i : la i ème composante de la meilleure position occupée par la i ème particule globale de l'essaim (global best).

p_{ij} : La j ème composante de la meilleure position occupée par la i ème particule de l'essaim enregistrée dans les itérations précédentes (local best).

v_i^{k+1} : vitesse modifiée de l'agent.

$v_{ij}(k)$: La vitesse de la j ème composante de la i ème particule de l'essaim, à la k ème itération.

x_k^{+1} : Position modifiée de l'agent.

$x_{ij}(k)$: la j ème coordonnée de la position actuelle de la particule i , à la k ème itération.

Résumé

Le travail défini pour cette étude concerne une étude technico-économiques des réseaux électriques distribués. Le travail réaliser traite deux axes importants dont lequel le premier est consacré sur la partie technique dont l'optimisation de l'écoulement des puissances par l'application de l'Optimiseur de Loup Gris (GWO (Gray Wolf Optimization)) et le deuxième axe vise le coté économique, où l'intégration des ressources à base des énergies renouvelables engendrent positivement sur la facturation des carburants afin d'atténuer des émissions à effet de serre.

Mots clés : le réseau de distribution électrique, Système hybride, l'Optimiseur de Loup Gris (GWO), Aspect technico-économiques, micro turbine à gaz.

Abstract

The work defined for this study concerns a techno-economic study of distributed electrical networks. The work to be carried out deals with two important axes, the first of which is devoted to the technical part, including the optimization of the flow of powers by the application of the Gray Wolf Optimizer (GWO (Gray Wolf Optimization)) and the second axis aims at the economic side, where the integration of resources based on renewable energies positively generate fuel billing in order to reduce greenhouse emissions.

Keywords : the electricity distribution network, Hybrid system, Gray Wolf Optimizer (GWO), Technico-economic aspect, micro gas turbine.

ملخص

يتعلق العمل المحدد لهذه الدراسة بدراسة تقنية اقتصادية للشبكات الكهربائية الموزعة. يتعامل العمل الذي سيتم تنفيذه مع محورين مهمين ، أولهما مخصص للجزء الفني ، بما في ذلك تحسين تدفق القوى من خلال تطبيق تحسين الذئب الرمادي (GWO (تحسين الذئب الرمادي)) والثاني يهدف المحور إلى الجانب الاقتصادي ، حيث يؤدي تكامل الموارد القائمة على الطاقات المتجددة بشكل إيجابي إلى توليد فواتير الوقود من أجل تقليل انبعاثات الاحتباس الحراري.

الكلمات المفتاحية: شبكة توزيع الكهرباء، النظام الهجين، محسن الذئب الرمادي (GWO)، الجانب الاقتصادي التقني، التوربينات الغازية الدقيقة.

Introduction
Générale

Introduction générale

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. [1]

Le réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - distribution - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. [2]

Suite à l'évolution technologique et au développement sans cesse en génie électrique, les méthodes d'optimisation connaissent de nos jours un essor considérable.

L'optimisation mathématique est une branche des mathématiques appliquées et de l'informatique qui traite du choix de la solution optimale pour une fonction (ou un problème) mathématique particulière dans le but de minimiser ou d'optimiser le rendement de cette fonction. En termes plus simples, l'optimisation peut être décrite comme le processus de sélection du ou des meilleurs éléments parmi un ensemble d'alternatives disponibles pour obtenir les meilleurs résultats possibles lors de la résolution d'un problème particulier. [3]

Le travail qui a été défini pour cette étude concerne une étude technico-économiques des réseaux électriques distribués. Notre mémoire traite deux problématiques de développement de réseau électrique distribué. Le premier problème est consacré sur la partie technique dont l'optimisation de l'écoulement des puissances par l'application de l'algorithme de loup gris (GWO (Gray Wolf Optimization)). Le deuxième problème vise le côté économique, où l'intégration des ressources à base des énergies renouvelables engendrent positivement sur la facturation des carburants afin d'atténuer des émissions à effet de serre.

L'objectif visé est d'étudier les performances d'un système hybride appliquées dans un site Algérien la wilaya de Naama comme un site des hauts plateaux et d'évaluer les potentialités d'une installation de conversion d'énergies utilisant des sources renouvelables avec des groupes électrogènes et des micro-turbines à gaz.

Ce mémoire de master est scindé en trois chapitres, après une introduction générale.

Au premier abord, dans le premier chapitre nous présenterons l'état de l'art sur le réseau électrique distribué. Dans un premier lieu, nous avons présentés le principe structurant d'un réseau électrique. Par la suite, nous présentons la structure de base d'un réseau électrique ordinaire, l'évolution des réseaux électriques et les générateurs distribués programmable.

Puis, dans le deuxième chapitre nous allons exposer les systèmes de production d'énergie électrique multi-source. Nous présenterons les structures du système hybride avec et sans source conventionnelle et on parle de la conversion d'énergie hybride.

En dernier lieu, le troisième chapitre, nous proposerons une étude théorique des nouvelles techniques d'optimisation par la méthode de Ziegler Nicholas, PSO et GWO, et leurs principes de fonctionnement.

Finalement, Nous terminerons ce chapitre avec une simulation de la méthode de GWO à l'aide du langage MATLAB et nous donnons les résultats trouvés.

Pour conclure, nous donnons une conclusion générale pour notre travail.

Chapitre I

*État de l'art sur les réseaux électriques
distribués*

I.1.Introduction :

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée, donc en permanence la production doit s'adapter à la consommation. De ce fait ensemble production, acheminement, utilisation constitue un système complexe appelé réseau électrique. [5]

Les réseaux électriques sont décomposés en trois sous-systèmes : la génération, le transport et la distribution. Chaque sous-système est relié par des postes sources chargés de l'adéquation des niveaux de tension qui permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

I.2 Principes structurant un réseau électriques :

Il existe deux principes qui gèrent la structure de base d'un réseau électrique :

- ✚ La nécessité d'équilibrer à tout instant l'offre et la demande, car l'électricité est très difficile à stocker, il est donc nécessaire d'assurer à tout moment que la production (électricité injectée sur le réseau par les producteurs) est égale à la consommation (électricité exploitée par les consommateurs). Si l'écart entre la production et la consommation augmente, le réseau électrique résistera à des chutes de tension importantes qui peuvent conduire au blackout.
- ✚ La gestion de la pointe électrique, du fait que la consommation de l'électricité est variable. Cette variabilité est sensible à l'échelle d'une année, avec des consommations plus au moins fortes selon les saisons, dans certains pays cela arrive pendant l'hiver, dans d'autres plus chaudes, largement équipés en climatisation, la pointe saisonnière a lieu en été, la figure I.1 montre un exemple de consommation du réseau électrique algérien le long d'une journée d'été où la pointe de la consommation est atteinte pendant l'après-midi de la journée vu le taux élevé de la climatisation. L'équilibrage du réseau est particulièrement crucial à la pointe maximale quand la demande atteint son maximum durant les jours de très grande consommation. En effet, c'est la valeur de cette pointe qui dimensionne le réseau d'électricité et pour assurer la sécurité du réseau des capacités de production complémentaires doivent être dédiées à la couverture de cette pointe.

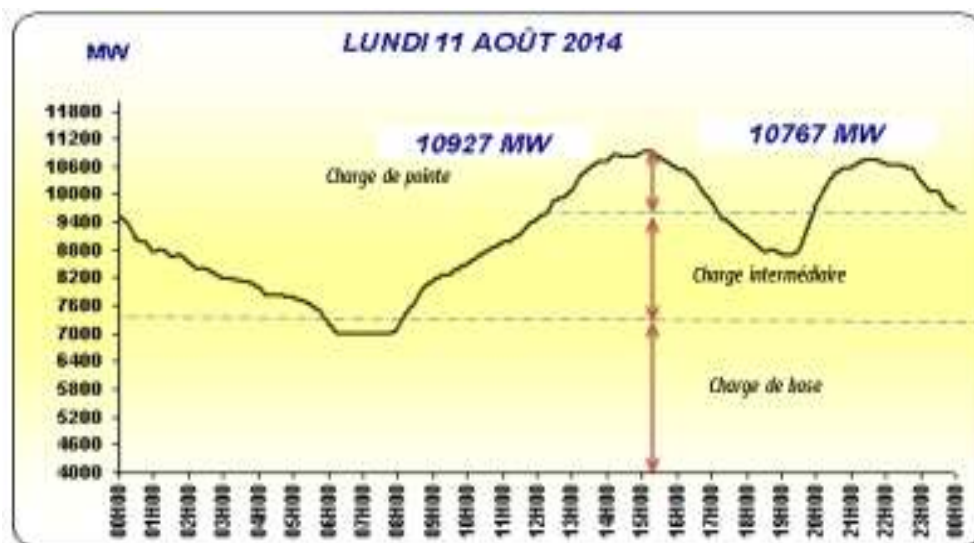


Figure I.1: Consommation du réseau algérien pendant une journée d'été. [6]

La bonne application de ces deux principes exige d'une part une bonne prévision de la charge à alimenter, d'autre part la sollicitation d'autres ressources comme l'exploitation des filières de gaz, sources renouvelables et stations hydrauliques [6].

I.3. Structure de base d'un réseau électrique ordinaire :

La figure I.2 montre un réseau électrique dans sa structure la plus simple ou de base, dans cette structure les réseaux électriques, depuis leur première mise en service comportent trois parties principales que sont la production, le transport et la distribution. D'une manière générale l'électricité produite et délivrée vers les consommateurs à travers ces trois systèmes qui constituent les plus grands marchés de consommation dans le monde. Les réseaux électriques les plus fiables servent le besoin des consommateurs sans interruptions, et donc les facilités au niveau de la production doivent produire assez de puissance pour couvrir tout excès dans la demande. Les réseaux de transport doivent transporter la totalité de la puissance à travers des longues distances sans dépasser la limite de stabilité ni les limites thermiques du réseau [6].

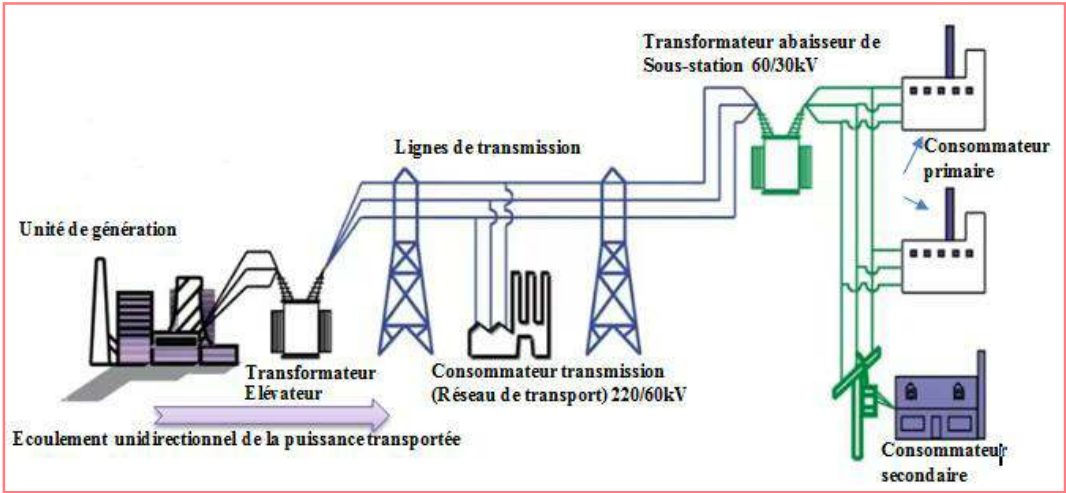


Figure I.2 : Structure de base d'un réseau électrique. [6]

I.3.1. La Génération :

Les centrales de génération consistent d'une ou plusieurs unités de génération qui transforment l'énergie mécanique en électricité, à l'aide des turbines couplés mécaniquement aux générateurs comme le cas du générateur éolien. Dans les centrales thermiques, la plupart des parties tournantes sont en mouvement à l'aide de la vapeur produite dans la chaudière (chambre de combustion) alimentée par du carburant, pétrole, gaz naturel ou combustible nucléaire, plus autres sources à travers la chute d'eau comme dans une centrale hydraulique. Les générateurs produisent une tension entre lignes de 15kV à 33kV. Trois conditions doivent être satisfaites pour assurer la fiabilité du système [6]

- ✚ La capacité de génération disponible doit être supérieure à la charge demandée plus les pertes du système.
- ✚ Le système doit être capable de transporter la puissance demandée aux consommateurs sans surcharger les équipements.
- ✚ Les consommateurs doivent être servis dans une plage de tension acceptable.

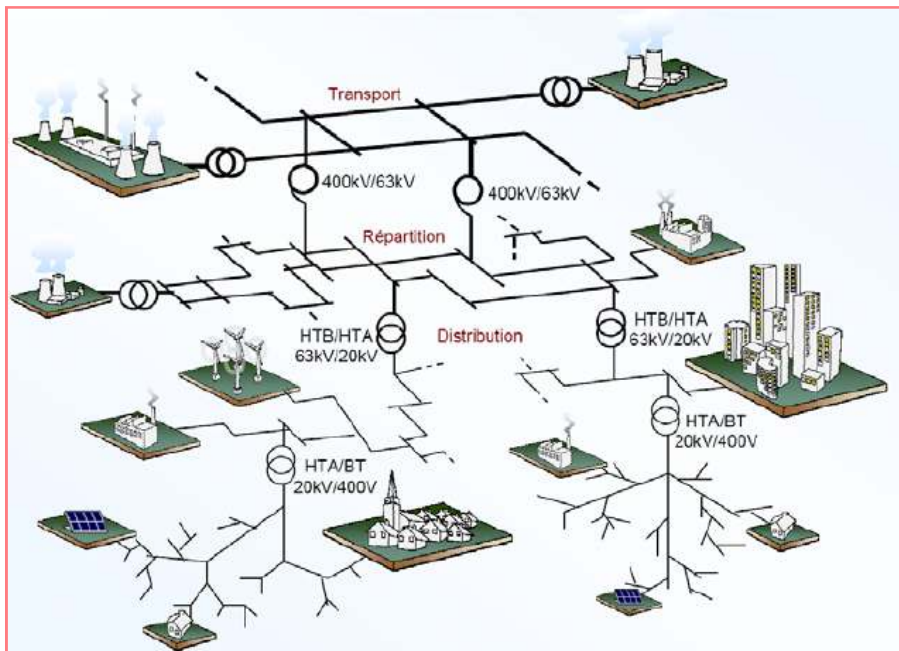


Figure. I.3 : Architecture traditionnelle des différents sous-systèmes des réseaux électriques : de la génération à la distribution de l'énergie en passant par le transport et la répartition [7]

I.3.2.L'agrégation dans les réseaux électriques :

Le raccordement de nouveaux producteurs indépendants sur les réseaux électriques altère leur fonctionnement traditionnel basé sur le principe d'un monopole, pour qu'il se transforme à un fonctionnement étendu permettant à tous les producteurs d'énergie par les générateurs distribués de s'intégrer sur le réseau électrique principale sous une nouvelle forme plus compétitive qui est le marché d'électricité libre, d'où un agrégateur est un gestionnaire des sources de génération distribuées de petites tailles.

Aussi, les agrégateurs sont des entités introduites par la libéralisation du marché de l'énergie, ouvrant la voie à la gestion des ressources par les acteurs internes et externes sur le marché d'électricité. Dans la directive européenne sur l'efficacité énergétique (2012/27/UE), le terme agrégateur est définies, comme suit : "un agrégateur" signifie un fournisseur de services de réponse à la demande qui combine plusieurs charges de consommation de courte durée à vendre ou sur les marchés organisés de l'énergie". Donc, l'agrégateur est un coordinateur qui envoie des informations sur la vente du surplus d'énergie à une heure (c'est-à-dire le prix de l'électricité sur le marché et la quantité d'énergie à la vente) et il reçoit des offres de chaque consommateur en termes de quantité et de prix d'énergie disponibles à l'achat en rééchelonnant ses consommations, dans une perspective décentralisée [6].

I.3.2.1. La production centralisée :

La production doit en tout instant être capable de satisfaire la demande (consommation+ pertes), elle doit donc prévoir des moyens de production pour couvrir l'extrême pointe de la demande, même si cette dernière n'existe que quelques minutes par an. Il existe trois principaux types de centrales pour produire de l'énergie électrique :

- ✚ Les centrales hydrauliques.
- ✚ Les centrales thermiques.
- ✚ Les centrales nucléaires.

Les énergies renouvelables sont en cours de développement ; elles utilisent l'énergie du vent, du bois, le solaire et la biomasse [8].

I.3.2.1.a. Les centrales thermiques :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW.

On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. [8]

- ✚ Turbine haute pression (HP)
- ✚ Turbine moyenne pression (MP)
- ✚ Turbine basse pression (BP)

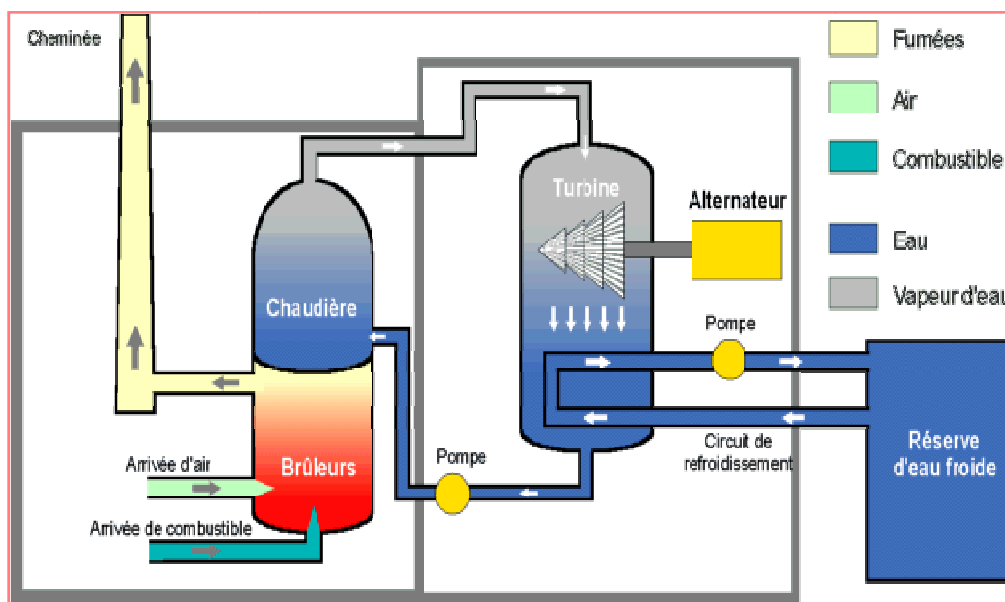


Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'une centrale thermique. [8]

I.3.2.1.b. Les centrales hydrauliques :

Les centrales hydro-électriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. [8]

La puissance disponible est donnée par l'équation :

$$P = 9.8 \cdot q \cdot h$$

(I.1)

- ✓ P = puissance hydraulique, en kilowatts [kW] ;
- ✓ q = débit en mètres cubes par seconde [m³/s] ;

- ✓ h = hauteur de la chute, en mètres [m] ;
- ✓ 9,8 = coefficient tenant compte des unités.

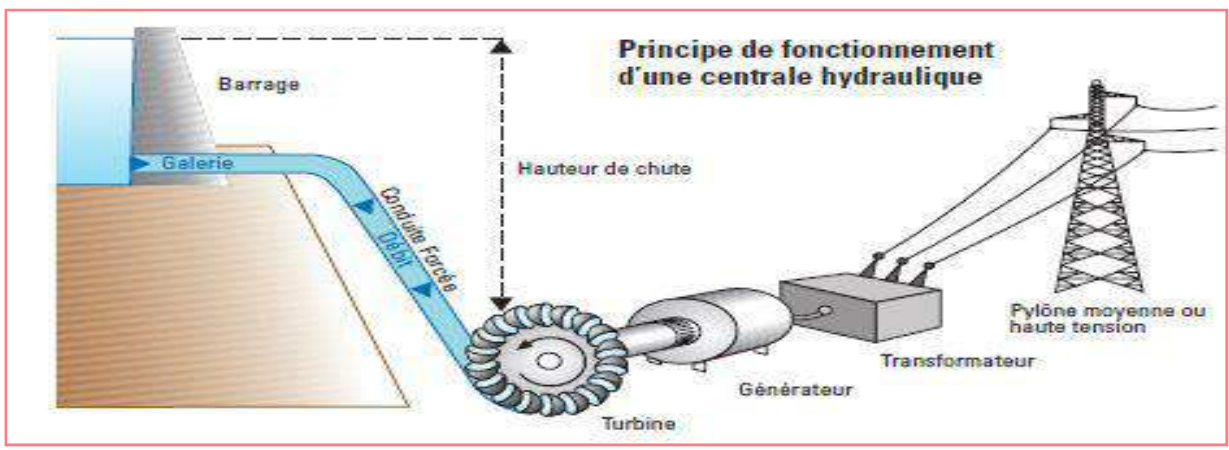
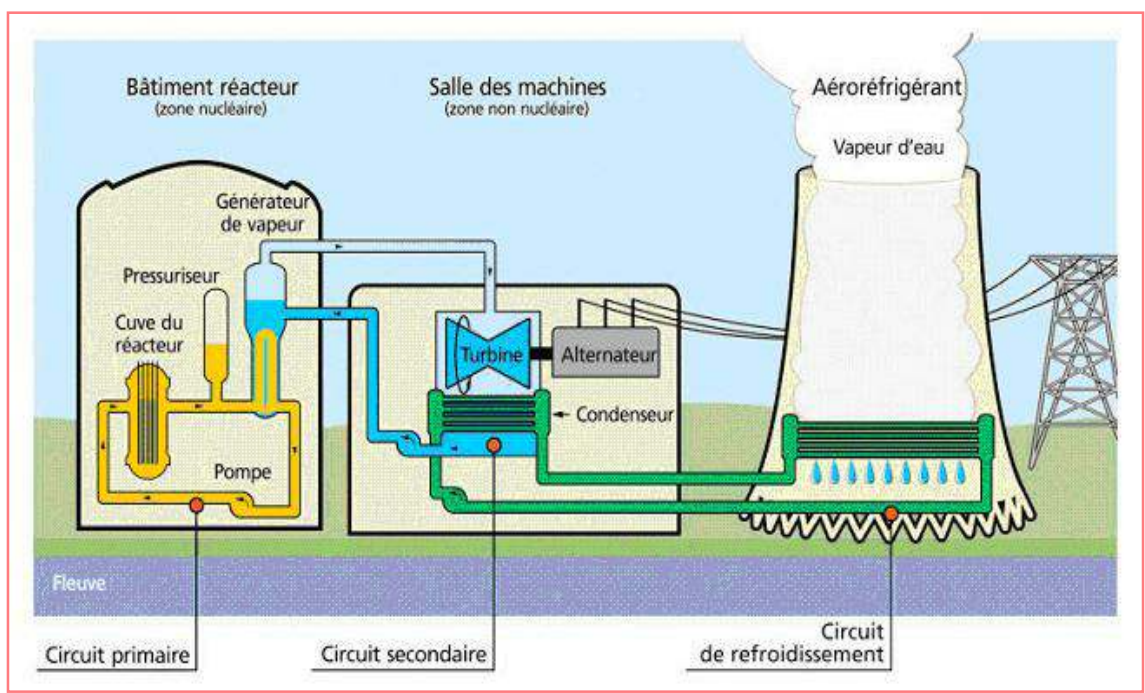


Figure. I.5:Principedefonctionnementd'une centralehydraulique. [8]

I.3.2.1. c. Lescentralesnucléaires:

Lescentrales nucléaires produisent l'électricité à partir dela chaleurlibéréeepar une réaction nucléaire.Cephénomèneest provoqué parladivision du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire.[8]



FigureI.6 : Principe defonctionnement d'unecentrale nucléaire. [8]

I.3.2.2.la production décentralisée :

La production décentralisée (dite encore « dispersée » ou « distribuée ») est la production d'énergie électrique à l'aide des installations de petite puissance raccordées aux réseaux à basse (et plus rarement moyenne) tension contrairement à la production centralisée de grande puissance, raccordées au réseau de transmission. La production décentralisée est à base de sources d'énergie renouvelable, mais dans certains cas elle peut être effectuée aussi avec des générateurs conventionnels (groupes diesel et micro-turbines à gaz en cogénération). [9]

Le nouveau concept sous lequel les générateurs distribués sont regroupés est appelé production décentralisée. Selon les origines des énergies primaires utilisées, les moyens de production sont divisés en deux catégories : la première catégorie comporte les technologies basées sur les énergies renouvelables qui se caractérisent par l'intermittence de la source primaire, alors que la deuxième regroupe les énergies fossiles programmables. Certains pays définissent la production décentralisée selon une certaine spécification basée sur des sources d'énergie renouvelables non-programmables, la cogénération, et autres caractéristiques. Autres définitions sont également attribuées à la production décentralisée comme :

- la définition IEEE (Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens) : définit la génération distribuée comme la génération d'électricité par des installations qui sont suffisamment plus petites que les centrales classiques de production et leur interconnexion à n'importe quel point du réseau électrique. [10]
- Définition CIGRE (Conseil international des grands réseaux électriques) : définit la génération distribuée comme toutes les unités de production avec une capacité maximale de 50 MW à 100 MW, qui sont habituellement connectés au réseau de distribution et qui ne sont ni observables, ni dispatchées (contrôlées par l'opérateur). [10]

Ainsi, la capacité d'un microgénérateur distribué GED (Générateur électrique distribué (varié de 1 W à 5 kW)), une petite GED (de 5 kW à 5 MW), une moyenne GED (de 5 MW à 50 MW), est strictement raccordée au réseau de distribution. La tendance du raccordement de la production décentralisée sur les réseaux de distribution est une conséquence du changement des réglementations et conditions de l'organisation de l'approvisionnement en énergie électrique du pays. [10]

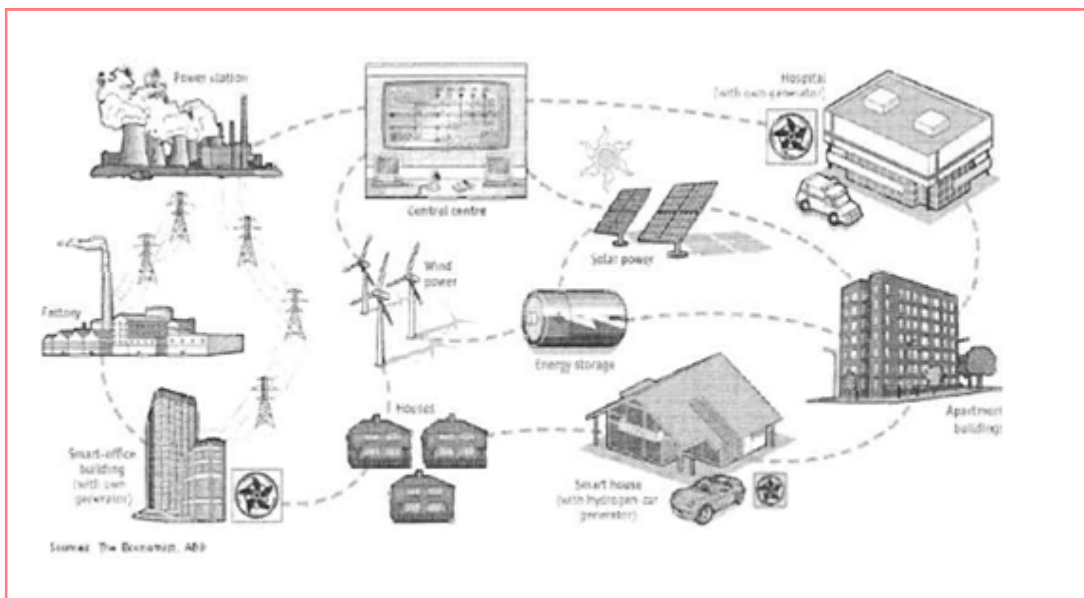


Figure.I.7 : Exemple de réseau électrique avec des sources de production décentralisée [11]

I.3.3. Le réseau de transport électrique :

Ce système transporte de l'électricité à travers de longues distances, à partir des centres de génération vers les sous-stations qui servent les systèmes de distribution. La plupart des lignes de transport qui

transportent l'énergie électrique sont aériennes, mais il y'a une grande tendance de favoriser l'utilisation des câbles souterrains (à base de l'huile, SF6 (hexafluorure de soufre), à diélectrique ayant la possibilité de supraconductivité), et récemment l'utilisation du système HVDC (liaison à courant continu de haute tension). Généralement le réseau de transport suit une structure maillée qui est comme montre la figure I.8 le maillage du réseau assure la sécurité d'alimentation, et permet de faire face aux risques locaux et incidents qui peuvent affecter l'exploitation [6]

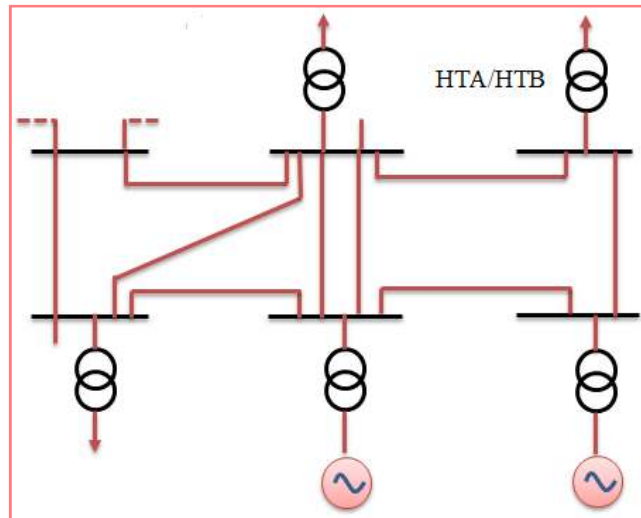
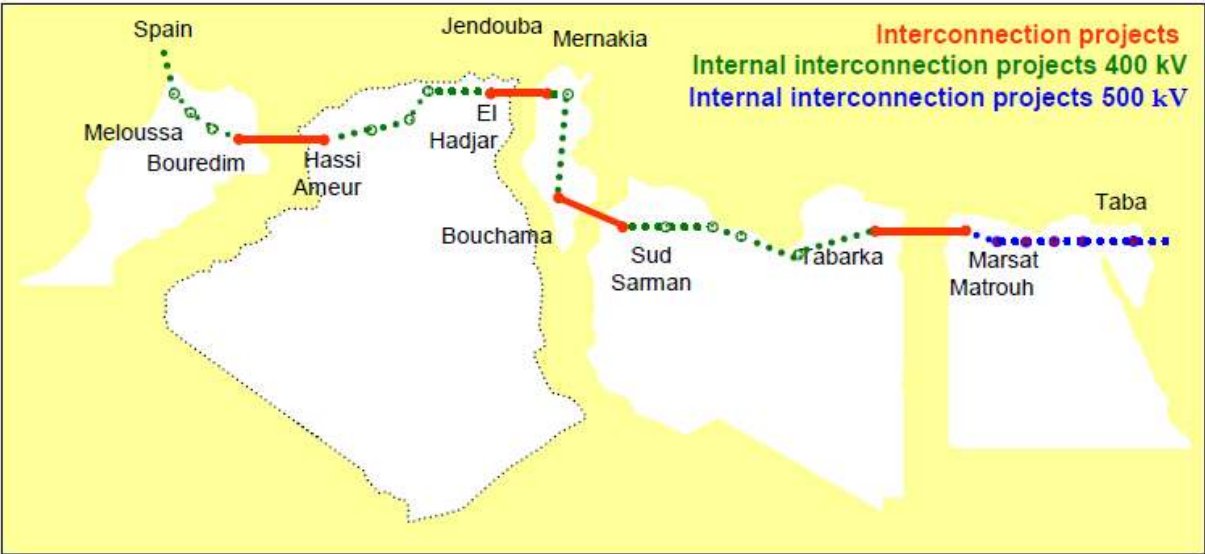


Figure I.8 : Structure maillée d'un réseau de transport électrique. [6]

I.3.3.1. Les réseaux de transport et de répartition:

La première de ces divisions est le réseau de transport (THT (très haute tension)) ou réseau de haute tension de niveau B (HTB, de 63 kV à 400 kV). Sur ce réseau sont connectées les centrales de production classique comme les centrales nucléaires, hydrauliques assurant 80% de la production électrique. Ces réseaux ont une architecture maillée, ainsi les productions ne sont pas isolées mais toutes reliées entre elles. Cette structure permet une sûreté de fonctionnement accrue par rapport à une structure de réseau dite radiale puisqu'elle assure la continuité du service ou d'alimentation en cas de perte d'une ligne, d'une production, etc. En effet, lors de l'ouverture d'une ligne, le fait d'avoir cette structure maillée permet au flux de puissance de trouver un nouveau chemin pour contourner cette ligne en défaut et donc de garantir la continuité de l'alimentation en aval du problème. [8]

Du point de vue topographique et géographique les réseaux de transport sont assurés les interconnexions entre régions au niveau nationale et les échanges (importation/exportation) d'énergie électrique au niveau internationale (Hassi Ameer (Algérie) – Bourdim (Maroc) et El-Hadjar (Algérie) – Djendouba (Tunisie), en 400kV).



La figure I.9 :Projet d’interconnexions électriques en 400 kV en Afrique du Nord. [12]

Le deuxième niveau de tension est le réseau de répartition (HT (haute tension)), celui-ci assure le transport des réserves d'électricité composées de l'énergie puisée au réseau de transport et de productions de plus petites échelles vers les zones de consommations et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation.

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres. Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT (haute tension /moyenne tension) et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension.

- La tension est 90 kV ou 63 kV,
- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
- Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
- Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
- Réseaux en boucle ouverte ou fermée. [8]

I.3.3.2. Caractéristiques générales du transport électrique:

Les réseaux électriques, en très grande majorité, transportent l'énergie électrique sous la forme de systèmes triphasés, les dispositions et grandeurs caractéristiques de ces systèmes sont :

- La fréquence: Dans le monde, deux valeurs distinctes de fréquence :

-Le 50 Hz caractérise les réseaux Européens, Asiatiques, Russes et Africains.
-Le 60 Hz caractérise les réseaux Américains, Canadiens et Japonais

- Les niveaux de tension.
- Les différents types de découplage. [8]

I.3.4. Poste Source :

I.3.4.1. Définition :

Un Poste Source est un ouvrage électrique industriel essentiel dans le système électrique, à la frontière entre le Réseau Public de Transport (RPT) et celui du Réseau Public de Distribution (RPD). À la jonction des lignes électriques haute tension du réseau de transport et du réseau de distribution, le Poste Source comprend plusieurs transformateurs abaissant l'électricité de la haute tension HTB 225 kV, 90 kV ou 63 kV à la haute tension HTA (appelée anciennement moyenne tension).

Dans le cas général, le Poste Source assure l'alimentation en électricité sur un secteur précis tout en assurant sa protection (maîtrise de la tension, automatismes de protection...). Il soutire alors l'énergie à partir du RPT pour alimenter le réseau de distribution alimentant les clients raccordés en haute tension HTA et en basse tension BT.

Dans certains cas, il peut servir à collecter de la production d'électricité HTA et à l'injecter, totalement ou partiellement, sur le RPD ou le RPT.

Un Poste Source est aussi un point d'accès privilégié au RPT. RTE (réseau de transport d'électricité) peut, selon les référentiels nationaux applicables, s'appuyer sur tout Poste Source pour procéder à une extension du RPT destinée au raccordement d'une nouvelle Installation ou à l'établissement d'une liaison de bouclage entre deux points du RPT. [13]

Ils sont constitués en phase initiale d'un transformateur alimenté par une arrivée HTB (HT1) et alimentant lui-même une ou deux rames, ou jeux de barres (figure I.10.a). En seconde phase, avec l'augmentation des charges à desservir, un second transformateur est ajouté (figure I.10.b) et le poste est généralement raccordé à une deuxième arrivée HTB (HT2) appelée "garantie ligne". En phase finale, un troisième (et quelque fois plus) transformateur est ajouté en double attache (figure I.10.c).

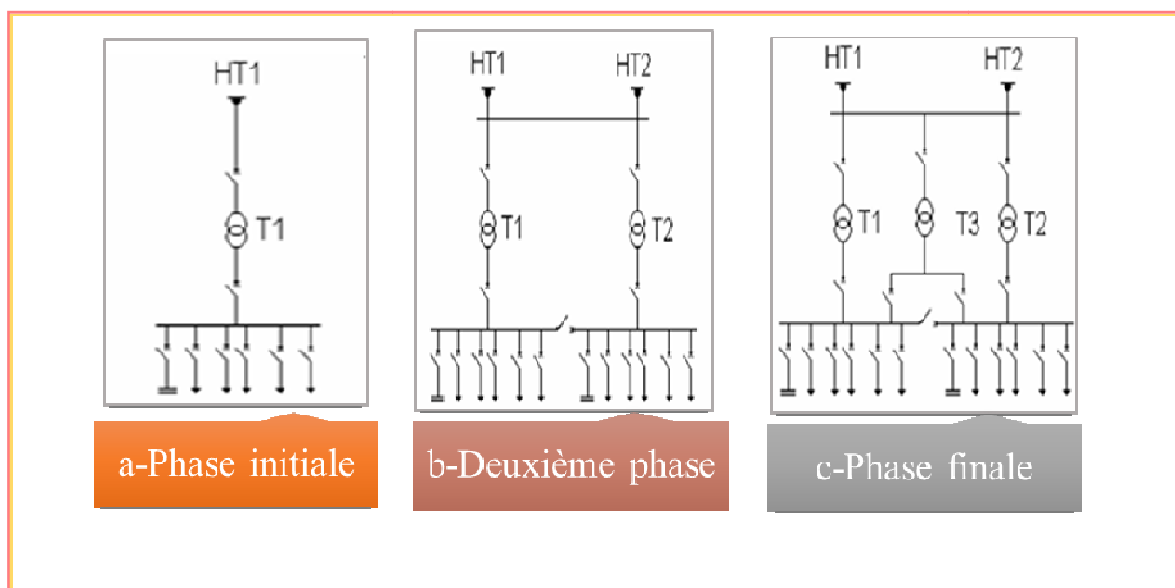


Figure I.10: Schéma générale des postes sources HTB/HTA

I.3.4.2.La protection des postes-sources :

Les systèmes de protection, de commande et de contrôle des postes-sources ont évolué par paliers techniques.

A celui des protections indirectes (électromécaniques puis électroniques) a succédé le palier analogique dit des «protections sans alimentation auxiliaire » dont le déploiement a débuté en 1986. Simultanément, la technologie numérique faisait son entrée dans l'environnement très perturbateur (au plan électromagnétique) du poste-source ; dans un premier temps, elle fut cantonnée aux équipements modulaires de commande et de contrôle : consignateur d'état, synoptique de conduite locale et équipement de télé conduite, automate de gestion des émissions à 175 Hz.

Le palier des « Protections et Contrôle Commande Numérique » (PCCN) a été défini et doit équiper à terme les ouvrages neufs et remplacer les matériels anciens nécessitant un maintien en conditions opérationnelles trop coûteux. Ce choix de la technologie numérique pour les protections, les automates, les télésignalisations, la télécommande et les télémesures vise à faciliter les évolutions du plan de protection (téléparamétrage, modifications logicielles) et à gagner en fiabilité du système (autotest des matériels). Les interventions seront facilitées par l'utilisation d'outils informatiques de maintenance et de configuration. [14]

I.3.5. Les systèmes de distribution :

Les systèmes de distributions sont conçus généralement pour délivrer la puissance transportée par le réseau de transport vers les centres de consommation. Pour réaliser ceci, les sous-stations de distribution reçoivent de la puissance à partir des lignes de transport et les transformateurs de puissance. Les réseaux de distribution sont de structure arborescente, non maillé. Cela signifie que tout point desservi n'est, à chaque instant alimenté que par un seul chemin électrique venant d'un poste source, passant successivement dans un réseau HTA, poste de distribution HTA/BT (haute tension A /basse tension) puis dans un réseau secondaire BT comme montre la figure I.11. [6]

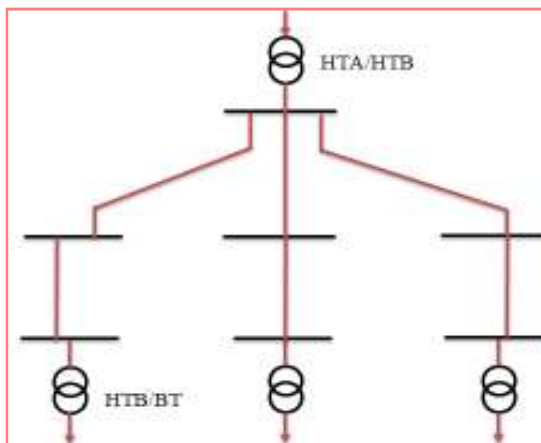


Figure 1.11 : Schéma arborescent d'une station de distribution [6]

Les feeders consistent des jeux de barres principales monophasés, triphasés et biphasés pour l'interconnexion des départs et des transformateurs qui baissent la tension vers des niveaux d'utilisation et alimentation secondaire.

I.4. Evolution des réseaux électriques :

✚ Evolution de la consommation et de la production d'électricité en Algérie :

L'évolution des consommations est scindée en deux mouvements : l'évolution de la consommation spécifique et l'arrivée de nouveaux consommateurs, que ce soit au secteur industriel qu'il s'agisse des entreprises existantes ou à venir ou au secteur domestique.

L'arrivée de nouveaux consommateurs domestiques sur le réseau dépend en premier lieu de l'évolution démographique qui représente un mouvement à grande inertie, dont la trajectoire est facilement prévisible.

Le nombre d'abonnés au réseau électrique est passé de 4,5 millions en 2000, à près de 9 millions au début de l'année 2016. Le taux d'électrification est ainsi passé de 88,7% en 2000 à 99% à la fin de 2015.

Aujourd'hui, le souci est double car il s'agit de préserver les ressources énergétiques d'origine fossile dont les réserves s'épuisent et répondre aux défis de l'heure. C'est pourquoi, le gouvernement s'est orienté vers la mise en valeur des ressources inépuisables, tel que le soleil, qui place l'Algérie au rang des pays les plus nantis.

La figure I.12 représente l'évolution de la production et de la consommation Pour l'ensemble de la période 1971-2006. On a enregistré l'évolution de la consommation d'une moyenne annuelle de 13 GWh (Gigawattheure), c'est en 2005 qu'on a enregistré le plus haut niveau qui est de 29.524 GWh.

La consommation énergétique du pays est passée de 30 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2000 à 58 millions TEP en 2015. [15]

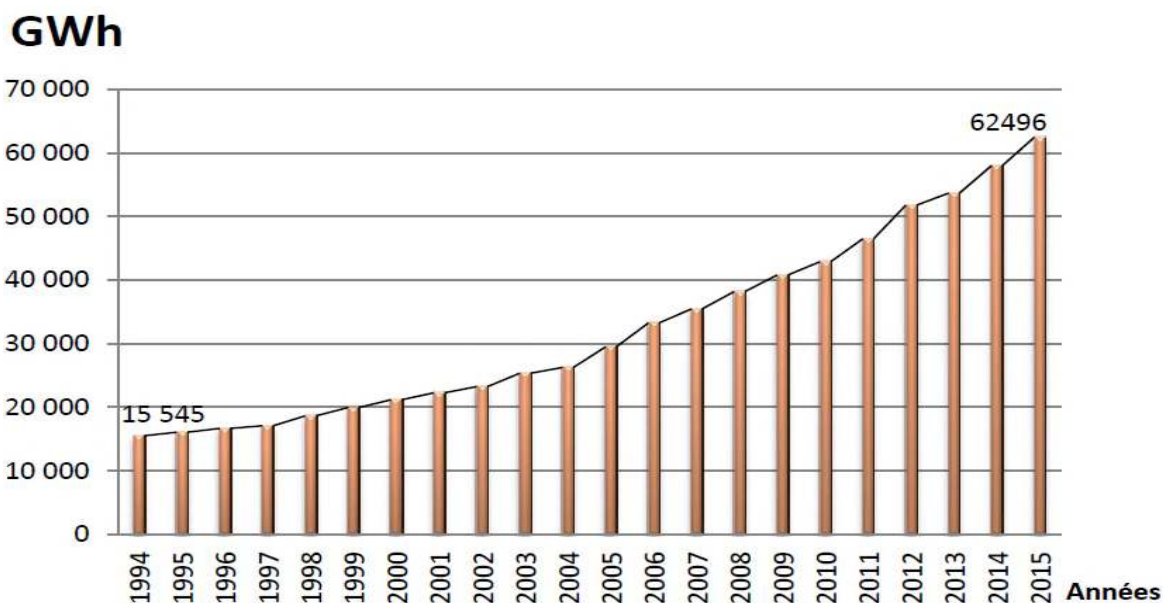


Figure I.12 Evolution de la production et de la consommation d'électricité en Algérie [15]

Evolution de la consommation d'électricité en pays méditerranéens (MEDA) :

La figure I.13 représente l'évolution de la consommation d'électricité en pays méditerranéens (MEDA) :

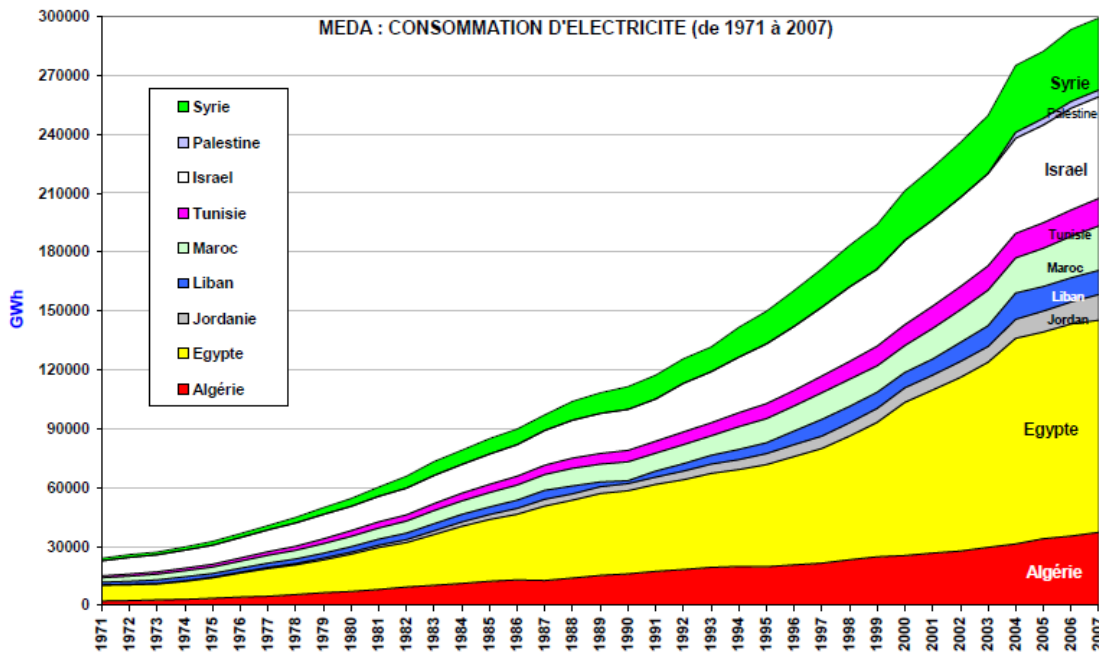


Figure I.13 : MEDA (méditerranéens) : Consommation d'électricité (de 1971 à 2007) [12]

La production d'électricité dans la zone est assurée par trois sources principales : thermique (288 TWh en 2007) hydraulique (21 TWh, principalement en Egypte, en Syrie et au Maroc) et renouvelables (1,2 TWh, essentiellement éolienne, en Egypte, au Maroc et en Tunisie). Dans le tableau ci-dessous est donnée la répartition des combustibles à l'entrée des centrales électriques thermiques par pays et par source d'énergie.

Cette production thermique d'électricité en 2007 a été basée essentiellement sur le gaz naturel à 59% suivi par le fioul/diesel à 23% (dont 20% fioul) et par le charbon à 17%.

Trois pays (Egypte, Algérie et Israël) utilisent plus des deux tiers des combustibles fossiles consommés en entrée centrales. A noter que deux pays (Algérie et Egypte) sont à plus de 80% d'électricité thermique au gaz naturel. Et deux autres pays (Israël et Maroc) sont à plus de 70% d'électricité thermique au charbon, mais Israël comme le Maroc, ont commencé à utiliser le gaz depuis 2005 avec des quantités de plus en plus croissantes de gaz dans la production d'électricité. [12]

	TOTAL	Charbon	Total production pétrolier	Diesel	Fioul	Gaz Nat.	% Pays
Algérie	10162		96	96		10066	16%
Egypte	21833		4363	117	4246	17470	34%
Israël	11791	7976	1544	638	906	2271	18%
Jordanie	3120		714	90	624	2406	5%
Liban	2145		2145	1122	1023		3%
Maroc	4401	3115	724	4	720	474	7%
Palestine	106		106	106			0.2%
Syrie	7792		7	7	4950	2835	12%
Tunisie	2865		1	1	339	2526	4%
TOTAL	64216	11091	14988	2182	12806	38048	100%
%source	100%	17%	23%	3%	20%	59%	

Tableau I.1 : 2007 MEDA, combustibles dans les centrales électriques [12]

I.4.1. Structure classiqued'unréseauélectrique :

La figure I.14 montre une représentation verticale (sens unique) desréseaux électriquesclassiques où le transfert de la puissanceélectrique généréeprend un seul sens durant toute la chaine (production, transport et distribution). [6]

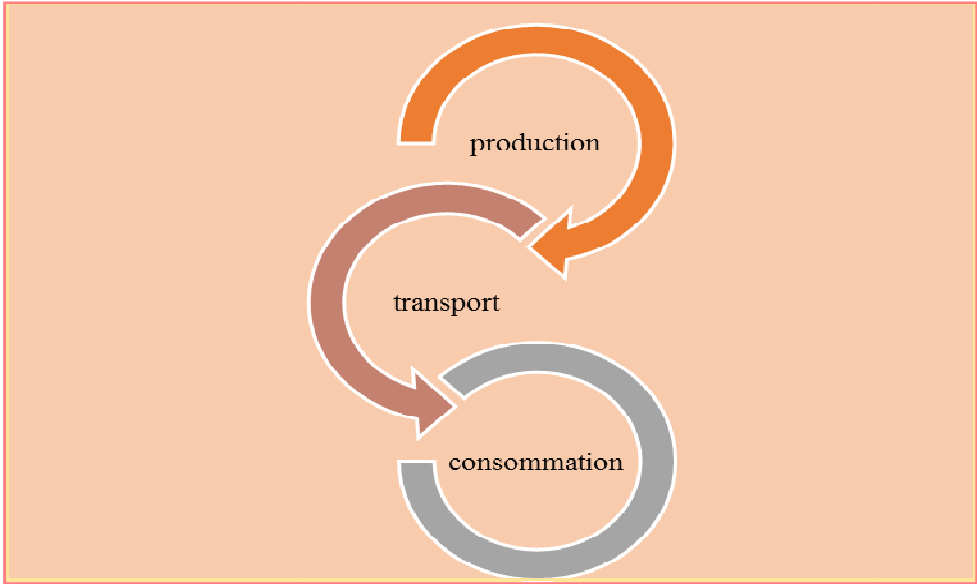


Figure 1.14 : Représentation verticale (sens unique) des réseaux électriques classiques.

I.4.2. Structure moderne ou intelligente d'un réseau électrique :

La figure I.15 présente quelques changements significatifs dans la structure actuelle du réseau électrique par rapport à celle classique. Les réseaux électriques actuels ou réseaux intelligents permettent le transfert de l'énergie dans les deux sens, afin de donner l'occasion d'intégration à d'autres sources parmi lesquelles les sources d'énergies de type renouvelable.

Aussi les réseaux intelligents permettent l'insertion des nouvelles formes disponibles dans la vie quotidienne comme les véhicules électriques [6]

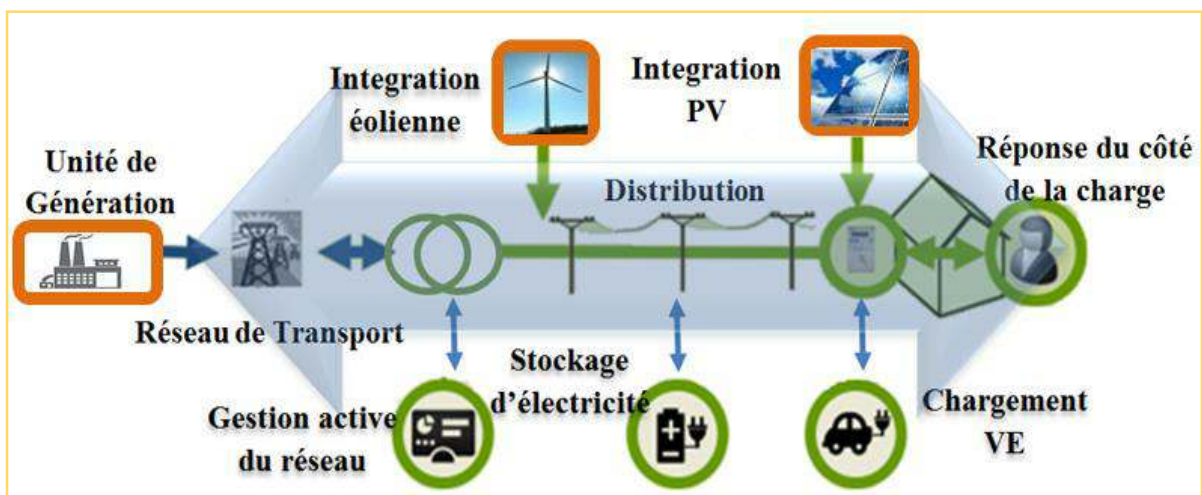


Figure 1.15: Représentation horizontale (bidirectionnelle) des réseaux électriques actuels [6]

❖ Définition du réseau intelligent

Un réseau électrique intelligent est un réseau électrique capable d'intégrer au meilleur coût les comportements et les actions de tous les utilisateurs qui y sont reliés : producteurs, consommateurs ainsi que ceux qui sont les deux à la fois, l'objectif est d'assurer au système électrique d'être durable et rentable, avec des pertes faibles et avec des niveaux élevés de sécurité, de fiabilité et de qualité de fourniture» .[16]

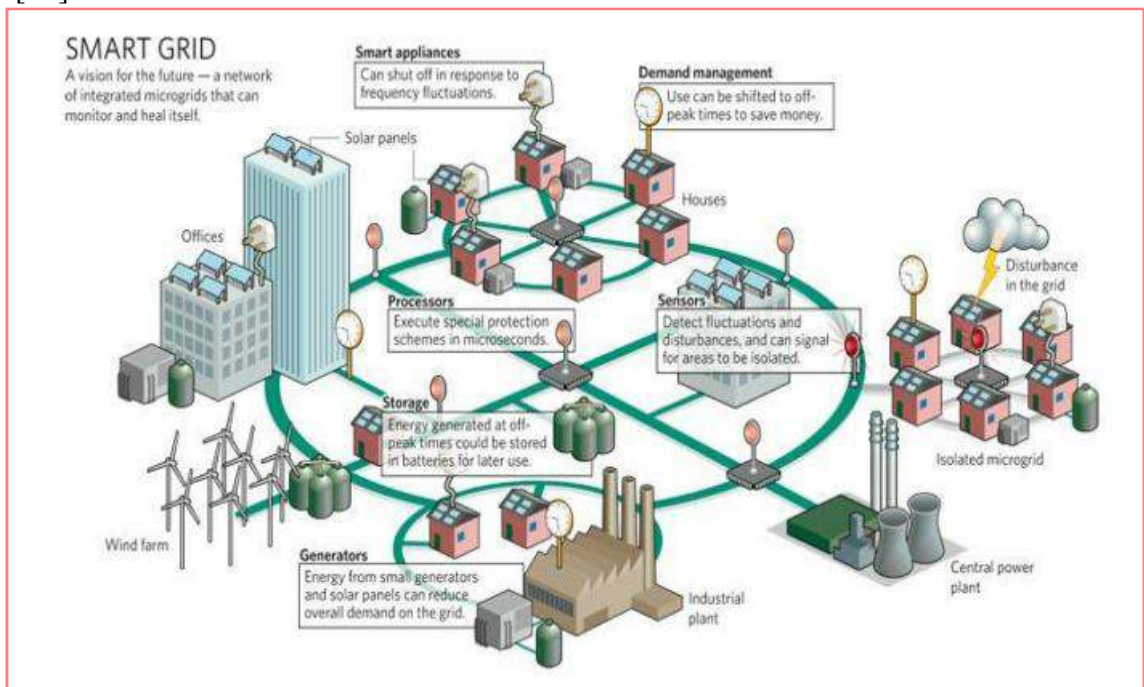


Figure .I.16: Schémagénérald'un systèmede réseautintelligent [17]

❖ Comparaison entre les réseaux électriques anciens et actuels

Le tableau I.2 : présente quelques différences principales du réseau électrique actuel (intelligent) par rapport à réseau électrique ancien (traditionnel). [18]

Réseau traditionnel (ancien)	SmartGrid (actuel)
Electromécanique, étatsolide	Digitale/Microprocesseur
Une seuledirectionetcommunicationlocalisée.	Bidirectionnel, réseaudedecommunicationétendue.
Génération centralisée.	Adopte une génération distribuée et mixte (décentralisée).
Protection,surveillancet contrôlélimités.	protectionadaptativeplusfiable.
Restaurationmanuellelente.	Automatique,etSelf-Healing
Vérificationmanuelle des équipements.	Surveillance des équipements à distance.
Systèmes de contrôle des défauts limités (quelquesdétecteurs).	Pénétration des systèmes de contrôle de défauts (détectionsà grande échelledu réseautélectrique)
Fiabilitéestimée.	Fiabilitéprédictiveduréseau,plusefficacement améliorée.

Tableau I.2 : Comparaison entre le réseau électrique traditionnel et intelligent [18]

1.5. Les générateurs distribués programmables (DG)

Les générateurs programmables sont les générateurs, dont la source primaire d'énergie est disponible tout le temps et à volonté (fioul, gaz naturel, hydrogène), permettant une puissance de sortie contrôlable en tout instant. Les sources d'énergie connectées au niveau de la distribution DG (générateur électrique distribué) peuvent avoir une réponse rapide ou lente aux erreurs de puissance, et ainsi fournissent une flexibilité locale. [19]

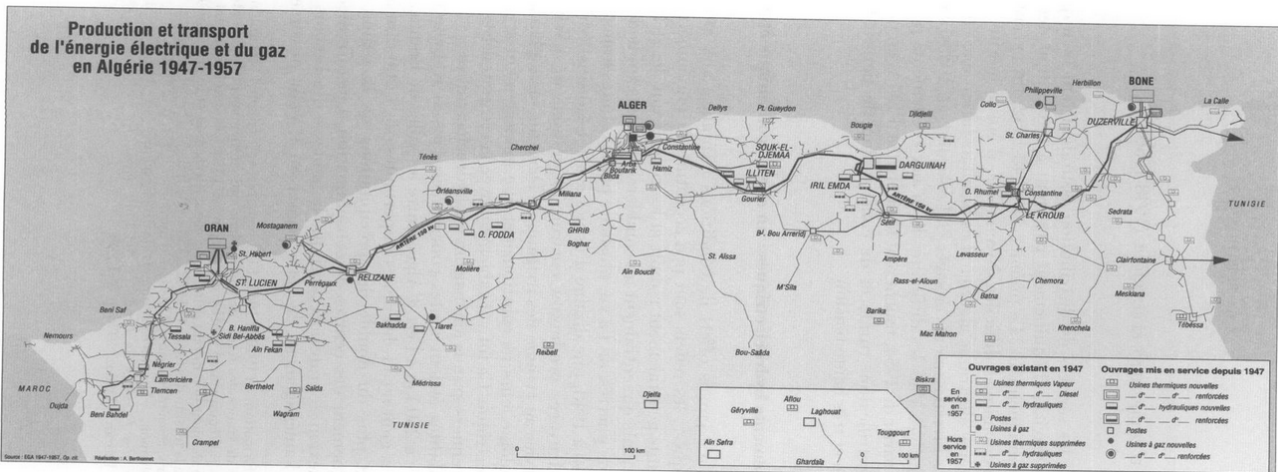


Figure .I.17 :une carte géographique sur la localisation et les différents réseaux électriques à l'échelle nationale d'un premier réseau électrique réalisé en Algérie.[20]

I.6.Conclusion :

Ce premier chapitre est consacré aux généralités sur les réseaux électriques distribués dont il comporte quelques notions sur la production, le transport et la distribution de l'énergie. On y retrouve ensuite des rappels sur l'évolution des réseaux électriques et les générateurs distribués programmables. Dans le chapitre qui suit on va parler sur les systèmes de production d'énergie électrique multi source.

Chapitre II

*Les systèmes de production d'énergie
électrique multi-source*

II.1. Introduction :

Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides sont de plus en plus populaires pour la production d'électricité des zones isolées grâce aux progrès des technologies d'énergie renouvelable [21], et sont généralement conçus pour répondre à un besoin énergétique allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète de villages ou de petites villes. [22]

II.2. Définition de système d'énergie électrique multi-source :

Le système hybride de production de l'énergie d'un point de vue plus général, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit. [23]



Figure.II.1 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien. [24]

Avec :

A : Panneau Photovoltaïque

a : Parafoudre

B : Éolienne

m : Moniteur de batterie

R : Chargeur de batterie

S : Sectionneur

1 : Disjoncteur de protection

2 : Régulateur charge/décharge

3 : Disjoncteur CC

4 : Batterie

5 : Onduleur

6 : Coffret de branchement électrique

II.3. Classification :

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Dans la suite sont présentées les classifications les plus répandues.

II.3.1. Le régime du fonctionnement

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique comme l'indique la figure 2 appelés aussi connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome comme l'indique la figure 3. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc. [25]

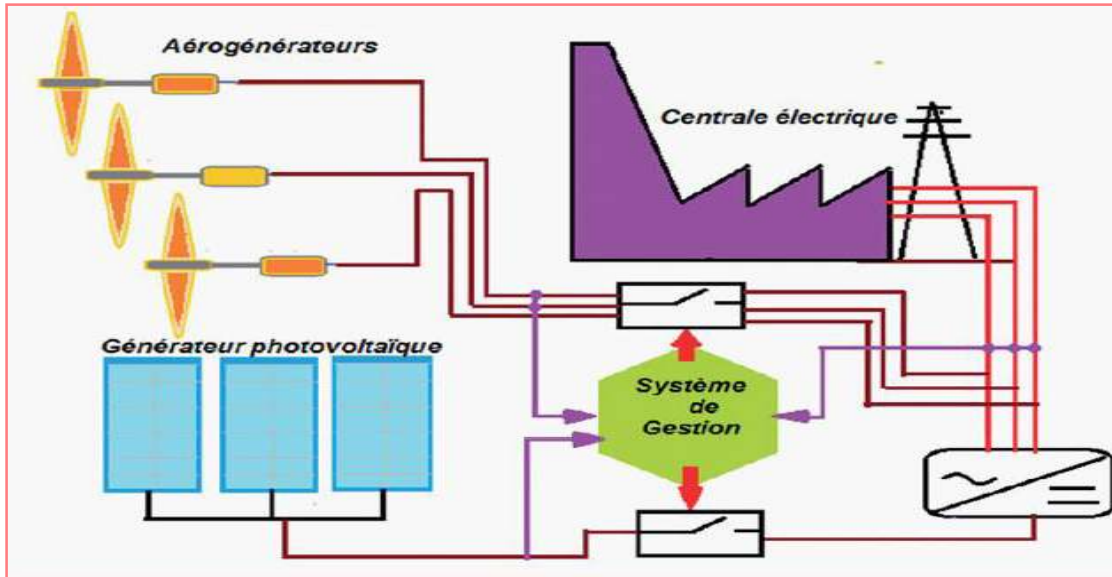


Figure II.2. : Système hybride connecté au réseau. [26]

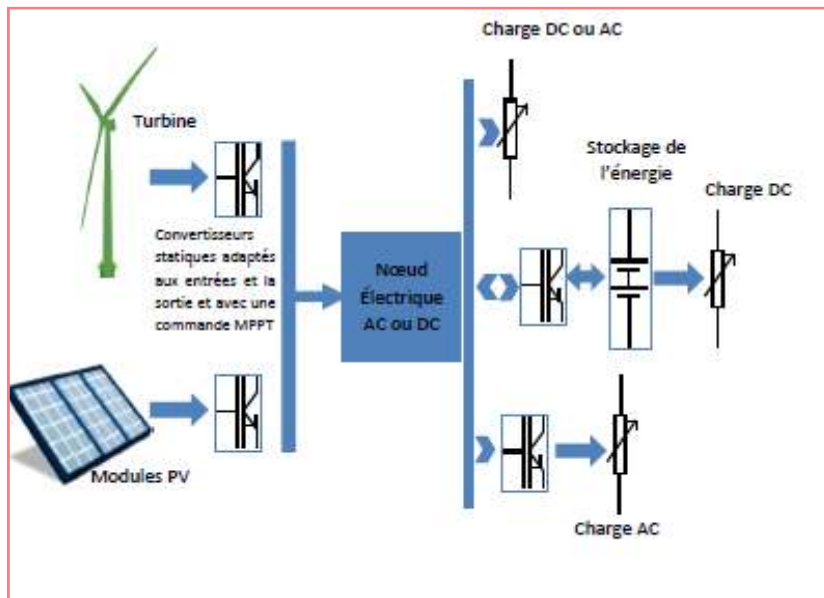


Figure.II.3 : système hybride autonome. [26]

II.3.2. La structure du système hybride :

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut

être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière.

Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc....

La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. [27]

Une généralisation de la classification présentée est illustrée sur la Figure 4.

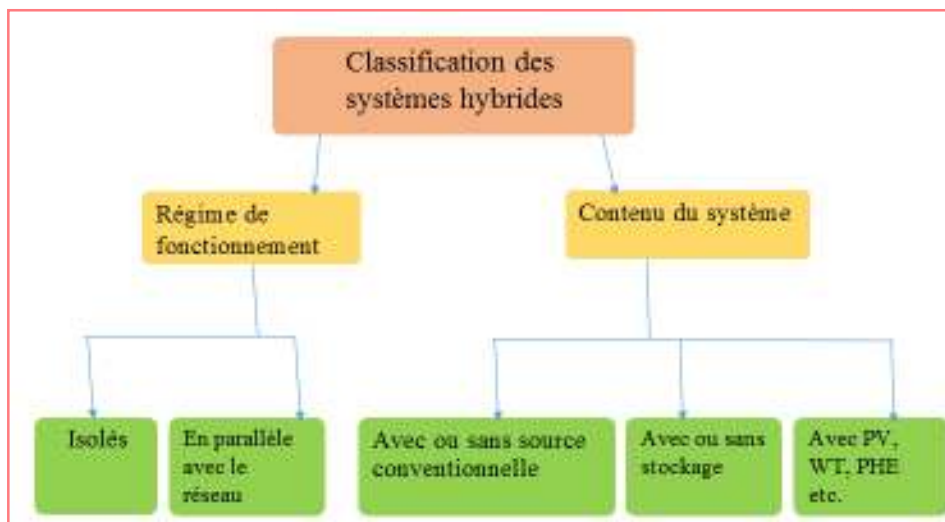


Figure.II.4 :Classification des systèmes hybrides.

II.4. Etudes des structures de systèmes hybrides :

II.4.1. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle :

C'est une structure dotée d'une source d'énergie conventionnelle définie généralement par un générateur diesel et une autre source d'énergie renouvelable (photovoltaïque, éolienne,... etc.).[28]

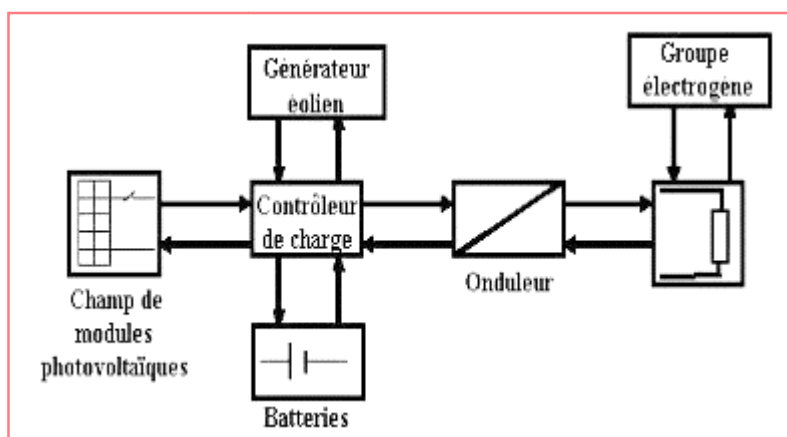


Figure.II.5 : Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle [29]

II.4.1.1. Système photovoltaïque/source conventionnelle :

Ce type de système hybride est utilisé le plus souvent dans des sites qui se caractérisent par un climat chaud comme par exemple l'Algérie et l'Arabie saoudite, etc. où le potentiel solaire est important. L'objectif de ces systèmes lorsqu'ils travaillent en mode autonome, est d'alimenter sans interruption une maison, un bâtiment de logements ou administratif ou un village. D'autres systèmes alimentent des centres de recherche qui sont également connectés au réseau électrique. [30]

Les systèmes autonomes contiennent souvent des batteries mais aussi d'autres dispositifs de stockage. Les batteries et le champ photovoltaïque produisent du courant continu. Par contre, les moteurs diesels peuvent entraîner des générateurs continus ou alternatifs. Le plus souvent, les consommateurs demandent du courant alternatif ; on distingue alors différentes structures de systèmes selon le type de la machine électrique couplée avec le moteur diesel. Ces structures ont été décrites et classifiées selon le type de flux énergétiques. Chaque configuration, ses avantages et ses inconvénients sont cités en ci-dessous. [30]

- La première configuration est la connexion série. Dans ce cas, le générateur diesel est connecté sur le bus courant continu. La connexion peut être directe (dans le cas d'un générateur de courant continu) ou à travers un redresseur. L'installation photovoltaïque et la batterie sont aussi liées à ce bus. Le consommateur est alimenté par un onduleur. Le schéma de principe d'un système hybride avec une telle configuration est présenté sur la Figure 6.

Dans cette configuration, le générateur diesel peut alimenter la charge à travers les convertisseurs électroniques ou charger la batterie. D'après la stratégie de gestion du système hybride, l'énergie produite par l'installation photovoltaïque peut directement alimenter la charge ou passer par la batterie. Cette dernière a pour rôle de fixer la tension de bus continu et diminuer le recours au générateur diesel (minimiser le coût du diesel). [31]

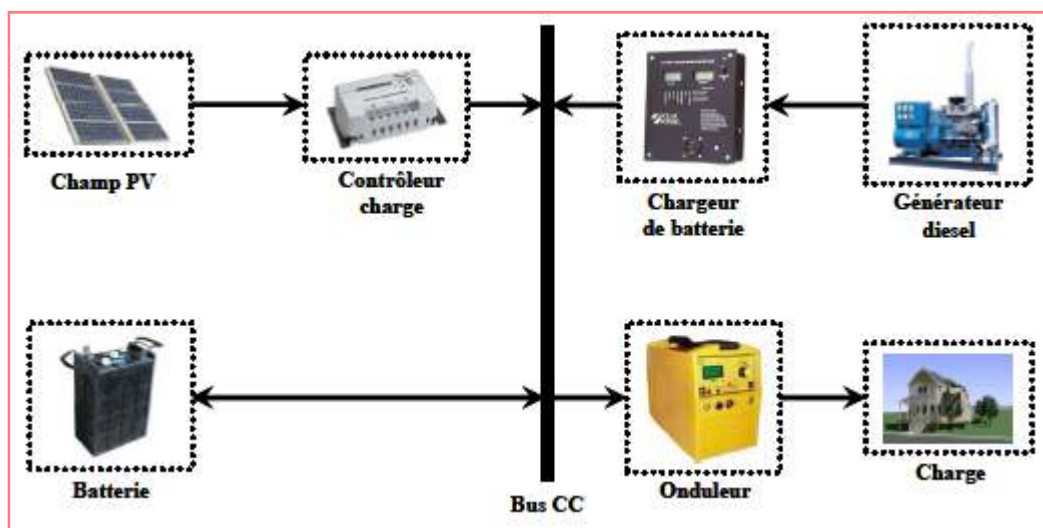


Figure.II.6 : Système hybride avec connexion série. [32]

Les avantages	Les inconvénients
Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif.	L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière qu'il puisse couvrir la charge maximale possible.
Un dimensionnement facile du générateur diesel.	La batterie doit avoir un grand volume
Grâce à l'onduleur, le consommateur peut être alimenté avec une tension, dont la forme du signal, la valeur et la fréquence sont convenables	Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant alternatif, parce que la puissance fournie est convertie deux fois avant d'arriver au consommateur.
La mise en marche du générateur diesel n'est pas liée avec une interruption de l'alimentation électrique.	Une avarie éventuelle de l'onduleur provoque une coupure totale de l'alimentation électrique

Tableaux II.1 : Les avantages et les inconvénients d'un système hybride avec connexion série [31]

- La deuxième configuration possible est à commutation. Elle est souvent utilisée malgré quelques inconvénients. Le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par l'installation photovoltaïque et la batterie via l'onduleur. L'alimentation par les deux simultanément n'est pas possible. Le générateur diesel peut charger la batterie par l'intermédiaire d'un redresseur. La gestion du système doit être automatique à cause de la complexité du système hybride. Le schéma du système est présenté sur la Figure 7. [33]

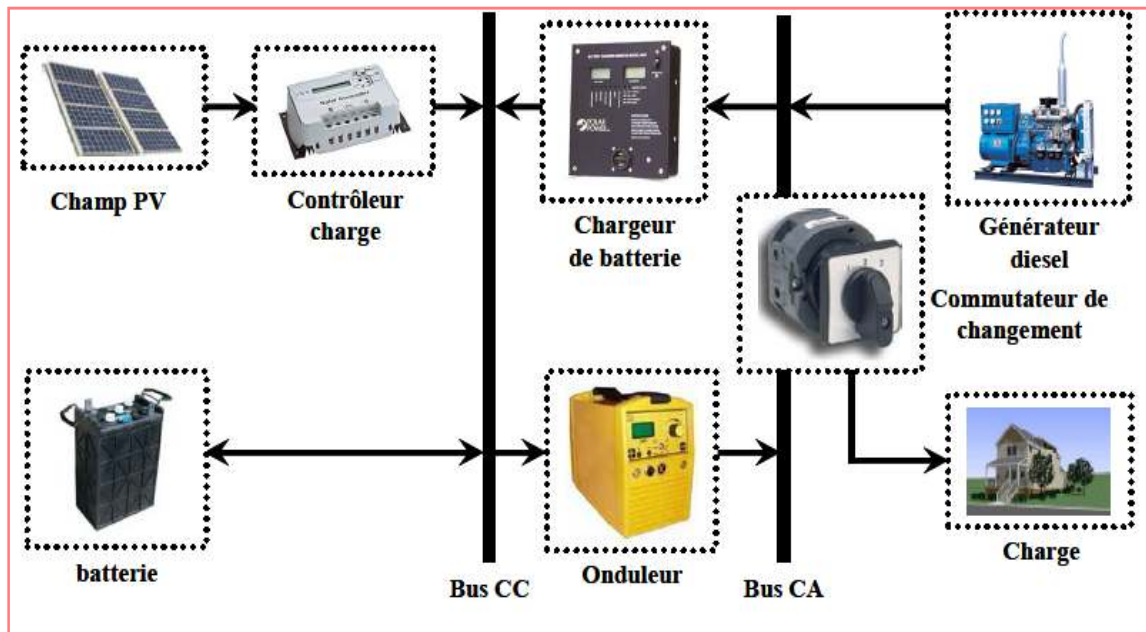


Figure.II.7 : Système hybride à commutation. [32]

Les avantages	Les inconvénients
Le système possède un rendement plus haut, parce que le générateur diesel peut alimenter directement la charge, d'où une baisse de la consommation de fuel	• L'apparition d'une coupure instantanée de l'alimentation lors de la commutation des sources.
L'onduleur peut assurer au consommateur la tension demandée en forme et valeur.	Une construction complexe
Une avarie de l'onduleur n'engendrera pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique, parce que la charge peut être satisfaite par le générateur diesel.	Le générateur et l'onduleur doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système. De cette façon, ils fonctionnent avec un moindre rendement lors des périodes de faible charge.

Tableaux II.2 : Les avantages et les inconvénients d'un système hybride à commutation [33]

- La dernière configuration d'un système hybride photovoltaïque/source conventionnelle est à connexion parallèle. Ici le générateur diesel est interconnecté sur le bus de courant alternatif. L'installation photovoltaïque et la batterie sont liées sur un autre bus de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe dans le chargement de la batterie, soit comme onduleur, quand la charge (ou une part d'elle) est satisfaite par les panneaux photovoltaïques et/ou la batterie. De cette façon, la charge peut être alimentée par les deux bus simultanément. Le schéma d'un tel système hybride est représenté sur la Figure 8. [34]

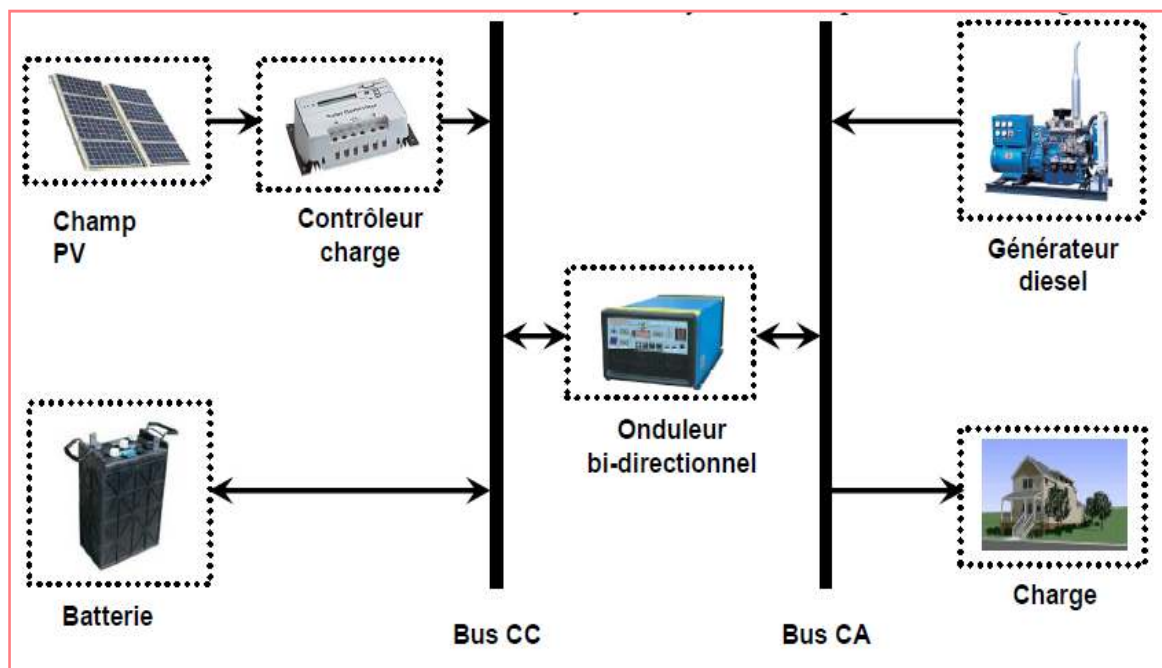


Figure.II.8 : Système hybride à connexion parallèle. [32]

Les avantages	Les inconvénients
Les composants du système ne doivent pas être dimensionnés pour la charge totale, parce que le consommateur peut être alimenté par les deux sources en même temps.	Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système.
Un meilleur rendement, parce que les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale. De plus il n'y a pas une conversion de l'énergie produite par le générateur diesel.	Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.
Une avarie du convertisseur électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge.	Le personnel, qui s'occupe du fonctionnement correct du système, doit être qualifié.

Tableaux II.3 : Les avantages et les inconvénients d'un système hybride à connexion parallèle. [34]**II.4.1.2. Systèmes éolien/source conventionnelle :**

Les recherches sur les systèmes hybrides éolien/diesel se distinguent des études sur les systèmes hybrides photovoltaïques car les éoliennes sont capables de produire du courant alternatif identique à celui produit par le générateur diesel. De cette façon il n'y a pas une grande diversité des configurations du système hybride.

Ces systèmes sont plus répandus sur les îles, où les brises de mer et le vent favorisent l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité. Des études ont été réalisées sur des systèmes installés sur des îles de diverses tailles petites comme les îles Canari, en passant par des îles moyennes comme la Corse (France, 2001), jusqu'aux grandes îles comme L'Angleterre (Bowen et al, 2001). [31]

II.4.1.3. Systèmes photovoltaïque/éolien/diesel :

La mise en place d'un tel système a pour objectif de diversifier les sources d'énergie renouvelables. On recherche ainsi une diminution plus significative de la quantité de fuel consommé puisque les sources renouvelables peuvent se compléter et fournir une plus grande quantité d'énergie. Une partie des travaux est orientée vers des systèmes installés ou vers la conception de nouveaux systèmes. On trouve aussi des études d'interconnexion de systèmes dans le réseau électrique, dans l'état de New York ou en Arabie saoudite. D'autres auteurs optimisent la configuration du système selon divers critères : probabilité de perte de charge, combinaison d'un coût minimal du système et d'une quantité minimale d'émissions nuisibles auxquels s'ajoute la charge non satisfaite minimale. Pour trouver le système optimal on utilise des algorithmes de Pareto, des algorithmes génétiques et évolutifs ou de la logique floue. Ces systèmes alimentent des maisons et des refuges ou des villages. Ils peuvent être autonomes ou interconnectés avec le système électrique du pays.

Le stockage peut être sous forme de batteries, de réservoir d'hydrogène avec électrolyseur et pile à combustible ou d'une combinaison des deux. Rothert et Wollny (2006) développent une stratégie optimale de gestion du dispositif de stockage. [33]

II.4.2. Systèmes hybrides sans source conventionnelle :

Ces systèmes hybrides fonctionnent surtout en mode autonome dans des sites où l'approvisionnement en carburant diesel ou le raccordement au réseau électrique est difficile, voire même impossible. Dans la suite

de ce paragraphe, quatre configurations de système hybride avec ou sans stockage, seront présentées. [22]

II.4.2.1. Système hybride photovoltaïque/stockage :

L'installation photovoltaïque doit être raccordée avec une autre source d'énergie, pour qu'il soit possible de satisfaire la charge durant la nuit ou par temps nuageux.

Ces systèmes alimentent soit des maisons, soit des villages. Certains travaux traitent de modélisation et d'analyse, d'autres de dimensionnement optimisé des composants du système. Le critère d'optimisation le plus souvent utilisé est la probabilité de perte d'alimentation. Ils présentent des résultats de 6 systèmes d'une puissance totale de 6,3 kW et des résultats de systèmes hybrides implantés dans des centres de recherche. La stratégie de gestion de l'énergie a été étudiée par des algorithmes pour le suivi du point de puissance maximale qui ont été développés à partir de la logique floue. La production photovoltaïque d'hydrogène est également étudiée par électrolyseur pour différentes technologies par Conibeera et Richards

Le stockage est parfois idéal (Mulder et al, 2010), un banc de batteries, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de deux dispositifs de stockage différents comme électrolyseur et batterie (Islam et Belmans, 2004) ou électrolyseur et super condensateur (Uzunoglu et al, 2009). L'utilisation de super condensateurs est de conception très récente et, ils sont utilisés pour un stockage très court avec une réactivité de quelques dixièmes de secondes, tandis que l'électrolyseur et le réservoir d'hydrogène permettent un stockage plus important en termes de quantité stockée mais plus lent (Thounthong et al, 2009). Mulder et al (2010) étudie un système hybride alimentant un ensemble d'habitations en parallèle avec le réseau électrique. Il surmonte ainsi les surtensions en bout de lignes électriques et les manques d'alimentation lors des coupures du réseau. Différents logiciels ont été utilisés dans les études : Matlab (Islam et Belmans, 2004 ; El H Shatter et al, 2002; Uzunoglu et al, 2009) et ESRA (Fragaki et Markvart, 2008). [31]

II.4.2.2. Système hybride éolien/stockage :

L'interconnexion du dispositif de stockage avec un générateur éolien peut avoir deux objectifs possibles : soit un rôle de tampon lorsque le système fonctionne en parallèle avec le réseau électrique, le dispositif permet alors de lisser les variations rapides de la puissance électrique en provenance de l'éolienne, soit un rôle de stockage à plus long terme, en régime autonome pour permettre l'alimentation du consommateur lors des périodes de faible vitesse du vent. Le réseau électrique peut être de grande taille, cas des Etats-Unis (Denholm, 2006), ou de faible taille (réseau insulaire) .Les recherches se distinguent aussi par l'intervalle de temps considéré. Dans le cas d'étude de processus à variation lente, les auteurs (Korpaas et al, 2003 ; Nouni et al, 2007) s'intéressent à l'énergie obtenue par chacune des sources. D'autres études sont réalisées sur les processus de courte durée (Iqbal, 2003a ; Shi et al, 2008).

Comme pour les autres systèmes précédemment présentés, ils peuvent alimenter soit un ménage, soit un bâtiment (hôtel) et même un village. Les modes de stockage étudiés peuvent être une batterie, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène, une combinaison des deux, un stockage par air comprimé, des aimants supraconducteurs ou une combinaison d'un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène et un super condensateur.

Lorsque le système opère en parallèle avec le réseau électrique, la stratégie de gestion de la puissance joue un rôle important.

Sur le plan économique, certains auteurs se contentent de donner les prix des divers organes du système, d'autres approfondissent l'analyse économique en calculant le prix du kilowatt heure produit. [33]

II.4.2.3. Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage :

L'inconvénient majeur des deux systèmes hybrides précédemment décrits est le manque de diversité de l'alimentation parce que la ressource primaire utilisée est unique. Cela induit plusieurs inconvénients comme par exemple le surdimensionnement des éléments dont l'objectif est d'assurer une alimentation continue, ce qui va se traduire par un investissement initial élevé (et donc limiter le développement de ces systèmes) et une augmentation du prix du kilowatt heure produit. Ces inconvénients peuvent être limités ou même éliminés par l'incorporation d'une seconde source d'énergie. Les études concernent des systèmes existant, des bancs d'essais ou des travaux théoriques. Dans ce dernier cas, on étudie l'influence de l'ajout d'une seconde source d'énergie dans un système déjà existant où on élabore un nouveau système hybride. La plupart des travaux concerne l'optimisation de la configuration du système hybride selon divers critères : probabilité minimale de perte de charge, coût minimal du kilowatt heure produit, ou la combinaison de ces deux critères combine plusieurs critères d'optimisation tels que la minimisation de la probabilité de manque d'alimentation, de l'énergie produite non utilisée et du coût du kilowatt heure produit.

Comme pour les autres systèmes hybrides, ils peuvent assurer l'alimentation des cellules 3G d'opérateurs mobiles, des ménages ou des villages. Ils sont installés sur tous les continents : en Afrique : Algérie, Asie : Syrie, Malaisie ; au Brésil ; et en Amérique du Nord : Canada. Ces systèmes fonctionnent le plus souvent en régime autonome, mais il existe des travaux sur des systèmes connectés au réseau électrique.

Les dispositifs des stockages sont le plus souvent des batteries, parfois un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de batterie et stockage d'hydrogène.

Les modèles de comportement ont pour paramètres d'entrée les valeurs du rayonnement solaire et les vitesses du vent horaires, les valeurs moyennes mensuelles ou une distribution statistique de Weibull. [31]

II.4.2.4. Système hybride photovoltaïque/éolien sans stockage :

Ce type de système hybride est très rare, parce qu'il n'assure pas une sécurité d'alimentation, il manque soit une source conventionnelle soit un dispositif de stockage. Pour cette raison, les recherches sur ces systèmes sont rares. On a pu trouver des travaux sur un système existant utilisé dans un but éducatif en Northern Iowa, Etats-Unis ; un projet de système hybride pour le réseau électrique d'une île Croate (Urli et Kamenski, 1998); une estimation des performances (Tina et al, 2006). Urli et Kamenski (1998) se basant sur l'hypothèse d'une complémentarité des énergies du vent et du soleil. De cette façon, le système fournira toujours de la puissance dans le réseau électrique insulaire. Son argumentation est d'ordre économique. L'étude théorique de Tina utilise la convolution probabiliste. [33]

II.5. Système de conversion d'énergie hybride

Ce système est caractérisé par deux sources énergétiques (photovoltaïque et éolienne) : le générateur photovoltaïque (PV) est connecté à la charge par un convertisseur DC/DC commandé en MPPT (Maximal Power Point Tracking), et la turbine éolienne (WT) entraîne un générateur à aimants permanents (GSAP) qui lui-même est connecté à la charge par un convertisseur AC/DC commandé. Le couplage des deux systèmes est fait par l'intermédiaire d'un bus continu, comme l'indique la figure 9. [23]

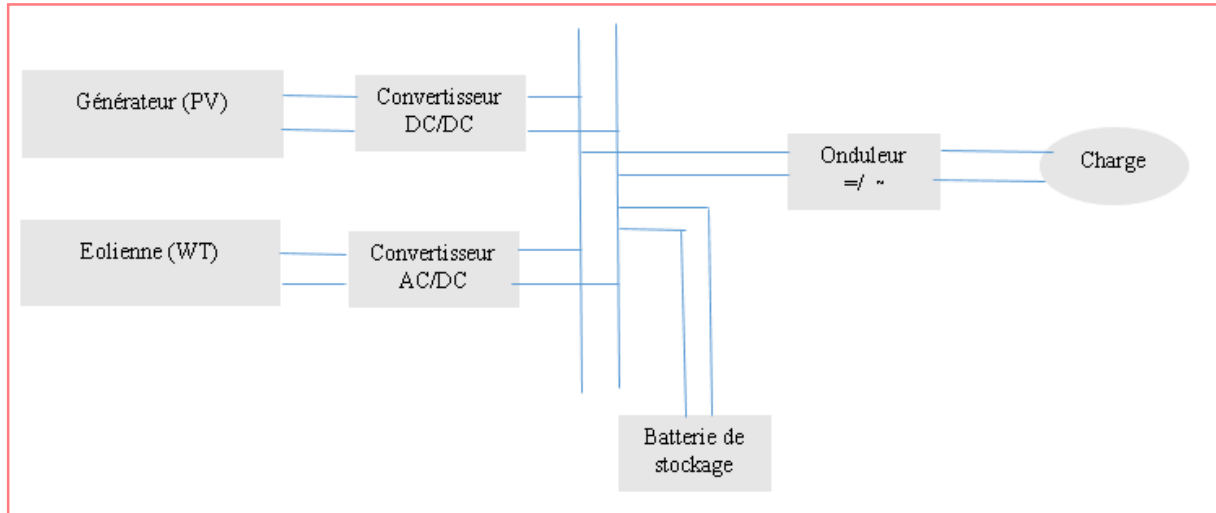


Figure.II.9 : Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien.

II.6. Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les systèmes de production d'énergie électrique multi-source. Dans un premier lieu, nous avons présenté la définition d'un système d'énergie électrique multi-source. Dans le second lieu, nous avons montré la classification d'un système hybride et sa structure ainsi que le système de conversion d'énergie hybride. Dans le chapitre qui suit on va parler sur les topologies des méthodes d'optimisation appliquée.

Chapitre III

*Les topologies des méthodes
d'optimisation appliquée*

III.1.Introduction :

Dans les majorités des systèmes industriels, les régulateurs PI (proportionnel-intégral) et PID (proportionnel-intégral-dérivative) sont utilisés pour réguler des grandeurs tels que la tension, la puissance et la fréquence en raison de leur simplicité fonctionnelle et leurs performances (robuste et fiable). Plusieurs approches sont proposées pour régler les paramètres du contrôleur PI/PID dans la boucle des systèmes électriques. [35]

Plusieurs méthodes d'optimisation ont été proposées dans la littérature, et ont prouvé leur efficacité dans différents domaines d'application. Dans ce chapitre, nous exposons les trois méthodes d'optimisation à savoir : l'optimisation par la méthode de Ziegler et Nicholas, l'optimisation par essai particulaire (PSO) et l'optimisation par la méthode de GWO (L'optimisation du loup gris). Ce dernier fait l'objet de notre simulation Matlab.

III.2. Optimisation par la méthode de Ziegler et Nicholas

En 1942, Ziegler et Nicholas ont proposé deux approches expérimentales destinées à ajuster rapidement les paramètres des régulateurs à structure Proportionnel (P), Proportionnel-Intégral (PI) et Proportionnel-Intégral-Dérivateur (PID), la première nécessite l'enregistrement de la réponse indicielle du système en boucle ouverte, alors que la deuxième demande d'amener le système en boucle fermée à sa limite de stabilité. [36]

III.2.1.Méthode de la réponse indicielle

Pour obtenir les paramètres du régulateur PID, il suffit d'enregistrer la réponse indicielle du processus seul (c'est-à-dire sans le régulateur), puis de tracer la tangente au point d'inflexion de la courbe. On mesure ensuite sa pente p , le retard apparent L correspondant au point d'intersection de la tangente avec l'abscisse et le gain $K_0 = y_{\infty}/E$ (figure III.1). On peut alors calculer les coefficients du régulateur choisi à l'aide du tableau III.1.

Généralement, les gains K_p proposés par Ziegler-Nicholas sont trop élevés et conduisent à un dépassement supérieur à 20%. Il ne faut donc pas craindre de réduire K_p d'un facteur 2 pour obtenir une réponse satisfaisante. [37]

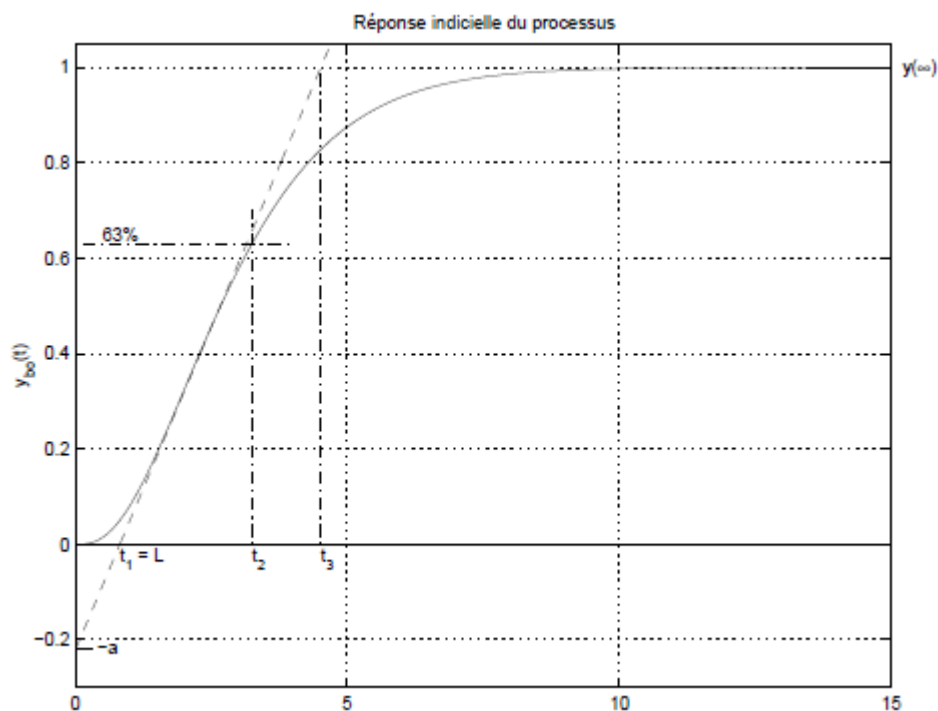


Figure III.1 : Réponse indicielle d'un processus d'ordre 3. [37]

Type	K_p	T_i	T_d
P	$1/(pLK_0)=1/(aK_0)$		
PI	$0.9/(pLK_0)=0.9/(aK_0)$	3L	
PID	$1.2/(pLK_0)=1.2/(aK_0)$	2L	0.5L

Tableau III.1 : Paramètres PID obtenus à partir d'une réponse indicielle (Z Nt).[37]

III.2.2. Méthode de gain critique :

Cette méthode nécessite de boucler le système sur un simple régulateur proportionnel K_p dont on augmente le gain jusqu'à amener le système à osciller de manière permanente ; on se trouve ainsi à la limite de stabilité du système (figure III.2). Après avoir relevé le gain critique K_{cr} et la période d'oscillation T_{cr} de la réponse, on peut calculer les paramètres du régulateur choisis à l'aide du tableau (III.2). [38]

Les valeurs proposées de Ziegler et Nicholas ont été testées dans de très nombreuses situations et il faut souligner qu'ici également elles conduisent à un temps de montée relativement court assorti d'un dépassement élevé.

type	PID	PID parallèle	PID mixte
K_p	$0.3 * K_{cr}$	$0.6 * K_{cr}$	$0.6 * K_{cr}$
T_i	$T_{cr}/4$	$T_{cr}/(1.2 * K_{cr})$	$T_{cr}/2$
T_d	$T_{cr}/4$	$(T_{cr} * K_{cr}) / 13.3$	$T_{cr}/8$

Tableau III.2 :

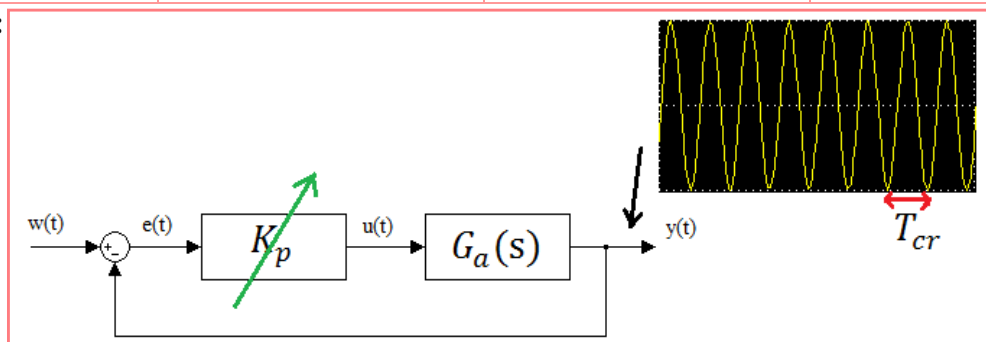


Figure III.2 : Méthode du gain critique. [38]

III.2.3. Avantages et inconvénients de la méthode de Ziegler et Nicholas

❖ **Les avantages :**

- Facile à mettre en œuvre (physiquement et au point de vue calcul).
- Testé sur les systèmes en production, correspond à la réalité, peut être faite à la volée si les caractéristiques du système sont modifiées (usure, changement de l'environnement). [39]

❖ **Les inconvénients :**

- Le système peut devenir instable ou passer dans des états dangereux (chimie)
- Peut prendre beaucoup de temps si le système réagit très lentement (jours, semaines en chimie).

- Heureusement pour les systèmes qui nous concernent (moteurs), ce n'est pas un problème si on limite les tensions/intensités d'alimentation. [39]

III.3. Optimisation par la méthode de PSO (optimisation par essaim de particule):

Comme nous l'avons mentionné, l'algorithme d'Optimisation par Essaim Particulaire (OEP) ou Particle Swarm Optimization (PSO), s'inspire du comportement social des animaux évoluant en essaim, tels que les nuées d'oiseaux et les bancs de poissons. C'est un algorithme itératif à base de population des particules. Il a été proposé par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio psychologue) en 1995. L'ensemble des particules est nommé "essaim" ou "swarm" selon la terminologie anglaise. [40]

Chaque particule représente une solution potentielle au problème d'optimisation. Elle est dotée par :

- Un vecteur de position.
- Une vitesse qui permet à la particule de se déplacer.
- Un voisinage, c'est-à-dire un ensemble de particules (Neighbours) interagissant directement sur la particule, en particulier celle qui a le meilleur critère.

Le principe de l'OEP est de déplacer l'ensemble de particules pour trouver la solution optimale. L'évolution d'une particule à une autre est fondée sur la communication et l'interaction entre elles sans éliminer aucune solution quitte à dégrader la performance.

Le comportement collectif dans l'algorithme d'OEP se manifeste lors du mouvement et le déplacement des particules. En effet, à chaque itération la particule ajuste et modifie sa position en fonction de :

- ❖ sa position et sa vitesse actuelle,
- ❖ sa meilleure ancienne position,
- ❖ la meilleure position de son voisinage. [40]

III.3.1 Problème d'optimisation :

La résolution des problèmes d'optimisation est utilisée dans un grand nombre de domaines. A l'origine, ce sont les militaires qui se sont intéressés à ces questions au cours de la seconde guerre mondiale. C'était en fait un nouveau domaine de recherche en mathématiques appliquées qui a vu le jour avec la recherche opérationnelle. Le développement de l'informatique a ouvert de nouveaux horizons à la résolution de ces problèmes, et a permis un élargissement massif des champs d'application de ces techniques.

La résolution d'un problème d'optimisation est un problème complexe, car de nombreux facteurs interviennent et interagissent entre eux. Néanmoins, l'optimisation appliquée au domaine d'électrotechnique permet de résoudre des problèmes qui étaient insolubles auparavant et aboutit souvent à des solutions originales.

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche d'un minimum ou d'un maximum

(l'optimum) d'une fonction

donnée. Les variables de cette fonction sont souvent contraintes d'évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche. On aura donc un problème d'optimisation sous contraintes. [41]

Mathématiquement, on cherche à minimiser f sur E , c'est à dire, on cherche $x^* \in E$ tel que:

$$f(x^*) = \min f(x) \quad (\text{III.1})$$

III.3.2 Principe de fonctionnement de PSO :

La population dans l'algorithme PSO est nommée essaim, chaque individu du groupe est dit particule. Le déplacement de toute particule (comme indiqué ci-dessus) est régi par des règles et conditions bien

spécifiques, influencé par le mouvement des autres particules du voisinage. Dans un tel contexte ce déplacement à une signification et doit parallèlement répondre à une logique, fondement même du PSO. Il consiste à chercher un optimum dans un voisinage donné, ce déplacement est influé par les trois composantes suivantes : [42]

- Une composante d'inertie : la particule s'efforce de suivre instinctivement son cap de déplacement.
- Une composante cognitive : la particule fait tout pour se diriger vers la meilleure position rencontrée jusqu'à présent.
- Une composante sociale : la particule s'inspire également de l'expérience, du parcours des autres particules, pour se diriger vers la meilleure position rencontrée par ses voisins.

✓ **Formalisation :**

Dans un espace de recherche de dimension D , la particule i de l'essaim est modélisée par son vecteur position $x_{ij} = (x_{i1}x_{i2} \dots x_{iD})^T$ et par son vecteur vitesse $v_{ij} = (v_{i1}v_{i2} \dots v_{iD})^T$

La qualité de sa position est déterminée par la valeur de la fonction objective en ce point. Cette particule garde en mémoire la meilleure position par laquelle elle est déjà passée, que l'on note.

$P_{ij} = (P_{i1}P_{i2} \dots P_{iD})^T$. La meilleure position atteinte par ses particules voisines est notée. [43]

$$g_{ij} = (g_{i1}g_{i2} \dots g_{iD}) \tag{III.2}$$

Le principe de la méthode d'essaim de particule est résumé par la figure III.3.

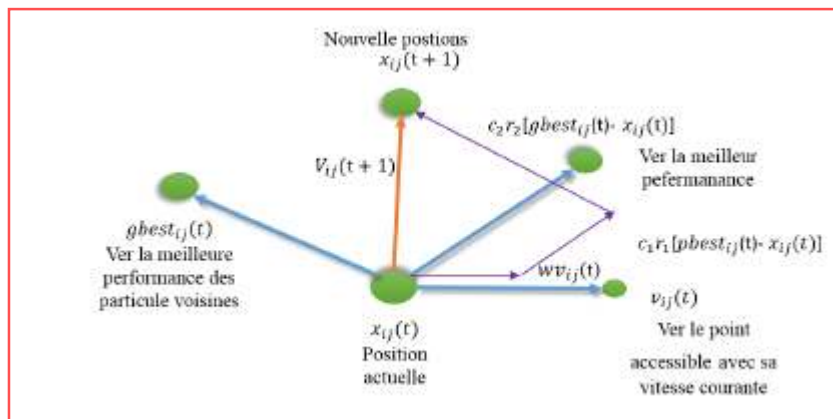


Figure III.3 : Déplacement d'une particule [43]

Le vecteur vitesse est calculé à partir de l'équation (III.3) suivante :

$$v_{ij}(k) = (k - 1) + c_1r_1 (p_{ij}(k - 1) - x_{ij}(k - 1)) + c_2r_2(g_{i}(k - 1) - x_{ij}(k - 1)) \tag{III.3}$$

La position à l'itération de la particule i est alors définie par l'équation (III.4) :

$$x_{ij}(k) = (k - 1) + v_{ij}(k) \tag{III.4}$$

$$i = 1, 2, 3 \dots N_{pj} = 1, 2, 3 \dots N_{dk} = 1, 2, 3 \dots N_{Kmax}$$

Avec :

N_p : Est le nombre de particules de l'essaim.

N_d : Est le nombre de variables du problème (c-à-d dimension d'une particule).

N_{Kmax} : Est le nombre maximal d'itérations.

$v_{ij}(k)$: Est la vitesse de la $j^{ième}$ composante de la $i^{ième}$ particule de l'essaim, à la $k^{ième}$ itération.

P_{ij} : Est la $j^{ième}$ composante de la meilleure position occupée par la $i^{ième}$ particule de l'essaim enregistrée dans les itérations précédentes (local best).

g_i : Est la $j^{ième}$ composante de la meilleure position occupée par la $i^{ième}$ particule globale de l'essaim (global best).

$x_{ij}(k)$:est la $j^{ième}$ coordonnée de la position actuelle de la particule i , à la $k^{ième}$ itération.

ω : est en général une constante appelée coefficient d'inertie, $c1$ *etc* $c2$ sont deux constantes appelées coefficients d'accélération, $r1$ *etr* $r2$ sont deux nombres aléatoires tirés uniformément dans $[0,1]$ à chaque itération et pour chaque dimension.

w . (**k-1**): correspond à la composante physique du déplacement. Le paramètre w contrôle l'influence de la direction de déplacement sur le déplacement futur. Il est à noter que, dans certaines applications, le paramètre w peut être variable.

$c_1 r_1 (p_{ij}best - x_{ij}(k - 1))$: Correspond à la composante cognitive du déplacement où $c1$ contrôle le comportement cognitif de la particule.

$c_2 r_2 (g_i best - x_{ij}(k - 1))$: Correspond à la composante sociale du déplacement, où contrôle l'aptitude sociale de la particule.

Les gammes appropriées de valeur pour $c1$ *etc* $c2$, sont de 1 à 2, mais 2 est le plus approprié dans beaucoup de cas. [43]

Le coefficient d'inertie peut être variable selon :

$$W = Wmax. \left[\frac{Wmax - Wmin}{Kmin} \right]. K \tag{III.5}$$

Où :

Kmax et **k** : sont respectivement le nombre maximum des itérations et le nombre d'itération courante.

Wmin et **Wmax**: sont respectivement les coefficients minimum et maximum d'inertie.

Le coefficient d'inertie w joue un rôle important dans la procédure de recherche. Elle garantit un équilibre entre la recherche locale et la recherche globale, un bon choix de cette fonction augmente l'efficacité de la méthode pour avoir une solution globale. L'expérience a montré que la diminution linéaire de la valeur de 0.9 à 0.4 au cours de la procédure de recherche donne des meilleurs résultats. [43]

III.3.3 Mécanisme de confinement :

Il arrive parfois que compte tenu de la position courante et de la vitesse courante d'une particule, cette dernière a tendance à sortir de l'espace de recherche lors de son déplacement. Lorsque c'est le cas, l'algorithme fait intervenir un mécanisme de confinement, dit confinement d'intervalle, afin de gérer le déplacement de la particule et ce, de manière à ce que celui-ci l'amène sur un nouveau point appartenant lui aussi à l'espace de recherche. De manière générale, ce mécanisme consiste à ramener la particule dans le point admissible le plus proche. [44]

$$\begin{aligned} \text{Si } x_{ij} > x_{jmax} \quad \text{alors } x_{ij} &= x_{jmax} \\ \text{Si } x_{ij} < x_{jmin} \quad \text{alors } x_{ij} &= x_{jmin} \\ v_{ij} &= 0 \end{aligned} \tag{III.6}$$

Où: x_{jmin} et x_{jmax} sont les valeurs limites du paramètre x_{ij} .

III.3.4 Déroulement de l'algorithme :

Pour expliquer le principe de l'algorithme PSO appliqué pour résoudre un problème d'optimisation, considérons le problème de minimisation.

$$\begin{cases} \text{Min } f(x) \\ X \in D \end{cases}$$

La fonction fitness associée est :

$$\text{fitness}(x_j) = f(x_j) \quad (\text{III.7})$$

➤ L'algorithme PSO se déroule suivant les étapes suivantes: [44]

Etape 1 : initialiser une population de particules et de vitesses, uniformément réparties dans l'espace de recherche D , et fixer le critère d'arrêt.

Etape 2 : évaluer la fonction objective, pour chaque particule.

Etape 3 : mettre à jour la meilleure position P_{best} pour chaque particule et la meilleure position globale g_{best} dans la population.

Etape 4 : mettre à jour la position et la vitesse utilisant les équations précédentes.

Etape 5 : si une particule, déplacée par l'algorithme vers la limite ou à l'extérieur de l'espace de recherche, le mécanisme de confinement des particules exprimé par l'équation (III.6) intervient et ramène la particule à l'intérieur de l'espace de recherche.

Etape 6 : vérifier le critère d'arrêt. Si le critère d'arrêt n'est pas satisfait, aller vers l'étape 2 sinon, le programme se termine, et la solution optimale est produite.

La figure III.4 montre l'organigramme qui résume ces étapes :

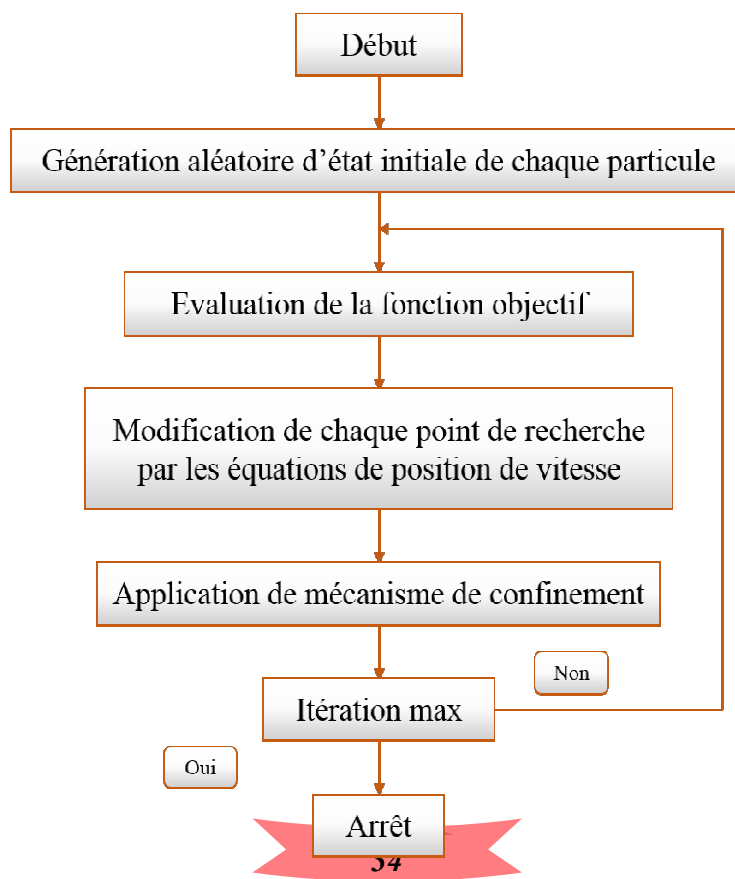


Figure III.4 : Organigramme général de la méthode PSO [43]

III.3.5 Optimisation des paramètres d'un régulateur PID par PSO :

Le manque de méthodes exactes pour la synthèse de régulateurs PID, a guidé les chercheurs à orienter vers l'utilisation d'algorithmes évolutionnaires à cause de leur caractéristique d'exploration globale dans un environnement complexe.

Dans cette partie, nous utilisons les essaims particulaires pour l'optimisation des paramètres d'un régulateur PID, appliqué à la commande de quelques systèmes dynamiques.

La figure (III.5) illustre le schéma de cette approche d'optimisation. Sur ce schéma on retrouve la boucle de régulation classique à laquelle s'ajoute une couche supérieure basée sur un PSO. Le rôle de ce dernier est de fournir les paramètres optimaux du régulateur PID pour améliorer les performances de la boucle de régulation. [38]

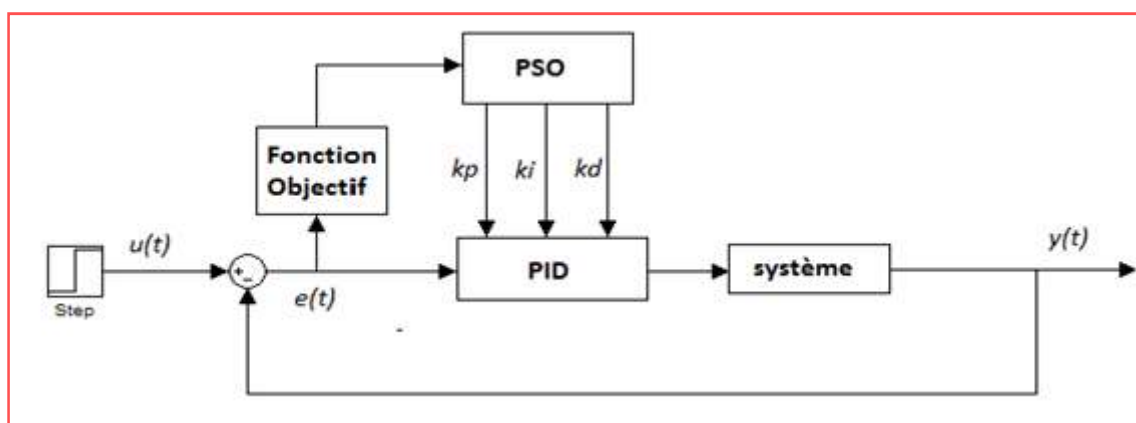


Figure III.5 : Approche d'optimisation du PID par l'algorithme PSO [38]

III.3.6 Avantages et Inconvénients de PSO :

L'algorithme du PSO présente un avantage certain sur les méthodes classiques dans le sens où il permet une exploration aléatoire de l'espace de solution. De plus de sa simplicité à mettre en œuvre et son exécution conduit à l'obtention de très bon résultat, rapidement et facilement avec peu de paramètres à ajuster.

Bien que le PSO trouve de bonnes solutions dans un temps beaucoup plus court que d'autres algorithmes évolutionnaires, l'amélioration de la qualité des solutions ne peut être garantie en augmentant le nombre d'itération.

L'algorithme de PSO a deux inconvénients principaux :

Le premier inconvénient est que l'essaim peut prématurément converger.

Le deuxième inconvénient est que les approches stochastiques sont un problème de dépendance et de changement d'un de leurs paramètres peut avoir un effet sur le fonctionnement de l'algorithme tout comme sur la solution obtenue. [45]

III.4 Optimisation par la méthode de GWO (L'optimisation du loup gris)

III.4.1 Définition :

L'optimisation du loup gris (Grey Wolf Optimisation GWO) est une technique intelligente de l'essaim développée par Mirjalili et al. 2014, qui imite la hiérarchie de leadership des loups qui sont bien connus pour leur chasse de groupe.

Cet algorithme imite le leadership social comportement de chasses des loups gris dans la nature. Dans cet algorithme la population est divisée en quatre groupes: alpha (α), bêta (β), delta (δ) et oméga (ω).

Les trois premiers plus forts loups sont considérés comme α , β et δ qui guident les autres loups (ω) vers des zones prometteuses de l'espace de recherche. [46]

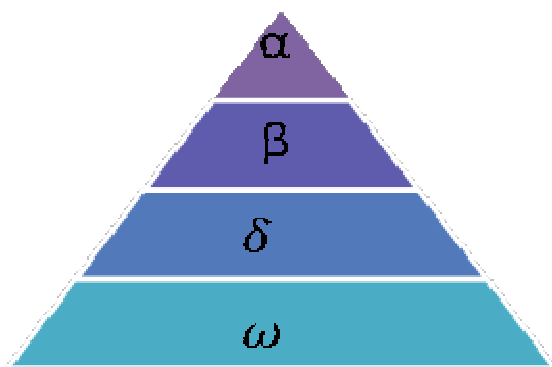


Figure III.6 : Hiérarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas). [46]

III.4.2 Principes de la méthode :

Le loup gris appartient à la famille des canidés. Les loups gris sont considérés comme des loups les plus répandus au monde, ce qui signifie qu'ils sont au sommet de la chaîne alimentaire. Les loups gris préfèrent surtout vivre en communauté. Le groupe des loups englobe en moyenne de 5 à 12 loups. Il est intéressant de noter qu'ils ont une hiérarchie sociale très stricte, comme illustré dans la Figure III.7. [47]

- Le premier niveau appelé alphas (α). Les loups alpha sont les leaders de la meute et ils sont un mâle et une femelle. Ils sont principalement responsables de prendre des décisions sur la chasse, le lieu de sommeil, le temps de se réveiller, et ainsi de suite. Les décisions de l'alpha sont dictées au groupe. Cependant, une sorte de comportement démocratique a également été observé, dans lequel un alpha suit les autres loups dans le groupe. Dans les rassemblements, l'ensemble du paquet reconnaît l'alpha appartenant à leur queue vers le bas. Le loup alpha est aussi appelé le loup dominant puis que ses ordres devraient être suivis par le paquet. Les loups alpha sont seulement autorisés à s'accoupler dans le pack. Fait intéressant, l'alpha n'est pas nécessairement le membre le plus fort de la meute mais le meilleur en termes de gestion du pack. Cela montre que l'organisation et la discipline d'un pack est beaucoup plus importante que sa force.
- Le deuxième niveau s'appelle bêta (β). Les bêtas sont des loups subordonnés qui aident l'alpha dans la prise de décision ou d'autres activités de pack. Le loup bêta peut être un mâle ou une femelle, et il / elle est probablement le meilleur candidat pour être l'alpha en cas d'un des loups alpha décède ou devient très vieux. Le loup bêta devrait respecter l'alpha, mais commander l'autre niveau inférieur des loups aussi. Il joue le rôle de conseiller de l'alpha et de la discipline pour le pack. La version bêta renforce les commandes de l'alpha tout au long du pack donne des commentaires à l'alpha.
- Le troisième niveau s'appelle Delta (δ). Le loup n'est pas un alpha, bêta ou oméga, ils sont s'appelés subordonnés (ou delta dans certaines références). Les loups Delta doivent soumettre aux alphas et aux bêtas, mais ils dominent l'oméga (le niveau le plus bas). Scouts, sentinelles, les anciens, les chasseurs et les gardiens appartiennent à cette

catégorie. Scout sont responsables de regarder les limites du territoire et avertir le pack en cas de danger. Les sentinelles protègent et garantissent la sécurité du pack. Les anciens sont les loups expérimentés qui utilisent pour être l'alpha ou bêta. Les chasseurs aident les alphas et les bêtas quand chassent la proie et fournissent de la nourriture pour le pack.

- Le quatrième niveau (plus bas) s'appelle oméga (ω). L'oméga joue le rôle de bouc émissaire. Les loups oméga doivent toujours se soumettre à tous les autres loups dominants. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Il peut sembler que l'oméga n'est pas un individu important dans le paquet, mais il a été observé que l'ensemble du pack rencontre des problèmes en cas de perte de l'oméga. Cela est dû au dégageement de la violence et de la frustration de tous les loups par l'oméga. Cela aide à satisfaire l'ensemble du paquet et à maintenir la structure de dominance.

En plus de la hiérarchie sociale des loups, la chasse de groupe est aussi l'un des comportements sociaux intéressants des loups gris. Les principales phases de la chasse au loup gris sont les suivantes : [47]

- 1) Suivre, chasser et approcher la proie.
- 2) Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle arrête de bouger.
- 3) Attaque vers la proie.

Ces deux comportements sociaux de la meute de loups gris (hiérarchie sociale et chasse technique) sont modélisés dans l'algorithme GWO voir figure III.7.

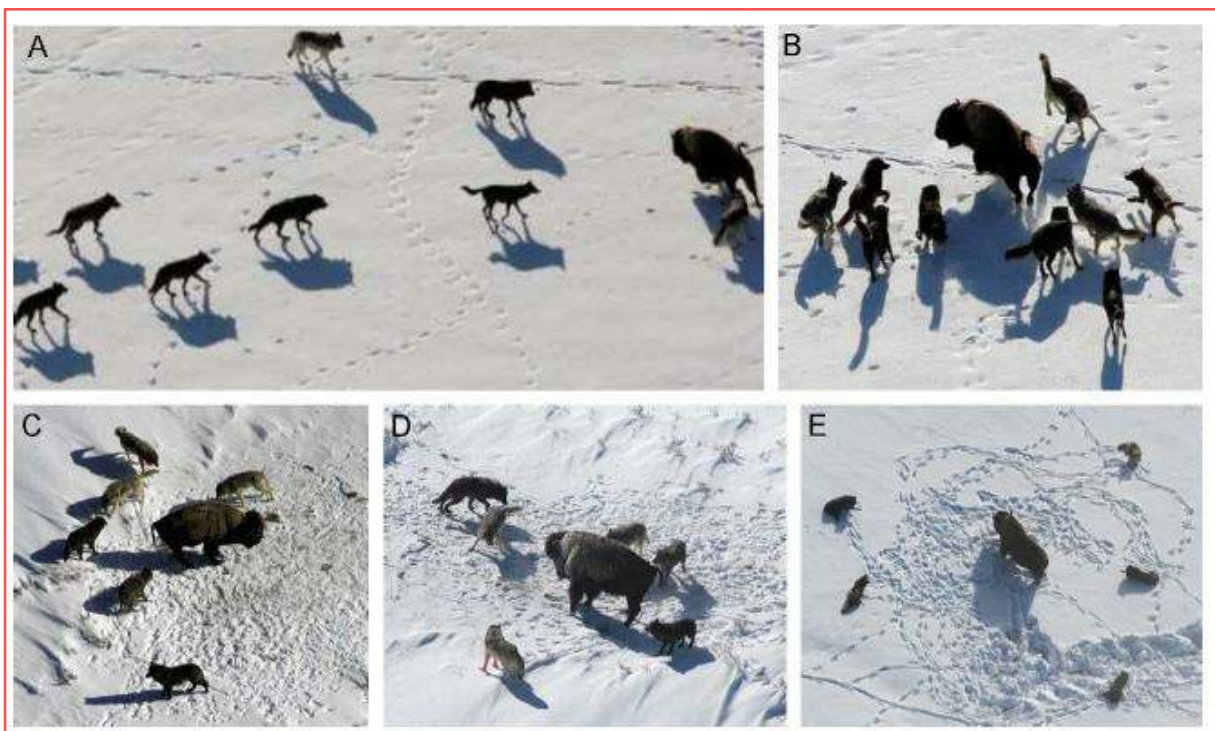


Figure III.7 : Comportement de chasse des loups gris: (A) suivre, chasser et approcher la proie (B-D) poursuivre, encercler et harceler la proie. (E) situation stationnaire et attaque. [47]

III.4.3. Opérateurs :

Dans cette section, la modélisation mathématique de la hiérarchie sociale des loups gris et leur technique de chasse (poursuite, encerclement et attaque de proies) dans l'algorithme GWO sont détaillées. [48]

III.4.3.1. Hiérarchie sociale :

Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, nous considérons la solution la plus apte comme l'alpha (α). Par conséquent, les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions sont respectivement considérées comme beta (β) et delta (δ). Le reste des solutions candidates sont supposés être des omégas (ω). Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par α , β et δ , et les (ω) les suivent. [48]

III.4.3.2. Encercler les proies:

La méthode d'optimisation GOW modélise le comportement des loups, et assimile la recherche du minimum d'une fonction coût à la stratégie de chasse d'une meute de loups. La traque de la proie correspond à l'exploration ou recherche globale, l'attaque à l'exploitation ou recherche locale comme mentionné ci-dessus, les loups gris entourent les proies pendant la chasse.

Afin de modéliser mathématiquement le comportement d'encercler les équations sont proposées [46]

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{Xp} - \vec{X}(t)| \quad (\text{III.8})$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{Xp}(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (\text{III.9})$$

Où t indique l'itération en cours, \vec{A} et \vec{C} sont des vecteurs de coefficients, \vec{Xp} est le vecteur de position de la proie, \vec{X} est le vecteur de position d'un loup gris. Les vecteurs, \vec{A} et \vec{C} sont calculés comme suit :

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \cdot \vec{r1} - \vec{a} \quad (\text{III.10})$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r2} \quad (\text{III.11})$$

\vec{a} est diminué linéairement de 2 à 0, et $r1$, $r2$ sont des vecteurs aléatoires dans [0.1].

III.4.3.3. Chasse :

Les loups gris ont la capacité de reconnaître l'emplacement des proies et les encercler. La chasse est généralement guidée par l'alpha, la bêta et le delta pourraient également participer à la chasse de temps en temps. Cependant, dans un espace de recherche abstraite, nous n'avons aucune idée de l'emplacement de l'optimum (proie). Afin de simuler mathématiquement le comportement de chasse des loups gris, nous supposons que l'alpha (meilleure solution candidate) beta, et delta ont une meilleure connaissance à propos de l'emplacement potentiel de la proie. Par conséquent, nous sauvons les premières trois meilleures solutions obtenues jusqu'à présent et on oblige les autres agents (y compris les omégas) pour mettre à jour leurs positions selon la position des meilleurs agents de recherche. [49]

$$\vec{D\alpha} = |\vec{C1} \cdot \vec{X\alpha} - \vec{X}| \quad (\text{III.12})$$

$$\vec{D\beta} = |\vec{C2} \cdot \vec{X\beta} - \vec{X}| \quad (\text{III.13})$$

$$\vec{D\delta} = |\vec{C3} \cdot \vec{X\delta} - \vec{X}| \quad (\text{III.14})$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X1} + \vec{X2} + \vec{X3}}{3} \quad (\text{III.15})$$

Où :

$\vec{X}_\alpha(t)$: Représente la position de l'alpha.

$X(t)$: Indique la La position de la bête.

$X_{\delta}(t)$: Est la position de delta.

$\vec{C1}, \vec{C2}, \vec{C3}$: Sont des vecteurs aléatoires et X indique la position de la solution actuelle.

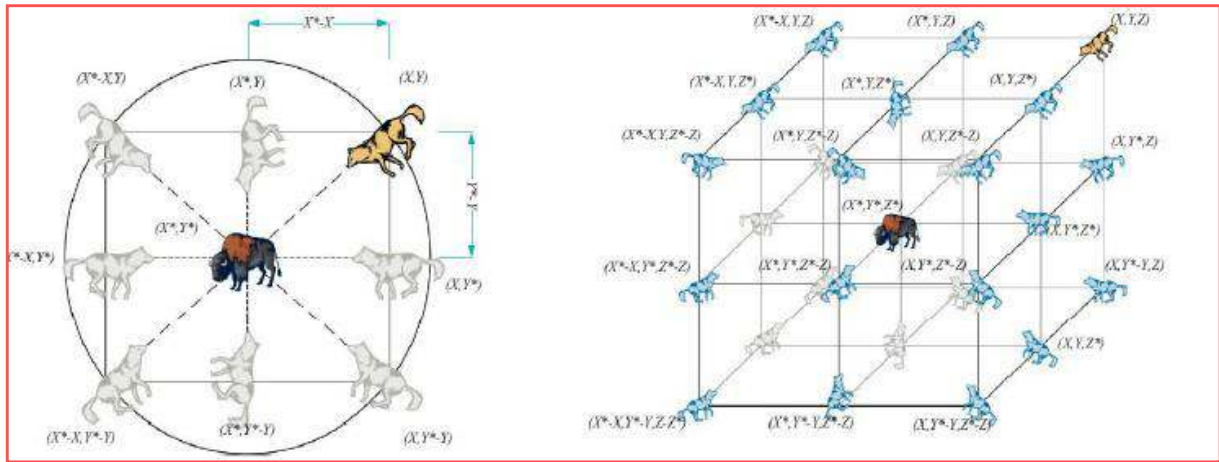


Figure III.8 : Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et de leurs prochains emplacements possibles [46]

On peut observer que la position finale serait dans un endroit aléatoire dans un cercle qui est défini par les positions d'alpha, bêta et delta dans la recherche espace. En d'autres termes, alpha, bêta et delta estiment la position de la proie, et d'autres loups mettent à jour leurs positions au hasard autour de la proie. [49]

III.4.3.4. Attaquer une proie :

Comme mentionné ci-dessus les loups gris finissent la chasse en attaquant la proie quand elle arrête de bouger. Afin de modéliser mathématiquement l'approche de la proie, nous diminuons la valeur de \vec{a} . Notez que la plage de fluctuation de \vec{A} est également diminuée. En d'autres termes \vec{A} est une valeur aléatoire dans l'intervalle $[-2a, 2a]$ où a est diminué de 2 à 0 au cours des itérations. Lorsque les valeurs aléatoires de A sont dans $[-1, 1]$, la position suivante d'un agent de recherche peut être dans n'importe quelle position entre sa position actuelle et la position de la proie. Une valeur de $|A| < 1$ force les loups à attaquer vers la proie.

Avec les opérateurs proposés jusqu'à présent, l'algorithme GWO permet ses agents de recherche pour mettre à jour leur position en fonction de l'emplacement de l'alpha, le bêta et le delta ; et attaque vers la proie. Cependant, l'algorithme GWO est sujet à la stagnation dans les solutions locales avec ces opérateurs. Il est vrai que le mécanisme d'encerclement proposé montre l'exploration dans une certaine mesure, mais GWO a besoin de plus d'opérateurs souligner l'exploration.

Les concepts de mise à jour de position en utilisant (III.8) et (III.9) sont illustrés à la Figure III.10. On peut voir sur cette figure qu'un loup dans la position de (X, Y) est capable de se déplacer autour de la proie avec les équations proposées.

Bien que les sept (7) des emplacements possibles aient été représentés sur la figure III.9, les paramètres aléatoires A et C permettent aux loups de se déplacer à n'importe quelle position dans l'espace continu autour de la proie. [49]

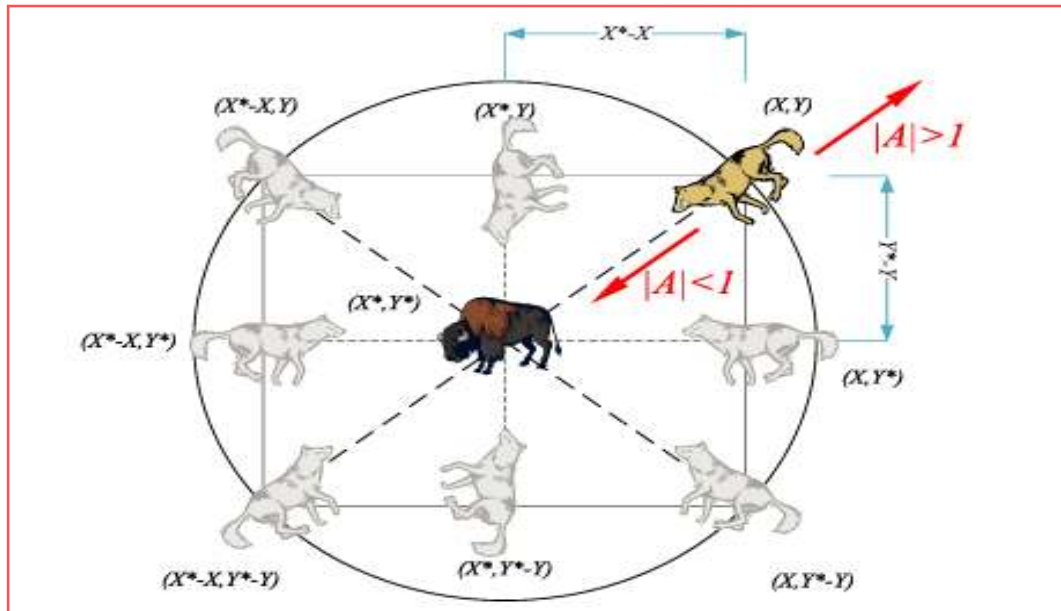


Figure III.9 :mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui le présente.
[46]

III.4.4. Les étapes générales de l'algorithme GWO :

Après tout, les étapes générales de l'algorithme GWO sont les suivantes :

- ✓ Initialiser une population de loups au hasard sur la base des limites supérieure et inférieure des variables.
- ✓ Calculer la valeur objective correspondante pour chaque Loup.
- ✓ Choisir les trois premiers meilleurs loups et sauvegarde-les sous α , β et δ .
- ✓ Actualiser la position du reste de la population (loups) en utilisant les équations (III.12), (III.13), (III.14) et (III.15).
- ✓ Mise à jour des paramètres a , A et C .
- ✓ Passez à la 2ème étape si le critère final n'est pas satisfait.
- ✓ Renvoie la position de α comme optimum optimal approximé. [49]

III.4.5. Les étapes pour écrire l'algorithme GWO (organigramme):

La figure III.10 représente les étapes de l'algorithme de l'optimisation de loup gris GWO.

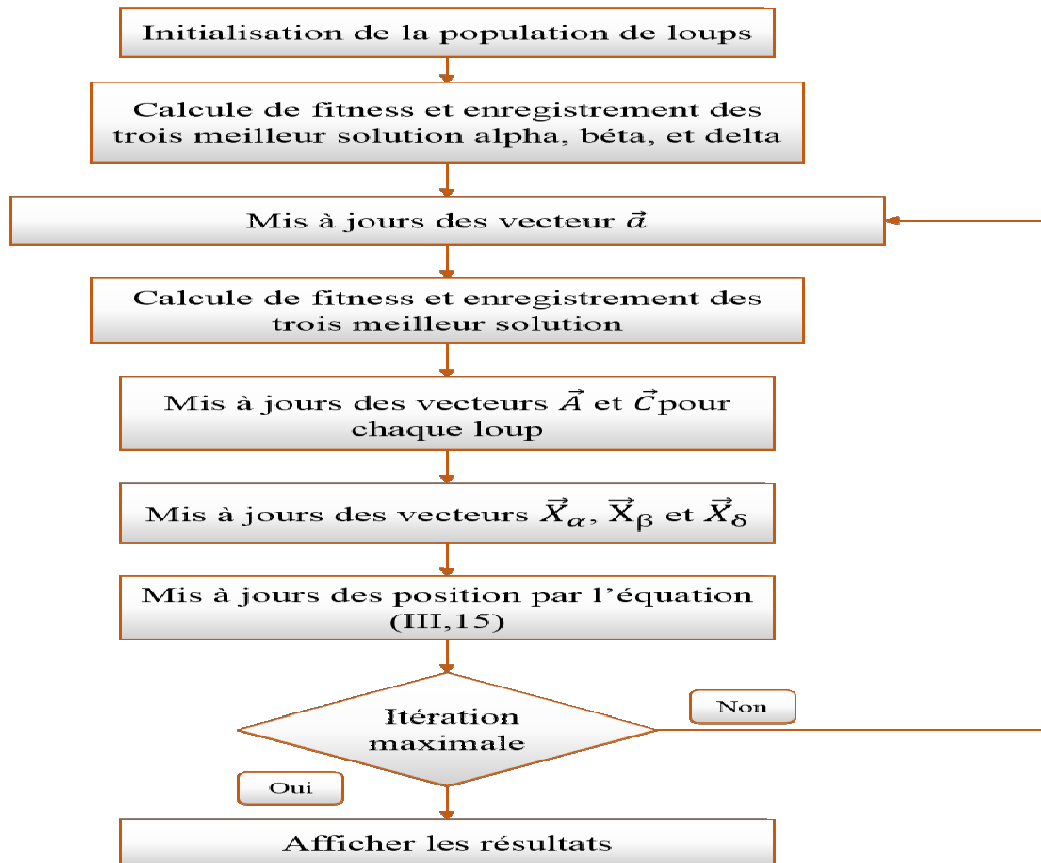


Figure III.10 : Organigramme de la méthode GWO [49]

Mirjalili et al. A montré que l'algorithme GWO est capable de fournissent des résultats très compétitifs par rapport à d'autres méta-heuristiques bien connues.

D'une part, l'exploration de cet algorithme est très élevée et nécessite d'éviter les optima locaux.

De plus, l'équilibre entre exploration et exploitation est très simple et efficace pour résoudre des problèmes difficiles selon les résultats dans des problèmes réels. [49]

III.5. Simulation et résultat avec la méthode d'optimisation GWO :

✚ Algorithme d'optimisation du loup gris (GWO) :

GWO, un algorithme méta-heuristique, est une nouvelle technique de chasse au loup gris inspirée de la chaîne de leadership. Il existe quatre types de loups incorporés dans la méthode et inspirés par la chaîne de leadership des loups gris. Ces quatre niveaux de leadership, à savoir alpha, bêta, delta et gamma. Le niveau hiérarchique est bêta et delta, et gamma est le membre le plus faible du groupe. Le gamma peut donc pas être pris en compte pour le leadership. Dans la gestion de l'énergie domestique, alpha est considéré comme l'élément le plus approprié pour atteindre la fonction de minimisation des coûts objective. La population initiale est générée aléatoirement. En outre, il existe différents stades de chasse principaux : découverte de la proie, attaque sur la proie et encerclement. Conformément à la hiérarchie

vivant des loups, la solution la plus adaptée à la pratique est l'alpha, puis le bêta, puis le delta et l'oméga. Voici les quatre étapes GWO : [50]

Étape1 : Encercler la Proie

Étape2 : Chasse

Étape3 : Attaque d'une proie (exploitation)

Étape4 : Recherche d'une proie (exploration)

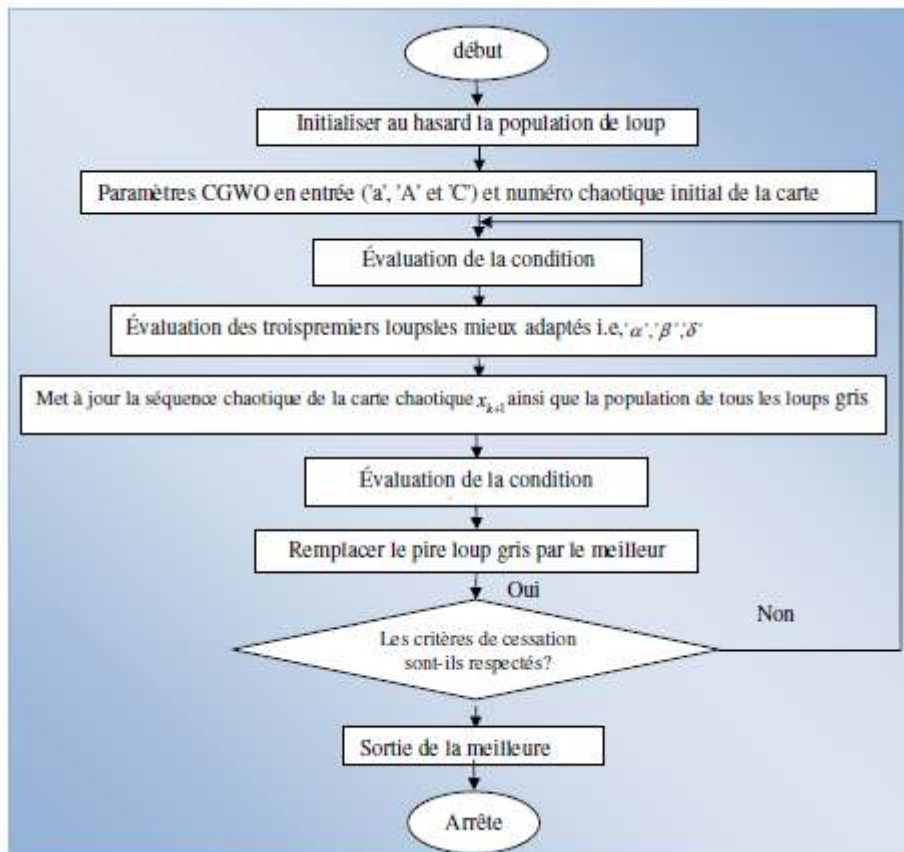


Figure III.11 : Organigramme de l'algorithme GWO [50]

🚧 Définition de MATLAB :

MATLAB est un environnement informatique doté d'un langage de programmation simple et d'une vaste bibliothèque de fonctions couramment utilisées en science et ingénierie pour le prototypage rapide. Cependant, certaines caractéristiques de son environnement, comme son langage dynamique ou son style de programmation interactif, affectent la rapidité d'exécution des programmes. Les approches actuelles d'amélioration des programmes MATLAB traduisent le code dans des langages statiques plus rapides, ou bien appliquent systématiquement des transformations de code au programme MATLAB sans considérer leur impact sur les performances. [51]

🚧 L'environnement virtuel Matlab/Simulink :

Dans ce chapitre nous allons traiter le problème de l'écoulement optimal de puissance (OPF) en utilisant la méthode d'optimiseur de loup gris (GWO), qui est souple, efficace et facile à mettre en œuvre.

Où nous appliquerons la méthode d'optimiseur de loup gris (GWO) pour calculer l'écoulement de puissance à un système hybride de production d'électricité dans la Wilaya de Naama.

Il y a une centrale solaire dans la wilaya de Naama contenant 79000 panneaux solaires



Figure III.12 : Centrales solaire de la wilaya de Naama



Figure III.13 : Les paramètres des panneaux solaires

✓ Objectifs de notre étude

L'objectif de cette étude soulève plusieurs questions : Est-ce que l'intégration de l'énergie solaire (photovoltaïque) dans le réseau électrique de la wilaya de Naama a-t-elle un impact économique?, est-ce qu'elle réduit la consommation de carburant (gaz naturel)?

La réponse à toutes ces questions est donnée par les résultats de simulation d'un réseau électrique distribués proposés dans la wilaya de Naama.

La méthodologie de simulation a été proposée sur un système hybride contient une source conventionnel composé des micro-turbines à gaz et un générateur diesel, combiné avec une source renouvelable composé une centrale solaire (photovoltaïque) dans un réseau réel, sur le site de la wilaya de Naama. Les données détaillées sont présentées dans le tableau III.3. Sur la base du modèle de production solaire, différents scénarios sont envisagés pour cette étude. Les systèmes solaire sont considérés avec une capacité de $P_{solaire} = 20$ [MW].

La simulation a été effectuée pour deux scénarios différents:

- ✓ **Scénario 1:** Répartition économique avec une micro-turbine à gaz et un générateur diesel (μ TAG/GD).
- ✓ **Scénario 2:** Répartition économique avec une micro-turbine à gaz et un générateur diesel combiné avec une énergie solaire (μ TAG/GD/PV).

Tableau.III.3 : Coefficients de coût et limites de production pour un réseau électrique distribués, site de Naama

N° de Bus de Générateur	Coefficients de coût (\$/h)			Limites de production (MW)	
	a_i	b_i	c_i	P_g^{\min}	P_g^{\max}
1_(P_g Gaz)	0.0085	0.0012	0.0011	80	300
2_(P_g diesel)	0.0075	0.0010	0.009	50	200
3_(P_g Solaire)	0.002	0	0	0	20

La consommation maximale d'énergie dans la commune de Naama en 2020 est : 89.90 [Gwh].

✓ **Formulation mathématique du problème**

Le problème de la répartition économique des puissances, qui est utilisé pour minimiser le coût de production de l'énergie électrique, peut généralement être énoncé comme suit :

$$\min F_T = \min[\sum_{i=1}^{n_g} F_i(P_i)] \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D + P_L \quad (2)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (3)$$

Où, le plus souvent $F_i(P_i)$ est un polynôme quadratique :

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + C_i \quad (4)$$

Avec :

F_T : est le coût total du carburant du système,

F_i : est la fonction de coût du générateur ;

n_g : est le nombre de générateurs,

a_i, b_i et c_i : sont les coefficients de coût de la $i^{\text{ème}}$ unité génératrice,

P_i : et la puissance active produite par l'unité,

P_D : est la demande totale,

P_L : représente les pertes actives totales de transmission,

P_i^{\min} et P_i^{\max} : sont les limites minimale et maximale pour la production de l'unité.

L'expression des pertes de transmission en fonction de la puissance générée est donnée par :

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j \quad (5)$$

Où :

P_j : la puissance active générée par l'unité de production j (MW).

P_i : la puissance active générée par l'unité de production i (MW).

B_{ij} : Matrice des B-coefficients.

✓ **Simulation, résultats et discussion**

Scénario 1: Répartition économique avec des micro-turbines à gaz et un générateur diesel

Critère	Hiver	Printemps	Été	L'automne
$P_{g.gaz\ 1}$	80.0000	80.0007	80.0000	80.0000
$P_{g.gaz\ 2}$	74.1925	71.4100	79.4817	72.4396
$P_{g.diesel}$	64.8448	65.4944	68.3152	64.5220
P_{perte}	2.0373	1.9053	1.7970	1.9616
Coût total [\$/h]	138.3689	132.6912	140.3384	131.8992

(μ TAG/GD).

Dans ce scénario, est utilisé des micro-turbines à gaz et un générateur diesel pour alimenter la commune de Naama.

Tableau III.4 : Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel) par la méthode de **GWO**.

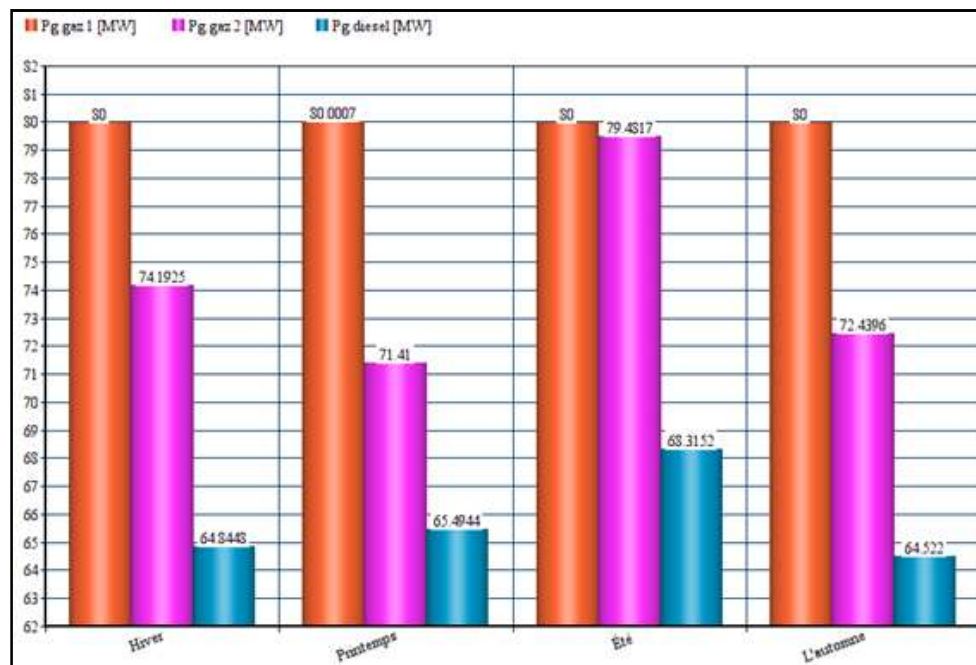


Figure III.14 : Diagramme illustre la capacité de production et des coûts de carburant d'un système hybride

Critère	Hiver	Printemps	Été	L'automne
$P_{g.gaz 1}$	79.0000	80.0000	77.0000	78.0000
$P_{g.gaz 2}$	73.1925	66.4100	61.4817	71.4396
$P_{g.diesel}$	60.8448	59.4944	54.3152	58.5220
$P_{g.solaire}$	6.91	13.71	19.42	10.55
P_{perte}	2.0373	1.9053	1.7970	1.9616
Coût total [\$/h]	123.3689	113.6912	101.3384	118.8992

(μ TAG/GD) par **GWO**

Le tableau III.3 montre clairement que le coût de production de l'électricité est élevé, surtout en hiver et en été, en raison des fluctuations météorologiques. Dans ce scénario, nous avons utilisé des combustibles fossiles pour produire de l'électricité. L'un des inconvénients de l'utilisation de l'énergie fossile est la combustion de combustibles fossiles, qui est l'un des principaux facteurs de pollution de l'air et du réchauffement climatique qui en résulte. Les gaz qui enveloppent l'atmosphère et empêchent la réflexion de la chaleur de la terre d'être transmise à l'extérieur de la planète, ce qui provoque une augmentation des températures de la terre et augmente la désertification et la sécheresse.

- ✓ **Scénario 2:** Répartition économique avec deux micro-turbines à gaz et un générateur diesel combiné avec une énergie solaire (μ TAG/GD/PV).

Pour évaluer l'efficacité de la centrale solaire, une répartition économique des puissances est effectuée pour quatre saisons et analysée. Photovoltaïque utilisée est introduite en tant que fonction de coût, mais avec une puissance déjà connue ou prévue.

Tableau III.5 : Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel et un parc solaire) par la méthode de **GWO**.

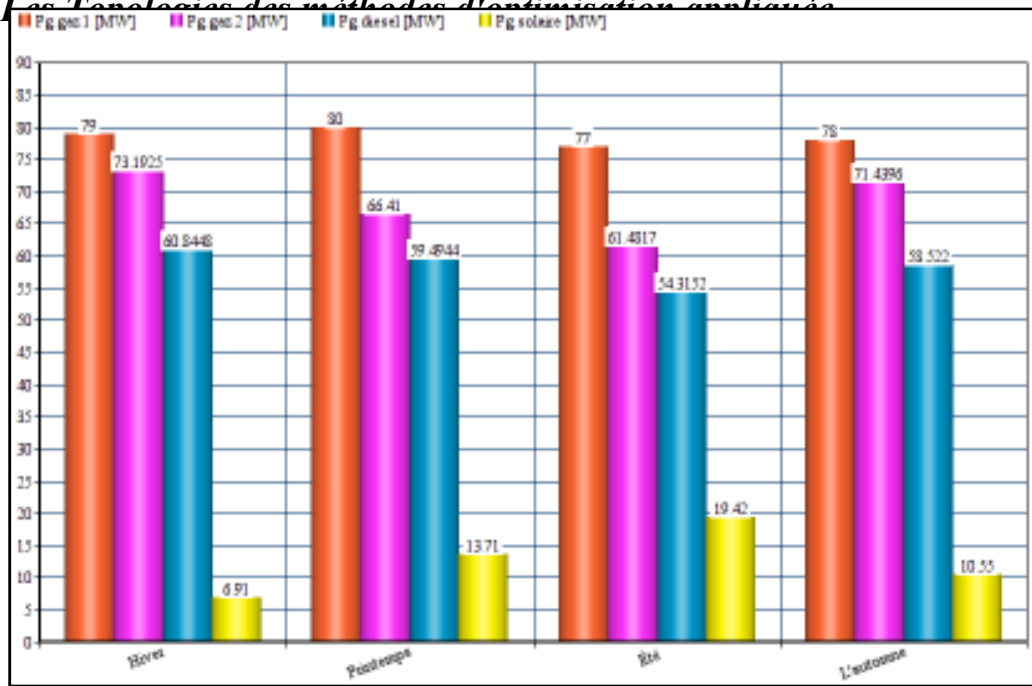


Figure III.15 :Diagramme illustre la capacité de production et des coûts de carburant d'un système hybride (μ TAG/GD/PV) par **GWO**

Le tableau III.5, montre clairement que la contribution de la centrale solaire est prise en compte pendant la saison estivale car le coût de production est inférieur à celui des autres cas. De plus, le bénéfice obtenu avec l'incorporation du parc solaire est significatif par rapport au scénario de base.

L'un des avantages de l'énergie solaire est que nous pouvons connaître les heures de sa génération et les heures de son absence. Les panneaux solaires réduisent également les émissions de carbone.

Ces résultats montrent que l'intégration d'une centrale solaire dans le système hybride illustre un coût optimal et est le plus économique. Un point important à retenir dans cette étude est que centrale solaire constitue une option économiquement favorable pour ce type de charge dans la wilaya de Naama.



Figure III.16 :plande la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama.

La figure III.16, donne le plan global de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama sachant que l'énergie produite à cycle combiné est de 1163 MW. Ce site est constitué de :

- Quatre turbines à gaz du modèle 9fa (GE) général électrique sachant que la puissance max pour chacune est 245 MW avec un rendement de 50% comme illustre la figure III.17.
- Deux turbines à vapeur comme illustre la figure III.19;
- Chaque tranche c'est-à-dire l'ensemble des deux turbines à gaz et une turbine à vapeur produit environ 680 MW, sachant que la turbine à vapeur produit 240 MW et les deux turbines produisent 440 MW comme illustre la figure III.20.
-

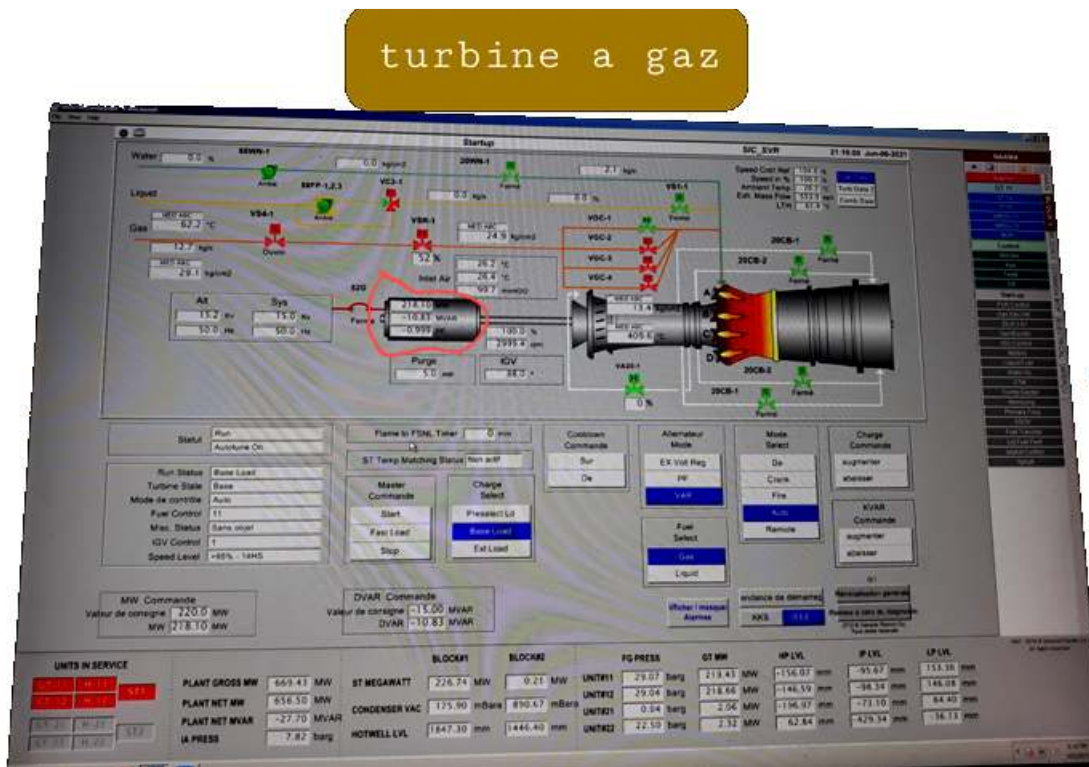


Figure III.17 :Turbines à gaz 9fa de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).



Figure III.18 : Modèle de turbine à gaz 9 fa.

Le modèle de Turbine à gaz GE 9FA présenté sur la figure III.18 composée par des aubes, guide d'entrée, d'un compresseur multi-étape à flux axial, d'un système de combustion à 18 chambres, d'un système d'injection d'eau, d'un système dual de combustible (gaz naturel et gasoil.) Elle présente un mode de démarrage statique et un filtre à air vibrant à haut rendement. [52]

Pour plus d'information sur les modèles de turbine à gaz voir annexe de :[53]

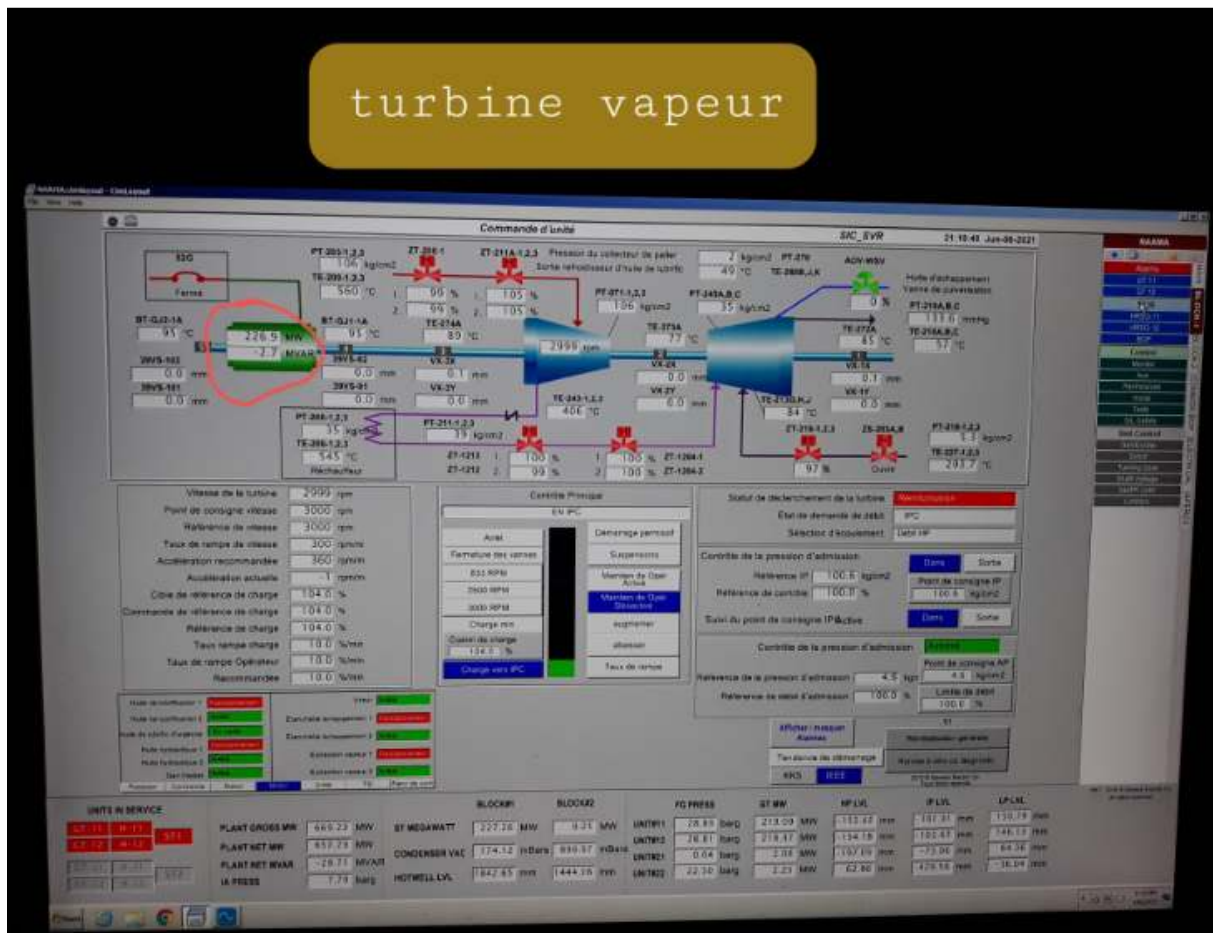


Figure III.19 : Turbines à vapeur de la centrale électrique Toufiza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).

La turbine à vapeur illustré à la figure 19 est formée par deux corps : un à haute/moyenne pression de flux opposés et un autre à basse pression à double flux. Elle dispose d'un vireur ; d'un système d'huile de lubrification commune avec la turbine à gaz et le générateur ; d'un système d'huile de soudure et de protections pour une survitesse, vibration, pression et température sur l'admission et l'échappement. [52]

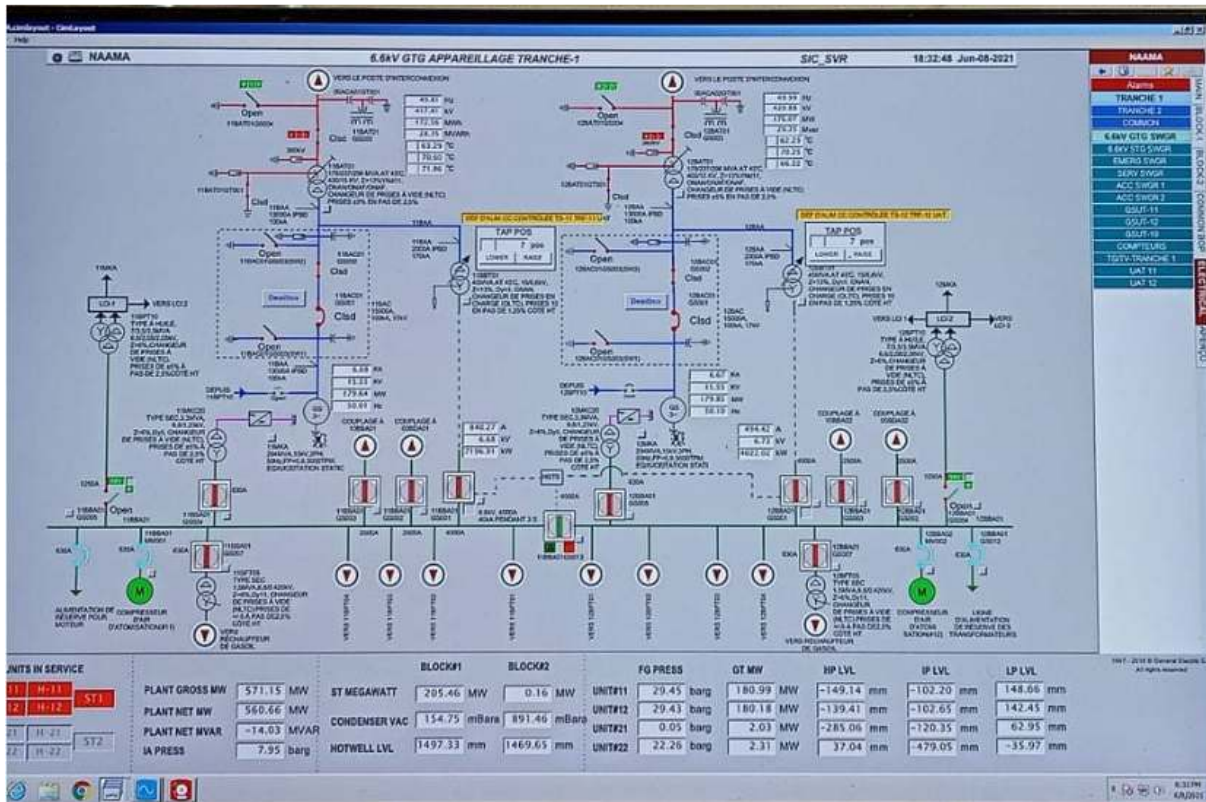


Figure III.20 :Tranche (deux turbines à gaz et une turbine à vapeur) de la centrale électrique Touifza Wilaya de Naama. (Interface logiciel).

À travers les résultats, nous concluons que l'intégration de l'énergie solaire contribue à réduire la consommation de gaz naturel de la turbin à gaz (TAG), cela signifie qu'une faible émission de la combustion incomplète, notamment l'oxyde de carbone (CO), cela protège l'environnement.

III.6.Conclusion :

Dans le dernier chapitre, nous donnons un survol sur les nouvelles techniques d'optimisation tel que la méthode Ziegler -Nicholas, PSO.etc.

Pour notre travail, nous avons appliqué la méthode d'optimisation GWO sous l'environnement Matlab, pour la résolution du problème de répartition économique des puissances d'un réseau distribué de la wilaya de Naama.

Les résultats de simulation ont prouvé que l'insertion de l'énergie solaire à pour avantage de minimiser le cout d'investissement du gaz naturel et la limitation de la pollution de l'air par les turbines à gaz, en particulier en réduisant les rejets d'oxyde d'azote (NOx). L'utilisation de gaz naturel permet une émission faible de dioxydes de soufre (SO2) et de monoxyde de carbone (CO). Les modèles peu polluants sont surtout installés par les pays développés tandis que les turbines à gaz de conception moins sophistiquée et de prix moins élevé sont préférées par les pays en voie de développement.

*Conclusion
Générale*

Conclusion générale

Dans cette mémoire intitulée : “*l’approche du loup gris (GWO) pour l’optimisation technico économique des réseaux électrique distribués* ”, nous avons abordé la question de l’insertion de la production renouvelable dans les réseaux électriques, dont l’optimisation et prise en considération.

Ce travail, présente une méthodologie pour le dimensionnement optimal d'un système hybride (PV/micro-turbine gaz, générateur diesel), afin d'électrifier la wilaya de Naama située à l'ouest de l'Algérie.

L’objectif principal du problème d’optimisation est de minimiser le coût total annuel du système. L’étude présentée dans ce mémoire a démontré l’efficacité des énergies solaire, et son impact positif sur la gestion moderne du réseau distribués.

De plus, dans cette étude, nous appliquons l'algorithme d'optimiseur de loup gris GWO (Grey Wolf Optimizer) pour résoudre le problème de répartition économique du système hybride (PV/ μ TAG/GD). Les résultats de simulations confirment bien la validité et l’efficacité de l'approche GWO.

À cette fin, nous concluons que l’intégration des énergies renouvelables a un impact positif sur la répartition économique, ce qui réduira considérablement les pertes d’argent par rapport au même système sans énergies renouvelables.

Notre perspective dans les futurs travaux à réaliser, c’est d’ajouter d’autre source renouvelable dans le système hybride tel que l’énergie éolienne, thermique et biomasse optimisé par l’hybridation de l’algorithme de loup gris avec d’autre variante d’optimisation comme la méthode PSO (particules swarm), les algorithme génétique afin de trouver l'optimum global dans un espace de recherche complexes et inconnus.

Bibliographies

Bibliographies

- [1] TAREK, B. R. A. H. M. I. A., & Faris, K. O. U. A. D. R. I. A. (2020). Modélisation des paramètres des lignes électriques.
- [2] SERHANE, M., MERROUCHE, Y., & Doudou, S. E. (2020). Commande par mode glissant d'un système photovoltaïque connecté à un réseau monophasé via double étages (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [3] KIMOUCHE, M. A., BENZID, M., KIHAL, M. C. E., & LOURCI, N. E. (2019). Les méthodes méta heuristiques pour l'optimisation en génie électrique (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [4] MAAMRI, M. Optimisations technico-économiques des réseaux électriques distribués (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran).
- [5] TERKIA NABECHE, FATIMA TEZKRATT "Restructuration du réseau électrique MT de la région de FREHA pour alimentation du pôle d'excellence de TAMDA", Mémoire de Fin d'Etudes de Master Professionnel, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2014.
- [6] SEBAA HADDI, "Contribution à l'optimisation de l'insertion des énergies renouvelables dans un réseau électrique intelligent (Smart Grid)", Thèse de doctorat, Université FERHAT ABBES - SETIF 1, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2019.
- [7] MIGUEL ANGEL FONTELA Garcia "interaction des réseaux de transport et de distribution en présence de production décentralisée", Sciences de l'ingénieur [physiques]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2008. Français.
- [8] DAHADJ YASSINE, NOUARI RADHWANE " Optimisation des Réseaux de Distribution Basse tension (étude de cas Poste n°571-Timimoune)", Mémoire de Master Académique, Université AHMED DRAÏA –ADRAR, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2018.
- [9] HRISTIYAN KANCHEV "Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain", Thèse de doctorat, l'université technique de Sofia dans le cadre d'une cotutelle internationale de thèse, département Génie Electrique, soutenue en 2014.
- [10] D.MAAMRI Mokhtar, " Optimisation Technico-économique des Réseaux Electriques Distribués", Thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf Oran, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2019.
- [11] TRAN KHANH VIET DUNG, " interconnexion des sources d'énergie renouvelable au réseau de distribution électrique", thèse de doctorat, L'université du QUEBEC A TROIS-RIVIERES, département Génie Electrique, soutenue en aout 2009
- [12] ANNEXES Cahiers n°6 du Plan Bleu "infrastructures et développement énergétique durable en méditerranée : perspectives 2025"
- [13] ENEDIS, " Structures de référence des Postes Sources Référentiel technique pour le raccordement au Réseau Public de Distribution géré par ENEDIS", Enedis-PRO-RES_079E – Version 1- 18/01/2021 [Document]
- [14] ERDF (Électricité Réseau Distribution France), "Description physique du réseau public"– www.erdfdistribution.fr - ERDF-NOI-RES_07E - Version 2 - 01/04/2008 [Document]
- [15] LAIB FARAH, AMRAOUI FATAH "Elaboration d'outils de planification en vue de l'optimisation des investissements dans les réseaux électriques en Algérie.", Mémoire de Master, Université ABDERAHMANE MIRA -BEJAIA, Département génie électrique, soutenue en 2016
- [16] http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/taskforce_en.htm

- [17] SAMMA YOSRA, TAIB SAMRAA “ Gestion de l'énergie dans les micro-réseaux (smart home) en utilisant une technique d'optimisation intelligente.”, Mémoire de Master, Université AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA, Département génie électrique, soutenue en 2019.
- [18] W. ZAPPA, M. JUNGINGER, and M. VAN DEN BROEK, “Is a 100% RENEWABLE EUROPEAN POWER SYSTEM FEASIBLE BY 2050 ?” *APPLIED ENERGY* 233–234 (2019) 1027–1050.
- [19] Guillaume FOGGIA (Ingénieur ENSIEG) " Pilotage Optimal de Système Multi-sources pour le Bâtiment", Thèse de doctorat, institut polytechnique de GRENOBLE Spécialité : « Génie Electrique », soutenue en 2009.
- [20] [article] " L'industrie électrique en Algérie : le rôle des sociétés électriques et plus particulièrement d'EGA à partir de 1947.
- [21] AI ANFAF, M. M. M. (2016). Contribution à la modélisation et à l'optimisation de systèmes énergétiques multi-sources et multi charges (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [22] MAKANGA KOUMBA, P. (2013). Étude d'intégration de sources d'énergie renouvelable à un réseau électrique autonome (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).
- [23] SALLAHI, H., ZEBIRI, L., & MAOUEDJ, R. (2014)," Expérimentation d'un système hybride (Photovoltaïque-éolien) destiné pour la production d'électricité et l'alimentation d'une maison", dans la région d'Adrar (Doctoral dissertation, Université Ahmed DRAIA-ADRAR).
- [24] LAZREG, M. O. (2020). Étude d'un véhicule hybride photovoltaïque _biodiesel (Doctoral dissertation, Mme. FARADJI DJAMILA NEE KHERBOUCHE).
- [25] MEBROUKI, A., DJAAFRI, A., & BENATELLAH, A. (2016). Etude d'un système Hybride (Doctoral dissertation, Université Ahmed DRAIA-Adrar).
- [26] DHAKER ABBES. (2020).Optimisation technico économique des systèmes hybrides à énergies renouvelables
- [27] BELHOUR, S. (2016). Elaboration d'une stratégie optimale pour l'exploitation combinée des énergies renouvelables.
- [28] Rabah Rouas, "Etude d'un système hybride éolien-photovoltaïque", Thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2018.
- [29] REKIOUA, T., IRID, M. T., & ROUMILA, Z. (2007). Dimensionnement d'une centrale hybride photovoltaïque-éolienne-diesel. *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, 173-176.
- [30] ABDELHALIM, B. (2015). *DOCTORAT EN SCIENCES EN ELECTROTECHNIQUE* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Polytechnique).
- [31] BORNIA, A. (2015). Etude et optimisation d'un multi système hybride de conversion d'énergie électrique
- [32] STOYANOV, L., NOTTON, G., & LAZAROV, V. Optimisation des Systèmes Multi-Sources de Production d. *Electricité à Energies Renouvelables*, 1-18.
- [33] STOYANOV, L. (2011). *Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables* (Doctoral dissertation, Université Pascal Paoli).
- [34] IDJDARANE, K., & HACINI, I. (2015). *Etude et gestion d'un système d'énergie hybride* (Doctoral dissertation, Université de Bejaia).
- [35] KOUBA NOUR EL YAKINE"contrôle automatique des groupes de production en présence d'Eoliennes avec stockage", Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie <<HOUARI BOUMEDIENE>>, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2017.
- [36] NASSIM BOUTEMEUR, SAID CHABA “ Méthode basée sur le dépassement de la réponse indicielle pour le réglage des contrôleurs PID”, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Département Génie Electrique, soutenue en 2017.

- [37] PROF. F. MUDRY, " Ajustage des paramètres d'un régulateur PID", note d'application, département d'électricité et informatique, laboratoire d'automatique, Ecole d'ingénieurs du canton de VAUD.
- [38] CHALANE IDIR, OUARI TAREK " Optimisation des paramètres d'un PID par essais particuliers(PSO)", Mémoire de Master, Université A. MIRA de Bejaia, Département Génie électrique, soutenue en 2017.
- [39] N.TAIB, A.GHOUL " Adaptation d'une double boucle de régulation d'air comprimé (charge/décharge) sur un tank stérile (APV)", Mémoire de Master, Université de Bejaia, Département Génie électrique, soutenue en 2014.
- [40] Maroua NOUIRI, "Implémentation d'une méta-heuristique embarquée pour résoudre le problème d'ordonnancement dans un atelier flexible de production", Thèse de doctorat, Université de Carthage, L'École Polytechnique de Tunisie, soutenue en 2017.
- [41] SI TAYEB ABDELKADER "Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique", Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie-Oran, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2011.
- [42] BESTAOUI Abdallah Anes "Gestion de spectre dans un réseau de radio cognitive en utilisant l'algorithme d'optimisation par essaim de particules", Mémoire de Master, Université Abou BAKR BELKAID- Tlemcen, Département d'Informatique, soutenue en 2015.
- [43] Abbas EL DOR "Perfectionnement des algorithmes d'Optimisation par Essaim Particulaire. Applications en segmentation d'images et en électronique", Thèse de doctorat, Université PARIS-EST, ÉCOLE DOCTORALE MATHÉMATIQUES ET STIC, soutenue en 2012.
- [44] ATTOUI FATEH " Méthodes d'optimisation pour l'autoréglage de contrôleur PID d'ordre fractionnaire.", Mémoire de Master, Université BADJI MOKHTAR- ANNABA, Département Electronique, soutenue en 2019.
- [45] DOUADI FADILA " Méthodologie d'optimisation par les techniques intelligentes d'un contrôleur PID pour un système CSTR", Mémoire de Master, Université FERHAT ABBAS -SETIF, Département Electronique, soutenue en 2014.
- [46] CHERIFI SARRA, BOUDAOU IMANE "Correction des défaillances des réseaux d'antennes linéaires par l'algorithme de Grey Wolf", Mémoire de Master Académique, Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2019.
- [47] ROUMAIR IMENE " Synthèse d'un réseau d'antennes adaptatif pour une topologie circulaire", Mémoire de Master, Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, Département Electronique, soutenue en 2020.
- [48] KAHLA SAMI "Modélisation et commande d'un système éolien", Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 _GUELMA, Département Génie électrique, soutenue en 2017.
- [49] KIMOUCHE MOHAMMED, BENZID MOUSSA "Les méthodes méta heuristiques pour l'optimisation en génie électrique.", Mémoire de Master, Université MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA – Jijel, Département d'Electrotechnique, soutenue en 2019.
- [50] SAMMA YOSRA, TAIB SAMRAA " Gestion de l'énergie dans les micro-réseaux (smart home) en utilisant une technique d'optimisation intelligente.", Mémoire de Master, Université AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA, Département génie électrique, soutenue en 2019.
- [51] KIEPAS, PATRYK. Analyses de performances et transformations de code pour les applications MATLAB. 2019. Thèse de doctorat. Paris Sciences et Lettres
- [52] [<https://tarragonapowerplant.com/francais/>].
- [53] CENUSA, Victor-Eduard. Contribution à l'amélioration du couplage thermodynamique entre l'installation de la turbine à gaz et l'installation de la turbine à vapeur dans les centrales électriques à cycles combinés gaz/vapeur. 2004. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré-Nancy 1.

Annexes

Annexe 1

Matlab2014a

I. Introduction

Matlab est un logiciel de famille (Simulink), permet de faire des calculs numériques et de programmer des fonctions pour analyser des données, développer des algorithmes et créer des modèles.

Pour télécharger le logiciel Matlab il faut créer un compte Mathworks dans le site officiel www.mathworks.com, chaque compte Mathworks est associé à une licence d'activation PLP(Personal Licence Password) et l'activation de Matlab sera effectuée automatiquement au terme de l'installation par le biais de votre compte Mathworks, tous les produits de la famille Simulink (version d'essai, préversion, bêtas) doivent être activés.

Après la création de compte, il faut télécharger le logiciel matlab 2014a(environ 10 Gb), et on suit les étapes d'installation .

II. Installation

Etape 1: Installation de la package d'installation

Pour démarrer l'installation Double-cliquez sur le fichier que vous avez téléchargé. Cliquez sur Exécuter pour ouvrir le fichier (le fichier sera extrait et ouvert automatiquement).

Etape 2: Installation et utilisation d'un compte Mathworks.

Dans cette étape il faut choisir le type d'installation et on clique sur suivant (Next).



Figure a : Installation Utilisation d'un compte Mathworks.

Etape 3: Passez en revue le contrat de licence de logiciel

Lisez le contrat de licence du logiciel et, si vous acceptez les termes, sélectionnez Oui et cliquez sur Suivant (Next).

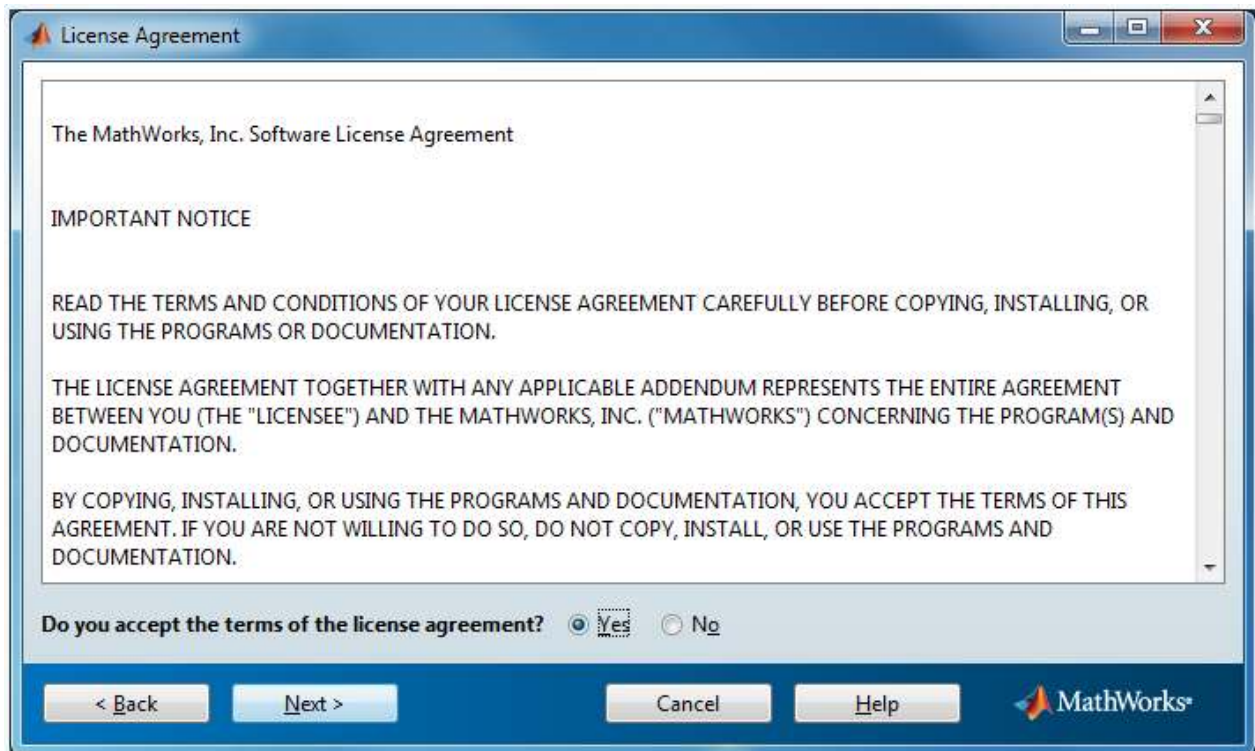


Figure b: Passez en revue le contrat de licence de logiciel.

Etape 4: Connectez-vous à votre compte MathWorks

Pour vous connecter à votre compte Mathworks, entrez votre adresse e-mail et mot de passe, puis cliquez sur Suivant. Les contacts d'installation MathWorks pour récupérer des informations sur les licences associées à votre compte.

Si vous ne possédez pas de compte Mathworks, sélectionnez l'option Créer un compte MathWorks option et cliquez sur Suivant. Vous serez invité à entrer les données nécessaires(votre adresse e-mail, le prénom, le nom et le mot de passe) pour créer le compte.

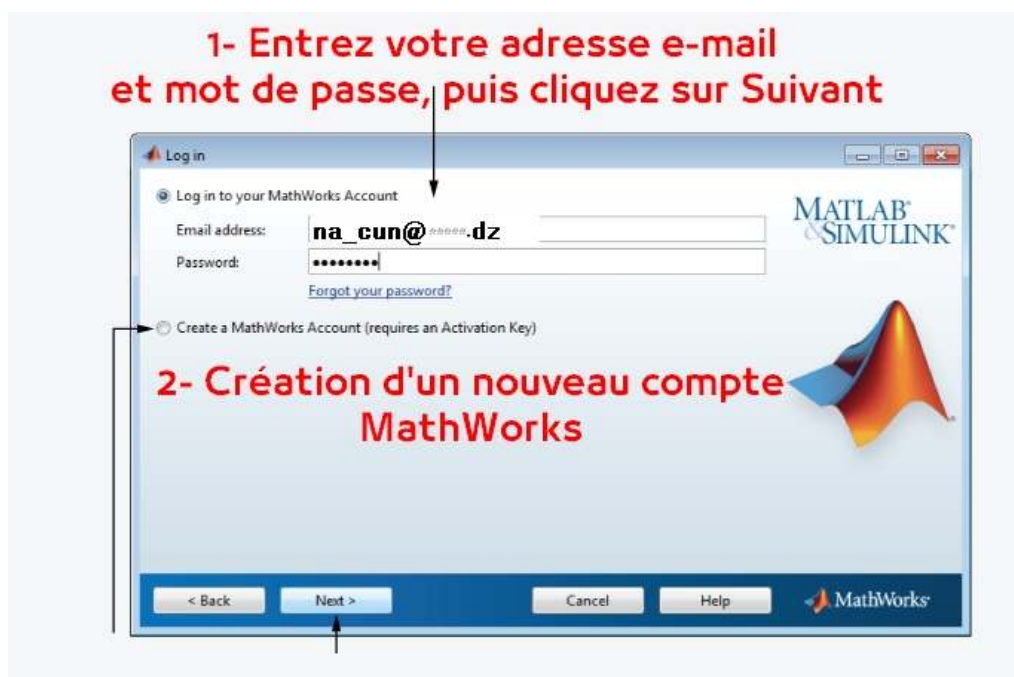


Figure c: Connectez-vous à votre compte MathWorks.

Étape 5: Lancer l'installation

Choisissez Installer si vous souhaitez installer le logiciel ou Télécharger si vous souhaitez installer le logiciel plus tard.

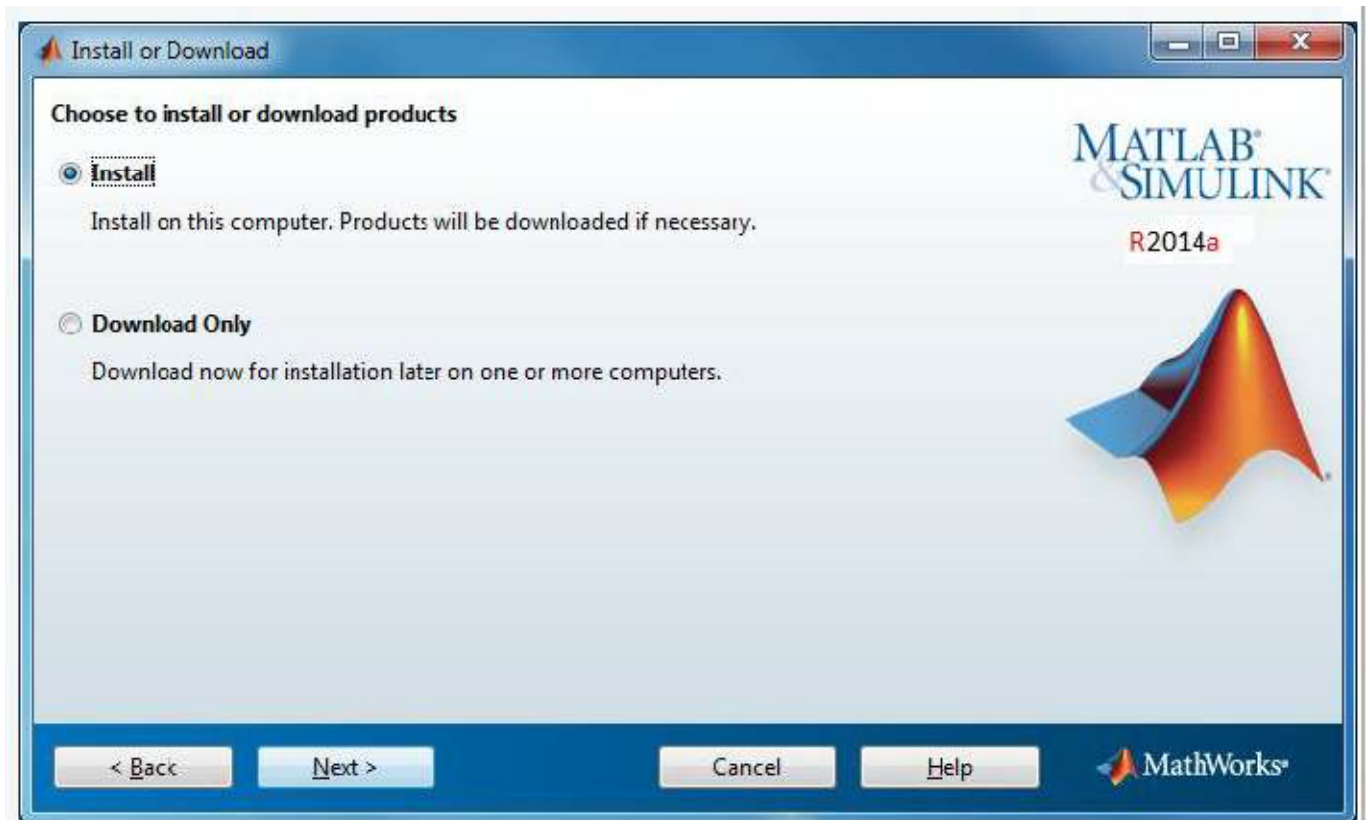


Figure d: Lancer l'installation.

Étape 6: Sélectionnez la licence que vous souhaitez installer

Sélectionnez une licence dans la liste des licences associées à votre compte MathWorks et cliquez sur Suivant.

Si vous voulez installer les produits sur une licence qui ne sont pas associées à votre compte MathWorks:

Sélectionnez la Entrez une clé d'activation pour une licence ne option répertoriée.

Entrez une clé d'activation et cliquez sur Suivant. Une clé d'activation est le code unique qui identifie une licence.

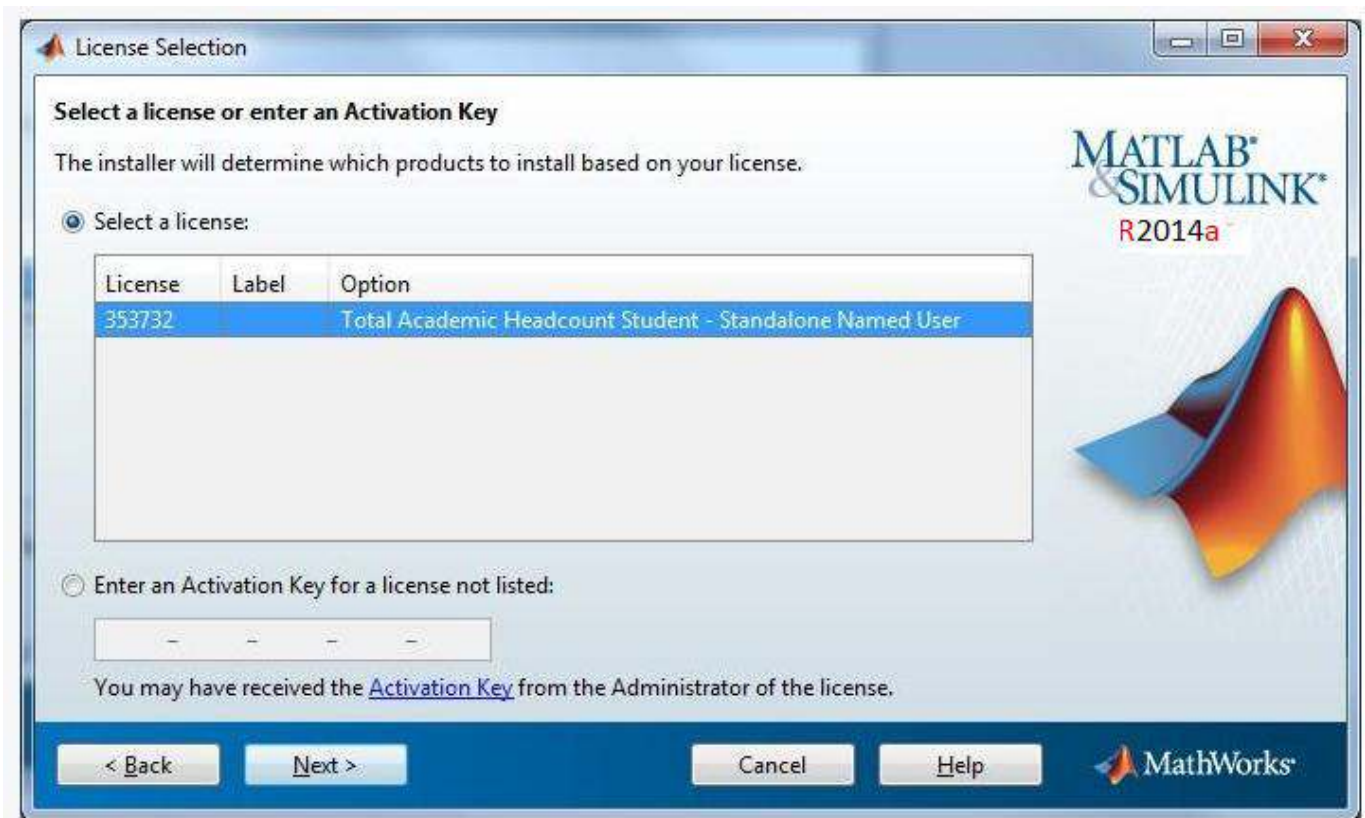


Figure e: Sélectionnez la licence que vous souhaitez installer..

Étape 7 : Spécifiez le dossier d'installation

Indiquez le nom du dossier dans lequel vous voulez installer les produits MathWorks. Acceptez le dossier d'installation par défaut, ou cliquez sur Parcourir pour sélectionner un autre. Si le dossier n'existe pas, le programme d'installation crée.

Lorsque vous spécifiez un nom de dossier, vous pouvez utiliser des caractères alphanumériques et des caractères spéciaux, tels que les caractères de soulignement. Si vous faites une erreur en entrant un nom de dossier et que vous voulez recommencer, cliquez sur Restaurer le dossier par défaut.

Après avoir fait votre choix, cliquez sur Suivant.



Figure f: Spécifiez le dossier d'installation et cliquez sur Suivant.

Etape 8 : Spécifiez les produits à installer

Dans la liste des produits, de spécifier les produits que vous souhaitez installer. La liste montre tous les produits associés à la licence que vous avez sélectionnée. Si vous ne souhaitez pas installer un produit particulier, désactivez la case à cocher à côté de son nom.

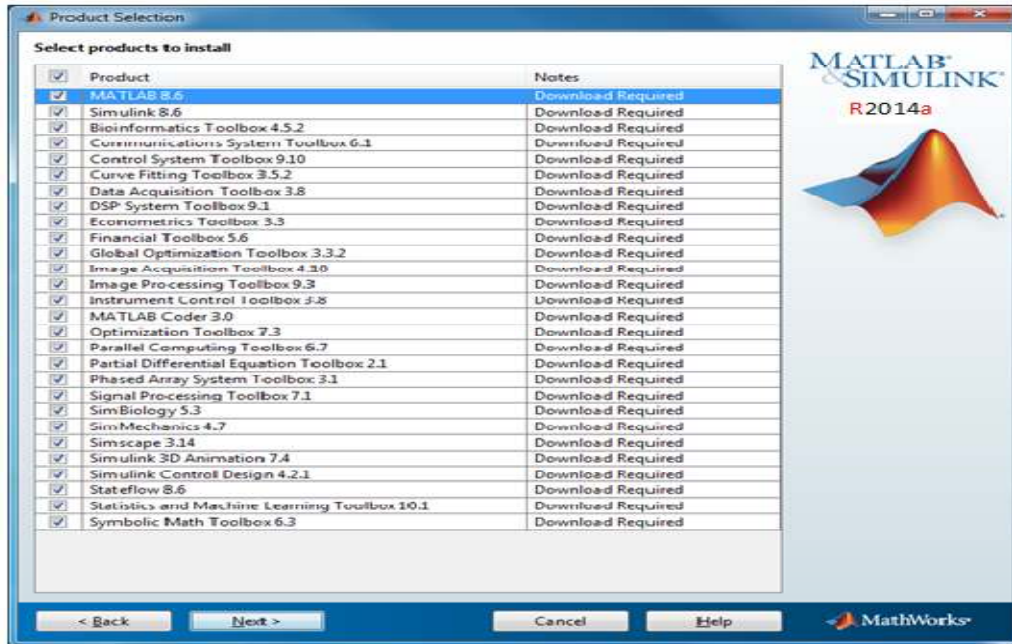


Figure g: Spécifiez les produits à installer.

Etape 9 :Spécification des options d'installation et confirmation.

Vous pouvez spécifier des options d'installation, en fonction de la plate-forme que vous installez.

Après, on clique sur le bouton Installer, maintenant on attendez que l'installation se termine

Une fois l'installation se termine vous trouver un raccourcie dans le bureau on cliquant deux fois et voila !

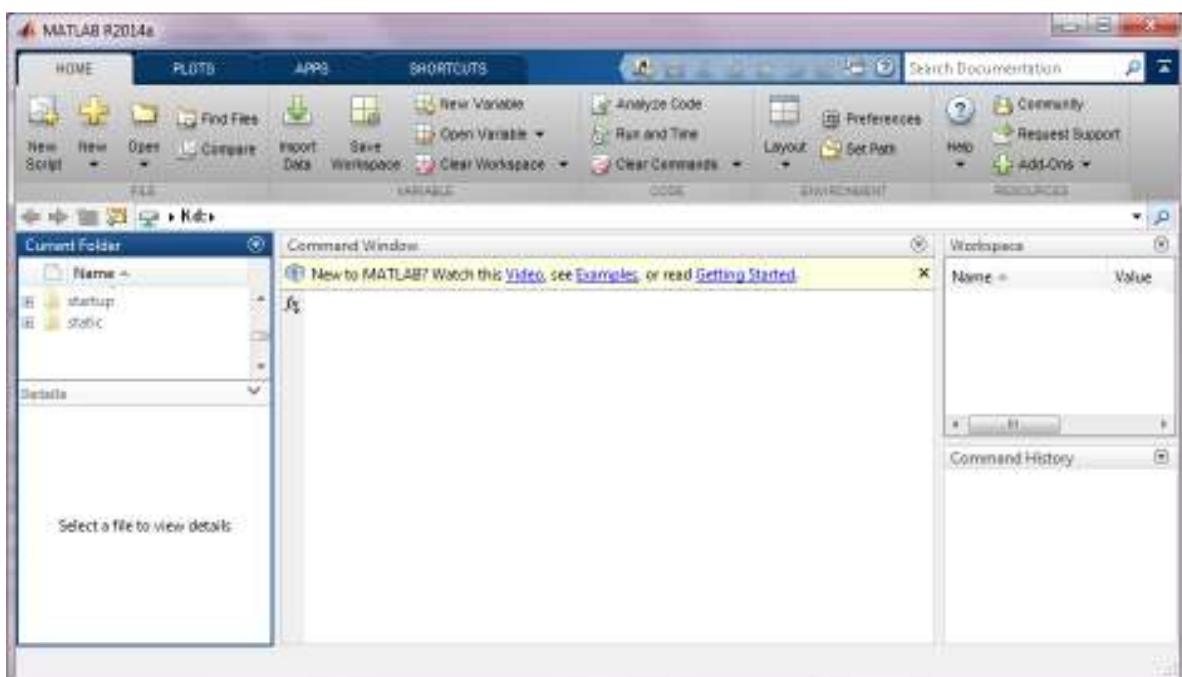


Figure h: l'interface de Matlab 2014.

Annexe 2

Les données

Dans ce mémoire basée sur décrit l'algorithme d'optimisation du loup gris (GWO) comme l'un des nouveaux algorithmes méta-heuristiques pour trouver les paramètres optimaux du contrôleur par mode glissant flou appliqué à un générateur asynchrone. L'algorithme GWO s'inspire du style de vie des loups gris (hiérarchie sociale et mécanisme de chasse). De plus, ce mémoire présent une brève revue de la littérature sur les méta-heuristiques, décrivant le processus naturel du style de vie des loups gris et les équations mathématiques de GWO.

Tableau III.4 : Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel) par la méthode de **GWO**

Critère	Hiver	Printemps	Été	L'automne
$P_{g.gaz 1}$	80.0000	80.0007	80.0000	80.0000
$P_{g.gaz 2}$	74.1925	71.4100	79.4817	72.4396
$P_{g.diesel}$	64.8448	65.4944	68.3152	64.5220
P_{perte}	2.0373	1.9053	1.7970	1.9616
Coût total [\$/h]	138.3689	132.6912	140.3384	131.8992

Le tableau suivant présente les résultats d'optimisation du système hybride (micro turbine à gaz, générateur diesel) par la méthode GWO, qui montre clairement que le coût de production de l'électricité est élevé, surtout en hiver et en été.

Tableau III.5 : Résultats d'optimisation du système hybride (micro-turbine à gaz, générateur diesel et un parc solaire) par la méthode de **GWO**

Critère	Hiver	Printemps	Été	L'automne
$P_{g.gaz 1}$	79.0000	80.0000	77.0000	78.0000
$P_{g.gaz 2}$	73.1925	66.4100	61.4817	71.4396
$P_{g.diesel}$	60.8448	59.4944	54.3152	58.5220
$P_{g.solaire}$	6.91	13.71	19.42	10.55
P_{perte}	2.0373	1.9053	1.7970	1.9616
Coût total [\$/h]	123.3689	113.6912	101.3384	118.8992

Le tableau suivant présente les résultats qui montrent clairement que la contribution de la centrale solaire est prise en compte pendant la saison estivale car le coût de production est inférieur à celui des autres cas.

Annexe 3**Paramétré des modèles de simulation****Paramétré des Panneaux solaire**

Type de modelé	CS6P-250P
Puissance maximale nominale (Pmax)	250 W
Tension de fonctionnement optimale (Vmp)	30.1 V
Courant de fonctionnement optimal (Imp)	8.30 A
Tension en circuit ouvert	37.2 V
Courant de court-circuit	8.87 A
Tension maximale du système	1000 V
Valeur nominale maximale des fusibles en série	15 A

Turbines à gaz (centrale électrique Touifza Wilaya de Naama)

Modèle	9fa
turbine à gaz produit (Pmax)	245 MW
un rendement	50%

Turbine à vapeur (centrale électrique Touifza Wilaya de Naama)

turbine à vapeur produit (Pmax)	240 MW
---------------------------------	--------