

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université Ain Temoucent –Belhadj Bouchaib
Faculté des sciences et de technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour obtention du diplôme de Master en Energétique
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

**Modélisation et simulation d'un système d'alimentation
autonome avec éoliennes moteur diesel**

Présenté par :

- 1) Mr.Riazi Mostafa
- 2) Mr .Drafif Walid

Devant le jury composé de :

Mr. GUENDOUZ	Pr	UAT.B.B (Ain Temoucent)	Président
Dr. BERREZOUG	MCA	UAT.B.B (Ain Temoucent)	Examineur
Dr .REMLAOUI Ahmed	MAB	UAT.B.B (Ain Temoucent)	Encadrant

Année universitaire :2021/2022

Remerciements

Avant tous, Nous remercions en premier lieu notre dieu de nous donner la santé et la patience pour avoir terminer ce travail.

*Nous remercions très vivement Monsieur **DR. Remlao ui Ahmed** notre promoteur à l'Université Belhadj Bouchaib Ain temouchent de nous avoir confié le sujet, et de l'aide précieuse qu'ils ont toujours bien voulu nous apporter. Qu'ils trouvent ici l'expression de nos sincères reconnaissances.*

Nous adressons notre chaleureux remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble des enseignants de département génie mécanique de l'université de Ain temouchent pour la formation qu'ils nous ont assuré au long de notre cursus universitaire.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à nos chères mères et nos chers pères symboles d'affection et d'amour, qui ont sacrifié tout leur temps pour notre bonheur et notre réussite qu'ils se trouvent ici le témoignage de notre profonde reconnaissance et notre très grande affection.

A toute nos familles :

La famille Riazi et la famille Drafif

A tous nos camarades

A tous nos amis et nos collègues et à tous que nous aimons.

La liste des figures

Figure I.1 : panneau solaire.

Figure I.2 : énergie biomasse.

Figure I.3 : énergie hydraulique.

Figure I.4 : énergie géothermique.

Figure I.5 : énergie des mers et marine.

Figure I.6 : énergie éolienne.

Figure I.7 : les composants d'éolien.

Figure I.8 : éléments d'une nacelle.

Figure I.9 : composants électroniques dans le mat d'éolien.

Figure II.1 : système SHED.

Figure III.1 : installation réalisée par TRNSYS.

Figure IV.1 : variation de la température, la vitesse de vent et la radiation solaire durant le mois de Janvier.

Figure IV.2 : état de batterie (dans le mois de Janvier).

Figure IV.3 : état de l'onduleur (dans le mois de Janvier).

Figure IV.4 : profil de puissance (dans le mois de Janvier).

Figure IV.5 : variation de la température, la vitesse de vent et la radiation solaire durant le mois de Juin.

Figure IV.6 : état de batterie.

Figure IV.7 : état de l'onduleur.

Figure IV.8 : profil de puissance

La liste des tableaux

Tableau I.1: les avantages et les inconvénients des différents sources d'énergie.

Tableau II.1 : Classification des éoliennes selon la puissance

Tableau III.1 : les données de WECS (type 90).

Tableau III.2:les données de DEGS (type120)

Tableau III.3 : les données de régulateur (type48b).

Tableau III.4 : les données de batterie (type47a).

Sommaire

Introduction général	1
-----------------------------------	---

Chapitre I : Etat de l'art sur le système multi-source

I-1 Problématique des sites isolés	4
I-2. Les énergies renouvelables	5
I-2-1- L'énergie solaire.....	6
I-2-2- La biomasse	7
I-2-3- L'énergie hydraulique	8
I-2-4- L'énergie géothermique	8
I-2-5- L'énergie des mers ou énergie marine	9
I-2-6- L'énergie éolienne	10
I-3- Avantages et inconvénients des différentes sources d'énergie	10
I-4- Définition de l'énergie éolienne	12
I-4-1- Architecture d'une éolienne	13
I-4-1-1- Rotor	13
I-4-1-2- Nacelle	14
I-4-1-3 Mat	15
I-3-2 Principe de fonctionnement d'une éolienne	16
I-5 Chaîne de conversion d'énergie éolienne	16
I-6 Principe de conversion de l'énergie éolienne	17
I-7- Générateur diesel (appoint)	17
I-7-1 Caractéristiques principales	17
I-7-2 Installation du générateur diesel	18
I-8- conclusion	18

Chapitre II : Modélisation d'un système d'alimentation autonome éolienne

Moteur diesel

II-1- Systèmes hybrides définitions et motivations	20
II-2- Description du Système Hybride Eolien-Diesel SHED	21
II-3- Principaux composants d'un SHED	22
II-3-1- Eolienne	22

II-3-1-1 les différentes formes d'éolienne	22
II-3-1-2 Classifications des éoliennes selon la puissance	24
II-3-2 caractérisation de vitesse de vent	24
II-3-3 classification de vent	25
II-3-4- Groupe électrogène diesel	26
II-4- Importance de l'hybridation	27
II-5 régime de fonctionnement de système SHED	28
II-6 Le jumelage Eolien-Diesel	29
II-7- Problématique du jumelage éolien-diesel	30
II-7-1 la charge minimale d'un générateur diesel	30
II-7-2 le stockage d'énergie	31
II-7-3 la stabilité de système	31
II-7-4 le partage et équilibrage des sources de puissance	32
II-7-5 gestion de l'énergie réactive	32
II-8 Approche méthodologique	33
II-9- Avantage du système de jumelage éolien-Diesel.....	34
II-10-conclusion	34

Chapitre III : Simulation d'un système (Eolienne- Diesel)

III-1- Introduction	36
III-2- Présentation de logiciel(TRNSYS)	36
III-3- Utilisation de logiciel TRNSYS	37
III-4- Avantages et inconvénients.....	37
III-5- Description des composants de système sur TRNSYS	38

Chapitre IV : Résultats de simulation

IV-1-Introduction	44
IV-2-Simulation pour le mois de Janvier	44
IV-3-simulation pour le mois de juin	47
IV-4-conclusion	50

Conclusion générale	52
----------------------------------	----

Bibliographie	54
----------------------------	----

INTRODUCTION

GENERAL

Face à l'explosion démographique planétaire et au développement industriel, les exigences en ressources énergétique s'en vont grandissantes. La consommation des ressources énergétiques fossiles, prépondérante dans la consommation énergétique mondiale, est en forte croissance.

L'électricité aujourd'hui est la forme d'énergie la plus facile à exploiter. Mais avant de sa consommation il aura fallu la produire, en général dans des unités de production de grande puissance, la transporter par un réseau de transport, puis la distribuer vers chaque consommateur. Mais pour les sites isolé ou éloigné du réseau, ils sont alimenté à travers des mini centrale de production généralement constitué par des groupes diesels et un réseau de distribution local sans réseau de transport.

Les sources d'énergie renouvelables font l'objet d'un regain d'intérêt ces dernières années. La cause principale de cet essor se cache derrière les pronostiques d'épuisement des ressources énergétiques conventionnelles de la Planète : fuel, gaz naturel, charbon et même uranium. Au contraire, les sources d'énergie renouvelables peuvent être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine, puisqu'elles utilisent des flux énergétiques naturels issus du Soleil ou de la biomasse. Une autre raison du développement des sources d'énergie renouvelables est la distribution non uniforme des ressources conventionnelles d'énergie sur la Planète, couplée à une consommation non uniforme elle aussi. De cette façon, une partie considérable de l'humanité n'a pas accès à l'électricité, ce qui limite son développement. Les besoins électriques de ces personnes peuvent être satisfaits grâce à une génération distribuée assurée par des systèmes à Energie Renouvelable. Une dernière raison non négligeable est la lutte contre les émissions polluantes qui sont la cause de nombreux phénomènes néfastes comme l'effet de serre, le trou d'ozone stratosphérique, le réchauffement global etc. Ces gaz nocifs sont émis par diverses activités humaines, parmi lesquelles la production d'électricité à partir de sources d'énergie conventionnelles. Ainsi,

la réduction de l'électricité produite à partir de sources classiques en augmentant la part des diminuera les émissions et leurs conséquences.

Le travail présenté dans ce mémoire est organisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, après avoir introduit la définition et le message du pluralisme Aux sources, l'état de l'art de ce système est produit. Nous avons travaillé sur un système multi Sources éolienne/diesel. Ensuite, les différentes solutions sont présentées. Technologies qui permettent l'exploitation des ressources renouvelables dans des endroits isolés.

Le deuxième chapitre introduit la modélisation de tous les composants d'un multi-système afin d'analyser le comportement dynamique de l'ensemble du système face à changements climatiques et grossesse dans un régime de grossesse équilibré.

Le troisième chapitre est intitulé Simulation théorique et expérimentale

Permet de donner une méthodologie d'optimisation, des dimensions par calcul technique économique grâce aux différentes variantes possibles des chantiers isolés. Le système considéré est constitué d'une éolienne et d'un générateur diesel, et le principe de l'étude est mis en œuvre à l'aide du programme TRNSYS qui permettra lancement de la mise à l'échelle pour l'exportation de systèmes hybrides, chapitre quatre présentant le résultat de simulation qui effectué par le programme TRNSYS .

Le principe de l'étude est réalisé en utilisant le logiciel TRNSYS qui permettra de lancer un dimensionnement pour l'exportation des systèmes hybrides.

Chapitre I :
Etat de l'art sur le système
multi-source

I-1- Problématique des sites isolés :

Une autre problématique s'ajoute à celles détaillées dans les deux paragraphes précédents, celle des sites isolés. Dans ces secteurs isolés, il est n'est pas rentable de connecter les charges, de relativement petite puissance sur le réseau de distribution central, à cause des longues distances. Cela est dû au coût cher des lignes de transmission et des pertes liées à la distribution de la puissance aux régions éloignées [4].

L'approvisionnement électrique dans ces secteurs dépend seulement des systèmes de génération diesel autonomes, ce qui est le cas aussi dans la plupart des régions du monde, particulièrement les pays en voie de développement. Outre les coûts de carburants ne cessant d'augmenter, s'ajoutent les coûts du transport de ce carburant vers ces sites, ce qui rend la production d'électricités économiquement très dispendieuses. Au Canada, plus de 200,000 personnes vivent dans plus de 300 communautés isolées (Yukon, TNO, Nunavut, Îles, ...) qui ne sont pas connectés aux réseaux provinciaux ou nationaux de transport d'électricité. Il faut ajouter à celà les nombreuses installations techniques (tours et relais de télécommunications, systèmes météo), touristiques (pourvoiries, chalets, etc.), agricoles et piscicoles qui ne sont pas connectées aux réseaux de distribution électrique et utilisent des diesels pour générer de l'électricité une méthode relativement inefficace et très dispendieuse, responsable de l'émission de 1.2 millions de tonnes de GES annuellement. Au Québec, Hydro-Québec exploite près de 100 MW de groupes électrogènes diesels pour alimenter ses réseaux non reliés. En 1992, l'exploitation de ces réseaux s'est soldée par un déficit de 65,7 M\$, dont 19 M\$ pour les 14 villages nordiques. En 1991, le coût moyen de production de l'électricité pour tous ces villages était de 0,6 \$/kWh, dont 0,17 \$/kWh pour le carburant seulement. La plupart d'entre eux sont situés près de la côte et possèdent une bon potentiel éolien. La demande de pointe va de 180 kW pour le plus petit à 1900 kW pour le plus grand [4].

Solution :

Apportée par les énergies renouvelables, dont principalement l'énergie éolienne. Par définition, les énergies dites renouvelables sont potentiellement inépuisables. La nature peut les reconstituer assez rapidement, contrairement au gaz, au charbon et au pétrole, dont les réserves, constituées après des millions d'années, sont limitées. Les énergies solaire, éolienne, hydraulique et géothermique en sont les formes les plus courantes. Au Canada, les énergies solaires, éolienne, hydraulique et de biomasse sont le plus facilement exploitables. L'énergie lumineuse du Soleil peut être convertie en électricité, on peut exploiter la force du vent et de l'eau en mouvement pour faire tourner des turbines électriques; des céréales telles que le maïs et le blé peuvent produire de l'éthanol, un combustible que l'on peut utiliser pour alimenter les automobiles. L'énergie éolienne représente le meilleur compromis entre le coût de production, qui assure la viabilité économique et les impacts sur l'émission des gaz à effet de serre. Ceci explique le très fort taux de croissance de cette filière énergétique partout dans le monde.

I-2. Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables constituent historiquement les premières sources d'énergies utilisées par les hommes. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau; ces énergies, par définition, se renouvellent naturellement après avoir été consommées et sont donc inépuisables (au moins sur des très grandes échelles de temps). Aujourd'hui, elles servent surtout à la production d'électricité mais participent également à la production de chaleur. Toutefois, un constat s'impose. Dans l'état actuel des techniques, les énergies renouvelables ne peuvent couvrir l'ensemble de nos besoins énergétiques. Surtout si la croissance des consommations persiste. Comme leur nom l'indique, il s'agit de sources qui se renouvellent et ne s'épuiseront donc jamais à l'échelle du temps humain ! Les sources non renouvelables sont les énergies fossiles

comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse. [5]

I-2-1-L'énergie solaire :

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter. Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage et du refroidissement solaire, des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires. Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire. [5]



Figure I.1 : panneau solaire

I-2-2- La biomasse :

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments. Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques.

La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes.

La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production d'énergie), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz. [5]

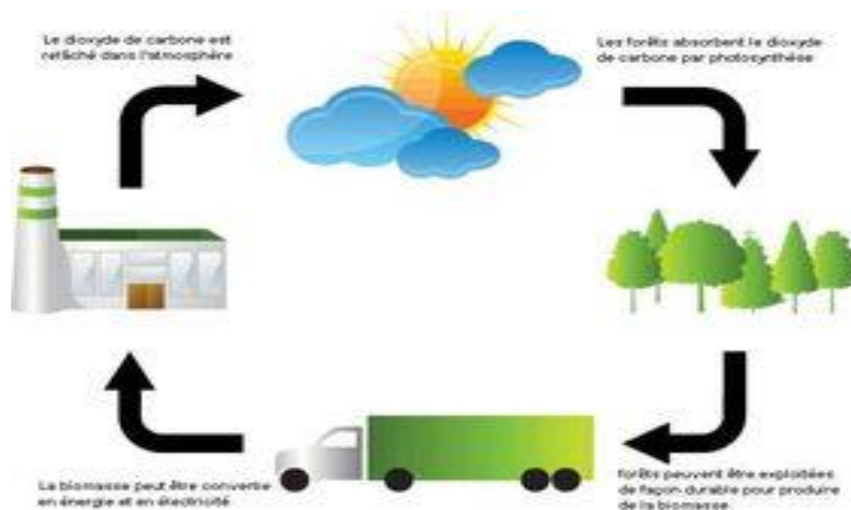


Figure I.2 : énergie biomasse

I-2-3- L'énergie hydraulique :

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages, des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité. [5].



Figure.3 : énergie hydraulique

I-2-4- L'énergie géothermique :

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur. [5]



Figure I.4 : énergie géothermique

I-2-5- L'énergie des mers ou énergie marine :

C'est une énergie renouvelable très peu exploitée jusqu'ici. Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil. Les océans, qui couvrent presque 70 % de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable. [5].



Figure I.5 : énergie des mers et marine

I-2-6- L'énergie éolienne :

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante. [5]



Figure I.6 : énergie éolienne.

I-3. Avantages et inconvénients des différentes sources d'énergie :

Technologie	Avantages	Inconvénients
Solaire (photovoltaïque)		-Les prix de fabrication et d'installation des panneaux sont assez élevés ; - Il est impossible d'obtenir une autonomie

		<p>énergétique complète par le biais de panneaux solaires seulement;</p> <p>-Le rendement énergétique est plutôt faible.</p>
Éolienne	<p>- L'énergie éolienne ne nécessite aucun carburant, ne génère aucun gaz à effet de serre et ne produit pratiquement aucun déchet;</p> <p>- Les frais de fonctionnement sont limités et les coûts de production sont prévisibles et se stabilisent à long terme</p> <p>- La ressource principale (le vent) est à 100% renouvelable et son exploitation ne comporte pratiquement aucun effet néfaste pour l'environnement.</p>	<p>-Les vents peuvent parfois souffler à des intensités irrégulières ;</p> <p>-Impossibilité d'emmagasiner de la source (le vent);</p> <p>-La production dépend de l'intensité des vents et non de la demande en énergie;</p> <p>-Des dispositifs externes de stabilisation sont en général nécessaires</p>
Hydraulique	<p>- L'exploitation de barrages et de centrales hydroélectriques ne génère aucun déchet toxique;</p> <p>- Les infrastructures ont une très longue durée de vie et les coûts d'exploitation sont maîtrisables;</p>	<p>- Les coûts d'installation d'une centrale hydroélectrique sont très importants;</p> <p>- Les écosystèmes aquatiques originels et les débits saisonniers naturels des cours d'eau peuvent être bouleversés par les installations;</p>

	- Possibilité d'emmagasiner de l'eau dans les barrages et de produire une énergie de grande qualité très rapidement lors des périodes de forte demande.	-Inondation de grands espaces fertiles nécessitant souvent le déplacement des populations locales.
Biomasse	- Les ressources naturelles nécessaires sont disponibles en quantités abondantes La biomasse génère peu d'émissions polluantes;	-La biomasse possède un faible rendement énergétique ; -Utilisation de ressources naturelles précieuses comme source d'énergie (ex : les céréales pour la fabrication de l'éthanol).

Tableau (I.1): Avantages et inconvénients des énergies renouvelables.

I-4- Définition de l'énergie éolienne :

L'énergie en provenance du vent traverse la turbine éolienne qui est un élément d'interface entre le domaine de la mécanique des fluides et de la mécanique traditionnelle. L'intérêt d'une éolienne se justifie par la possibilité qu'elle apporte de récupérer l'énergie cinétique présentée dans le vent et la transformée en énergie mécanique de rotation, Cette énergie mécanique peut être exploitée principalement de deux manières:

- Soit une conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.

- Soit une transformation en énergie électrique : l'éolienne est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.[6]

I-4-1- Architecture d'une éolienne :

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne, le rotor, la nacelle et le mat.

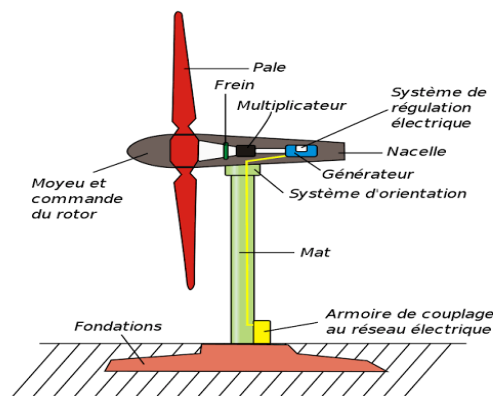


Figure I.7 : les composants d'éolien

I-4-1-1- Rotor :

C'est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique. Le rotor est un ensemble constitué de pales et de l'arbre primaire, la liaison entre ces éléments étant assurée par le moyeu. Sur certaines machines, l'arbre primaire qui tourne à faible vitesse comporte un dispositif permettant de faire passer des conduites hydrauliques entre la nacelle (repère fixe) et le moyeu (repère tournant). Cette installation hydraulique est notamment utilisée pour la régulation du fonctionnement de la machine (pas des pales variables, freinage du rotor...) [6]

I-4-1-2- Nacelle :

Son rôle est d'abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques. Différentes configurations peuvent être rencontrées suivant le type de la machine. La figure ci-dessous présente une coupe d'une nacelle avec ses différents composants :

- Multiplicateur de vitesse : il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique. En effet, la faible vitesse de rotation de l'éolienne ne permettrait pas de générer du courant électrique dans de bonnes conditions avec les générateurs de courant classiques.
- L'arbre secondaire comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.
- Génératrice : Différents types de génératrices peuvent être rencontrés.
- Contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit en fait d'un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est suffisante (de l'ordre de 5 m/s), gérer le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble rotor, nacelle face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie et réduire les efforts instationnaires sur l'installation. Pour mener à bien ces différentes tâches, le contrôleur utilise les données fournies par un anémomètre (vitesse du vent) et une girouette (direction du vent), habituellement situés à l'arrière de la nacelle. Enfin, le contrôleur assure également la gestion des différentes pannes éventuelles pouvant survenir.
- Divers dispositifs de refroidissement (génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, radiateurs d'eau, ou d'huile. [6]

- Dispositif d'orientation de la nacelle : Il permet la rotation de la nacelle à l'extrémité supérieure de la tour, autour de l'axe vertical. L'orientation est généralement assurée par des moteurs électriques, par l'intermédiaire d'une couronne dentée. De nombreuses éoliennes comportent un système de blocage mécanique de la position de la nacelle suivant une orientation donnée ; cela évite de solliciter constamment les moteurs et permet aussi de bloquer l'éolienne durant les opérations de maintenance. [6]

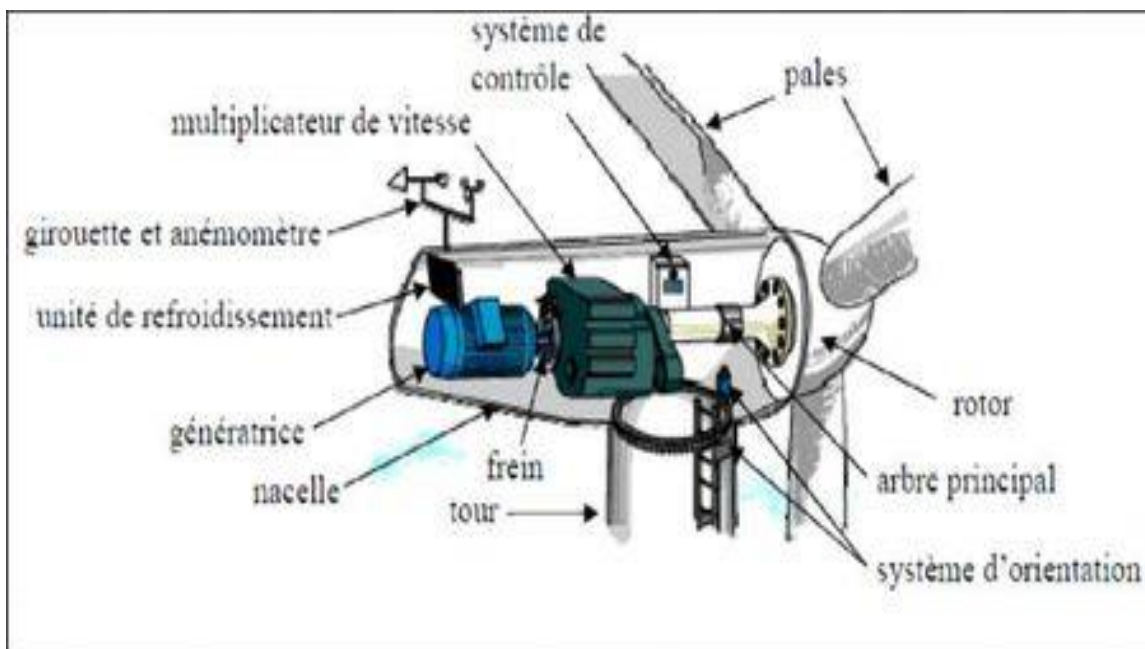


Figure.8 : éléments d'une nacelle

I-4-1-3-le Mât :

Son rôle est d'une part de supporter l'ensemble rotor, nacelle pour éviter que les pales ne touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante, de manière à sortir autant que possible le rotor du gradient de vent qui existe à proximité du sol, améliorant ainsi le captage de l'énergie.

Certains constructeurs proposent ainsi différentes hauteurs de tour pour un même ensemble (rotor, nacelle) de manière à s'adapter au mieux aux différents sites d'implantation.



Figure I.9 : composants électroniques dans le mat d'éolien.

I-4-2 Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Le principe de fonctionnement des éoliennes en particulier repose principalement sur le vent. Au moyen d'outils mécaniques, le but de l'éolienne est de capter l'énergie cinétique du vent pour la transformer en énergie électrique.[7]

I-5 Chaîne de conversion de l'énergie éolienne :

Pour obtenir de l'électricité à partir du vent, on retrouve dans les différentes configurations les mêmes éléments de base à savoir :

- Une turbine qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique.
- Une transmission mécanique.
- Une génératrice.
- Un système de liaison électrique.

Selon l'utilisation de l'éolienne, certaines de ces parties sont plus ou moins développées, on distingue deux grandes familles d'éoliennes :

- Les éoliennes raccordées au réseau.
- Les éoliennes autonomes

I-6 Principe de conversion de l'énergie éolienne :

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un générateur qui produit de l'électricité. La vitesse de rotation du rotor doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tr/mn pour une machine à 2 parties de pôles, vitesse nécessaire au bon fonctionnement du générateur.

Des convertisseurs électroniques de vitesse nécessaire au bon fonctionnement du générateur.

Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée, tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent.

La tension de l'électricité produite par générateur est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mat.

Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public.

I-7- Générateur diesel (appoint) :

Concernant l'appoint éventuel, un générateur diesel est nécessaire.

I-7-1 Caractéristiques principales :

D'après les renseignements recueillis auprès des constructeurs [8] [9], on peut retenir les caractéristiques ci-après :

- La consommation du combustible : Elle est fonction surtout, du régime d'utilisation (taux de charge) et du lieu d'implantation, elle décroît quasi-linéairement quand on diminue la charge.
- Le rendement : Le rendement instantané est fonction du taux de charge.
- La durée de vie : C'est une caractéristique très importante qui dépend des conditions d'utilisation du générateur et s'exprime en heures de fonctionnement.

I-7-2 Installation du générateur diesel :

Les conditions ci-dessous doivent être respectées pour l'installation du groupe :

- L'emplacement doit être facile d'accès (pour faciliter l'approvisionnement du combustible et doit garantir une bonne isolation contre le bruit ;
- Le groupe doit être placé dans un local qui assure les fonctions suivantes :
 - Isolation contre le bruit.
 - Isolation contre les intempéries.
- Le local doit permettre une inspection et un entretien facile du groupe ;
- Le local doit avoir des grilles de prises d'air et de ventilation ;
- Pour les générateurs de grande puissance, la ventilation doit être assurée par des ventilateurs.

I-8 Conclusion:

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur les systèmes hybrides à énergie renouvelable. Au premier lieu, nous avons défini les systèmes hybrides et donné ses classifications selon leurs contenus, ensuite nous avons présenté les différentes architectures qu'utilisent ces systèmes. En second lieu, nous avons donné les définitions et les généralités sur les sous systèmes formant la structure du système hybride à étudier par la suite qui est : éolien-moteur diesel.

Chapitre II :

**Modélisation d'un système
d'alimentation autonome
éolienne –Moteur diesel**

II-1- Systèmes hybrides définitions et motivations :

L'énergie éolienne est intermittente, ce qui veut dire que la puissance disponible dans le vent n'est pas uniforme tout au long de l'année, ni même tout au long d'une journée. Afin d'assurer la réponse à une demande qui est beaucoup moins fluctuante, la turbine éolienne doit être utilisée en parallèle avec d'autres sources d'énergie. La technique la plus couramment utilisée pour pallier à ce décalage entre la demande et la production, est de relier des parcs éoliens au réseau de distribution haute tension où les autres sources d'énergie sur le réseau (hydrauliques, thermique) ont le rôle d'assurer l'équilibre entre la charge et la production. Le couplage se fait avec une centrale thermique dans les sites isolés et dans ce cas le déploiement de l'énergie éolienne présente un impact significatif, environnemental et économique, en remplaçant une partie de la production électrique par du Diesel. Le «Jumelage Éolien - Diesel » (JED) ou plus simplement l'Hybridation, représente une technique de génération d'énergie électrique en utilisant en parallèle une ou plusieurs éoliennes avec un ou plusieurs groupes Diesel. [10] La conception préliminaire du système Hybride Éolien - Diesel prévoit l'utilisation d'une centrale Diesel existante déjà et l'ajout d'un parc éolien comportant un seul modèle de turbine.

À ces deux principaux éléments s'ajoutent le système de contrôle et les composants nécessaires à l'exploitation jumelée du système: charges secondaires de lissage, régulateur et commande automatisée. Suivant l'intensité du vent, on distingue trois modes de fonctionnement pour les systèmes à haute pénétration:

- Vents faibles : diesels seuls
- Vents moyens: diesels et éoliennes en service
- Vents forts: éoliennes seules. [10]

Le Taux de Pénétration en Puissance (TPP) est défini comme le rapport entre la puissance éolienne installée et la puissance maximum de la charge tandis que le Taux de Pénétration en Énergie (TPE) est définie comme le rapport entre l'énergie éolienne annuelle produite et l'énergie consommée par la charge. Le «Jumelage Éolien - Diesel à Haute Pénétration » (JEDHP), caractérisé par des valeurs $TPP > 1$, permet l'arrêt complet des groupes diesel pendant que la production éolienne est supérieure à la demande. [11] Ces systèmes Hybrides permettent la réduction la plus importante de la consommation de diesel et des émissions de gaz à effet de serre ainsi que la réduction du coût de production de l'électricité, notamment dans les sites isolés. En effet, cette façon de concevoir l'intégration éolienne amène des économies de carburant très intéressantes (50 à 80% selon le gisement éolien), et permet en plus de réduire les déficits d'exploitation des réseaux autonomes dont la production principale est obtenue par des groupes diesel en apportant des économies sur l'entretien et sur le coût de remplacement des diesels. Cependant, ces systèmes Hybrides, sans stockage, sont sujets à des problèmes techniques complexes dont les solutions sont très coûteuses comme nous le détaillerons dans le paragraphe suivant. [11]

II-2- Description du Système Hybride Eolien-Diesel SHED :

En générale, la conception préliminaire du SHED prévoit la génération de l'électricité en utilisant en parallèle une source d'énergie classique (groupe électrogène diesel) déjà existante et une source d'énergie renouvelable (éolienne) comportant un seul modèle de turbines. En plus de ces deux principaux éléments, le SHED peut aussi incorporer des convertisseurs statiques et dynamiques, un système de stockage, des charges principales et de délestages et un système de surveillance, etc [12]. Tous ces composants peuvent être connectés selon différentes architectures, l'architecture de notre étude est présentée dans la figure ci-dessous :

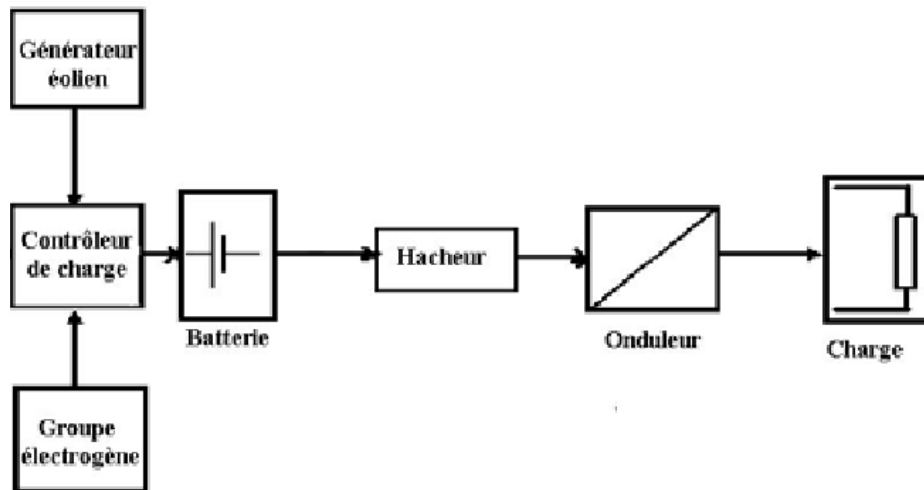


Figure II.1 : système SHED

II-3- Principaux composants d'un SHED :

II-3-1- Eolienne :

L'éolienne, abordable et rentable représente la source d'énergie idéale pour de nombreuses applications. Les éoliennes existent en plusieurs dimensions, la technologie largement dominante aujourd'hui est celle à axe horizontal, à turbine tripale, par fois bipale et à rotor face au vent. Ces éoliennes peuvent fonctionner à vitesse fixe ou variable. Les deux types de machines électriques les plus utilisées sont les machines asynchrones et synchrones sous leurs diverses variantes. [12] La Figure ci-dessous c'est l'exemple de la ferme éolienne d'Adrar qui dispose désormais d'une capacité de 10 MW.

II-3-1-1 Les différentes formes des éoliennes :

En effet, il existe une grande diversité d'éoliennes. Le monde des éoliennes ne se résume pas aux énormes structures à 3 pales que l'on peut apercevoir dans

le paysage, elles diffèrent de part leurs formes, leurs tailles ou encore leurs fonctions.

La forme de l'éolienne est tout d'abord conditionné par l'orientation de l'axe de rotation du rotor, la partie de l'éolienne composée des pales qui va donc tourner en présence de vent.

L'axe de rotation du rotor peut être soit horizontal, soit vertical. [6]
Ensuite, de nombreuses variantes existent selon la forme des pales. Mais voyons les principales formes utilisées :

- **Eolienne à axe horizontal :**

Les éoliennes à axe horizontal doivent s'orienter face au vent pour fonctionner plus efficacement, cela est réalisé soit par un safran (effet girouette), soit à l'aide de capteurs qui identifient le sens du vent et d'un moteur qui orientera l'éolienne. Les anciens moulins à vent sont également des éoliennes à axe horizontal.

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus communes, elles composées de pales dans le nombre peut-être très variable. Pour la fabrication d'électricité on retrouve plus fréquemment des modèles à 3 pales et pour le pompage des modèles à quelque dizaine de pales.

- **Eoliennes à axe vertical :**

Il existe deux principaux types d'éoliennes à axe vertical :

Type Savonius et type Darrieus. Leur rendement est moins bon que celui les éoliennes à axe horizontal mais elles d'autres avantages non négligeables : machineries au sol, pas besoin d'orientation en fonction de la direction du vent, construction souvent simple.

Elles tournent à faible vitesse et sont de ce fait peu bruyantes. Elles présentent par contre des difficultés pour leur guidage mécanique, le palier bas devant supporter le poids de l'ensemble de la turbine.

II-3-1-2 Classifications des éoliennes selon la puissance :

Classification des éoliennes	Diamètre (m)	Puissance (w)
petite éolienne	entre 0,5 m et 20 m	Inferieur à 100 Kw
moyenne éolienne	20m et 50m	100 Kwa 1 Mw
grande éolienne	50 m à 100 m	plus de 1 Mw

Tableau (II.1) : Classification des éoliennes selon la puissance. [7]

II-3-2 Caractérisation de la vitesse du vent :

La puissance énergétique éolienne moyenne disponible, associée à une circulation d'une masse d'air à une vitesse V et agissant sur une surface S , de la roue d'une éolienne s'écrit, [8]

$$P = \frac{1}{2} \rho V S^2$$

- P : Puissance moyenne (w)
- ρ : Masse volumique en (kg/m³), paramètre variant avec l'altitude et la température.
(D'environ 1.25 kg/m³).
- S : la surface balayée par les pales de l'éolienne (en m²).
- V : la vitesse moyenne de vent (m/s).

II-3-3 Classification du vent :

En fonction de sa vitesse et de ses effets, on classe le vent d'après l'échelle de Beaufort, créé en 1805 par l'amiral du même nom.[10]

Dégré	Vitesse (m/s)	Effet au sol	Effet sur l'eau	Hauteur des vagues (m)
0. Calme	<1	Pas de vent, la fumée monte verticalement	Comme un miroir	0
1. Très légère Brise	De 0,6 à 1,7	La fumée fléchit	Calme plat	0-0,2
2. Brise légère	De 1,8 à 3,3	Les feuilles Bougent	Vaguelettes	0,2-0,6
3. Petite brise	De 3,4 à 5,2	Les feuilles s'agitent	Petites vagues Courtes	0,6-1
4. Jolie brise	De 5,3 à 7,4	Les petites branches Bougent	Vagues avec crête	1-2
5. Bonne brise	De 7,5 à 9,8	Les grosses Branches	Vagues moyennes, moutons, embruns	2-3
6. Vent frais	De 9,9 à 12,4	Les grosses branches s'agit et on le sent dans les maisons	Grosses vagues avec Ecume	3-4
7. Vent fort ou grand frais	De 12,5 à 15,2	Il agite les branches et gêne la	Très grosses vagues avec écume	4-5.5

		marche		
8. Bourrasque ou coup de vent	De 15,3 à 18,2	Il casse les branches et agite de gros arbres	Vagues hautes, embruns et visibilité réduite	5,5-7
9. Forte bourrasque ou fort coup de vent	De 18,3 à 21,5	Il arrache les tuiles des Toits	Lames avec écume épaisse, visibilité	7-9
10. Tempête	De 21,6 à 25,1	Il arrache et abat les arbres	Grosses lames, mer blanchâtre, visibilité très réduite	9-11,5

II-3-4- Groupe électrogène diesel :

Les groupes électrogènes utilisés actuellement pour assurer les besoins en électricité des communautés vivant dans les régions éloignées sont des moteurs fonctionnant au diesel et couples directement à des générateurs synchrones à rotor bobine.

Pour pouvoir assurer en tout temps la qualité de l'électricité fournie (tension et fréquence stables), un régulateur de tension triphasée agit sur l'excitation des alternateurs synchrones pour s'opposer aux variations de tension.

La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel. Le gouverneur fonctionne en ajustant la quantité de carburant injectée dans les moteurs diesel, pour s'opposer aux variations de la vitesse du moteur et du générateur afin de les garder constantes. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré. [12]

II-4 Importance de l'hybridation entre l'éolien et le diesel :

Le SHED représente une solution intéressante pour l'électrification des consommateurs dans les sites isolés même s'il est très complexe comparativement aux solutions courantes mono-source.

Le SHED présente par contre un intérêt évident considérable par sa flexibilité incomparable, sa souplesse de fonctionnement et son prix de revient vraiment attractif. Ceci permet d'optimiser au maximum le système de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique et économique. [4]

Cette façon de concevoir l'intégration éolienne :

1-génère des économies de carburant beaucoup plus intéressantes qu'une génératrice diesel fonctionnant seule.

2-permet de réduire les déficits d'exploitation des réseaux autonomes en apportant des économies sur l'entretien et sur le coût de remplacement des groupes diesels.

3-assurant en tout temps l'énergie suffisante demandée par la charge et c'est possible produisant le maximum d'énergie à partir des éoliennes, tout en maintenant une qualité déterminée d'énergie fournie.

4-permet de palier pendant une durée limitée une indisponibilité partielle ou totale de la source d'énergie (vent). [1]

Un système hybride éolien-diesel doit notamment :

- Obtenir à des règles d'exploitation en temps réel basées sur une priorité économique des ressources énergétiques disponibles.
- Compter sur une gestion automatisée des composants du système afin de garantir la stabilité du système en tout temps en incluant les transitions entre les différents modes d'opération du système.

De plus, l'économie de carburant et la baisse de prix obtenus par la génération hybride doivent au moins couvrir l'investissement assuré pour les générateurs éoliens et les autres composants auxiliaires du système. Un système

de régulation performant qui maintient les groupes diesel au-dessus de leur puissance minimum de bon fonctionnement permettra d'optimiser leur fiabilité et le taux de pénétration de l'énergie éolienne. [4]

II-5 Régimes de fonctionnement d'un SHED :

Suivant l'intensité du vent, trois modes de fonctionnement peuvent être distingués pour les systèmes à haute pénétration :

- **Vents faibles ($V_w \leq 3\text{m/s}$)** : diesels seuls (Diesel Only DO) : C'est le groupe électrogène qui assure la production de puissance et les asservissements de tension et de fréquence. Dans ce cas, le système de contrôle des éoliennes est hors circuit.
- **Vents moyens ($3\text{m/s} < V_w \leq 10\text{m/s}$)** : diesels et éoliennes en service (Wind-Diesel WD) : Lorsque les vents sont d'intensité moyenne la puissance de l'éolienne n'est généralement pas suffisante pour fournir à elle seule la totalité de la demande.

Les éoliennes contribuent à fournir une partie de la puissance demandée par la charge et le groupe électrogène fournit alors la différence. Ceci permet de diminuer l'apport des diesels et par conséquent de réaliser des économies. Dans ce mode de fonctionnement, les régulations de tension et de fréquence sont réalisées par le groupe électrogène.

- **Vents forts ($V_w > 10\text{m/s}$)** : éoliennes seules (Wind Only WO) : Avec des vents Suffisamment forts pour que la production éolienne soit supérieure à la demande, il est alors possible d'arrêter complètement les groupes diesels. Une configuration connue mais non unique consiste à utiliser un embrayage unidirectionnel entre les diesels et les génératrices synchrones afin de découpler ces dispositifs. Les diesels étant arrêtés et découplés des machines synchrones, ces dernières n'entraînent aucune charge. Dans le cas où l'éolienne satisfait la demande de la charge, le surplus de l'énergie doit être stocké dans les batteries pour l'utilisation de secours. [4]

II-6 Le jumelage Eolien-Diésel :

Le jumelage éolien-diésel présente le meilleur compromis entre le rendement, la propreté, disponibilité et la stabilité en zones isolées. C'est une approche permettant de bénéficier de la stabilité d'un groupe diésel, en augmentant la puissance disponible et en réduisant les coûts de production ainsi que la dépendance aux carburants fossiles. L'idée de base d'un jumelage éolien-diésel consiste à adjoindre des aérogénérateurs à des groupes diesels existants, dans l'optique d'appuyer leur production et par ricochet, de réduire la consommation de gazole. Pour cela, ce système doit être ajusté pour [13]:

- une utilisation optimale de l'énergie du vent,
- une bonne robustesse vis-à-vis des fluctuations du vent et de la charge,
- des dérives minimales des grandeurs électriques produites (amplitude et fréquence),
- et un coût de revient minimum,

Le mode de production classique comprend:

- un ou plusieurs générateurs diesels;
- des réservoirs de stockage de gazole;
- un dispositif de gestion et de commutation des groupes diesels;
- des lignes de transport d'énergie électrique;
- la charge (village); et un ensemble de dispositifs de compensation de la puissance réactive. De l'énergie éolienne est apportée dans l'optique de réduire la puissance vue par les groupes diesels.

Sous certaines conditions, l'alimentation peut être assurée par la seule énergie éolienne.

Les principaux additifs nécessaires au système diesel sont:

- une ou plusieurs turbines éoliennes (parc d'éoliennes);

- des dispositifs de stockage du surplus de production éolienne;
- d'éventuels dispositifs auxiliaires d'exploitation du surplus d'énergie (non-stockable);
- un système de contrôle de la ressource éolienne;
- un commutateur principal de multiplexage éolienne-diesel;
- un dispositif de gestion de l'information et de supervision. En somme, on a un système de base constitué de générateurs diesels et un système auxiliaire constitué d'aérogénérateurs, l'ensemble devant fonctionner de manière stable et sécuritaire. Dans la suite nous présentons plus en détail chaque groupe constituant le jumelage.

II-7- Problématique du jumelage éolien-diesel :

II-7-1 Charge minimale d'un générateur diesel :

Des études empiriques montrent que la consommation de carburant d'un générateur diesel (en litres par heure) est une fonction quasi-linéaire de la puissance débitée [14]. La cogénération permet, par réduction de la charge du générateur diesel, de réduire le débit de carburant consommé. Cependant, on peut se poser une question fondamentale:

Y- a-t-il une limite inférieure à la réduction de la consommation d'un générateur diesel? La réponse est bien évidemment oui. Même à vide, un générateur diesel absorbe du carburant pour assurer le fonctionnement des parties mécaniques. Ceci ne se fait pas sans douleur pour le générateur. En effet, comme tout moteur à combustion interne, les performances d'une turbine diesel dépendent de la qualité du mélange air-carburant et de son degré de combustion [14].

Lorsque la turbine diesel fonctionne sous charge quasi nulle, sa température optimale n'est pas atteinte et les gaz d'échappement ne sont pas complètement brûlés. La température des gaz rejetés est inférieure à la normale et on dit qu'il y

a accumulation d'humidité. Ceci conduit alors au développement de crasse de carbone (résidus solides de la combustion incomplète) s'accumulant sur les valves d'échappement des chambres de combustion et autres tuyauteries d'échappement. Une accumulation excessive conduit à une baisse de performances de la turbine [13] et augmente la fréquence des interventions de maintenance. Ce phénomène a pour effet, non seulement l'augmentation des coûts de maintenance, mais aussi l'ineffectivité de l'économie de carburant préconisée par le jumelage éolien-diesel. La norme NFPA-1106 recommande une puissance minimale égale à 30% de la puissance nominale marquée sur la plaque signalétique du générateur. Il est donc clair que seul un arrêt total du diesel (mode W) permet d'assurer une économie optimale du carburant.

II-7-2 Le stockage de l'énergie :

La puissance produite au fil du temps par les éoliennes, est caractérisée par sa fluctuation due au fait que le vent est une source primaire difficilement prévisible et très fluctuante.

Ceci augmente les problèmes induits par l'intégration en grand nombre d'éoliennes dans les réseaux et rend difficile leur participation aux services systèmes.

II-7-3 La stabilité du système :

Le mode de production diesel seulement est complètement maîtrisé et ne pose pas de problème majeur.

Cependant, lorsque l'éolienne et le diesel fonctionnent ensemble (en mode WD), l'éolienne agit vis-à-vis du groupe diesel comme une charge négative. Ceci aboutit à de très grandes fluctuations dans le profil de production des groupes diesel, entraînant une large excursion du couple électromagnétique dans la génératrice avec un impact direct sur la mécanique de la turbine diesel.

La mécanique ainsi fortement sollicitée peut entrer en résonance si le générateur ne possède pas une bonne marge de stabilité.

En mode éolienne seulement (W), l'éolienne est seule responsable de la stabilisation des paramètres de production. Le système doit donc faire face à la variabilité de la charge et à celle du vent.

On a ainsi des perturbations en amont et en aval de la production. L'introduction de charges contrôlables - radiateurs ou simples résistances - permet généralement d'adoucir le profil de consommation et de gérer le surplus d'énergie non emmagasiné.

II-7-4 Le partage et l'équilibrage des sources de puissance :

La mise en parallèle de sources alternatives est loin de se limiter à une simple connexion à un bus commun. En effet, hormis l'impératif de synchronisme, la source la plus puissante a en général tendance à s'imposer aux autres générateurs et, au lieu d'avoir plus de puissance, on assiste à une série de changement de rôle (générateur récepteur) entre les sources.

Pour éviter cela, chaque générateur en cogénération doit être caractérisé par sa caractéristique puissance fréquence à tension constante.

II-7-5 Gestion de l'énergie réactive :

Le développement et la commande de l'énergie réactive sont primordiaux dans un réseau autonome. En effet, la tension de bus est très influencée par la quantité d'énergie réactive produite ou consommée. En ce qui concerne la cogénération éolien-diesel, la commande de l'énergie réactive est incontournable lorsque les convertisseurs électromécaniques des éoliennes sont de type générateur asynchrone.

Le choix des génératrices asynchrones permet de réduire les coûts mais, ces dernières n'ont pas de circuit d'excitation et doivent absorber de la puissance réactive pour pouvoir produire de la puissance active. Pour des systèmes de grande puissance, la traditionnelle solution des capacités d'auto-excitation est trop coûteuse et inefficace.

L'emploi des convertisseurs de puissance en topologie back-to-back permet de gérer le problème de la stabilité. Seuls des compensateurs synchrones

permettent de produire de l'énergie réactive de manière assez flexible pour résoudre le problème de l'excitation des génératrices asynchrones lorsqu'elles sont massivement utilisées. On peut alors envisager un double usage de la roue inertielle : stockage et compensation.

II-8 Approche méthodologique :

À partir de section précédente, nous pouvons constater que le jumelage éolien-diesel soulève un nombre important de problèmes et de défis technologiques pluridisciplinaires (électronique de puissance, électrotechnique, électromécanique, mécanique, instrumentation, informatique, automatisme, automatique, télécommunication, ...). Réaliser des essais grandeur nature peut être compliqué et parfois impossible. La modélisation et la simulation de pareils systèmes permettent de disposer d'un outil d'investigation et d'aide à la conception. L'approche méthodologique adoptée dans ce mémoire se résume par les points suivants :

- L'étude et la modélisation d'un système de jumelage éolien-diesel passe par une étude individuelle de chaque composante prise à part, et les fonctions intrinsèques doivent être reproduites par simulation numérique. Ceci est fait à travers une représentation mathématique des comportements dynamiques, sous forme de systèmes d'équations différentielles et algébriques. Les modèles ainsi établis permettront de prévoir les interactions avec d'autres éléments du système de jumelage.

L'étude dynamique de chaque composante ainsi prise à part permettra de garder une vue sur les réactions locales en fonctionnement réel.

D'autre part, des structures de correction locales peuvent être envisagées dans l'optique de rendre l'ensemble plus robuste.

- L'interconnexion de tous ces sous-systèmes sera ensuite envisagée dans l'optique d'étudier la stabilité globale de l'ensemble. On pourra ainsi mesurer l'impact de chaque problème cité plus haut sur la stabilité de l'ensemble du système de cogénération. Vu la complexité du système, des modèles trop

détaillés des composantes de base sont susceptibles de rendre la simulation du système impraticable.

On pourra donc effectuer des analyses dans l'optique d'appliquer des hypothèses simplificatrices permettant une meilleure commande des modèles obtenus.

Dans la suite de ce mémoire, nous organiserons cette méthodologie en trois principaux points : la modélisation et la simulation du générateur diesel, la modélisation et la simulation de l'aérogénérateur, et l'interconnexion de ces deux sous-groupes.

II-9- Avantage du système de jumelage éolien-Diesel :

- Réduction de la consommation de diesel (coût de transport et d'entreposage)
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Le vent est une ressource illimitée.
- Accroissement de la durée de vie des générateurs.

II-10- Conclusion :

Dans ce chapitre, on a vu un rappel sur les SHED en général, nous sommes intéressés au SHED du type éolien-diesel, nous avons présenté les principaux composants et les régimes de fonctionnement du SHED ainsi que le rôle primordial de l'hybridation entre l'éolien et le diesel pour l'alimentation des sites isolés et éloignés.

Chapitre III :
Simulation d'un système
(Eolienne- Diesel)

III-1- Introduction :

Un système d'alimentation hybride est composé de divers composants. Lors de la conception d'un système électrique hybride, des facteurs tels que la taille des composants, les figurations du système, l'adéquation des divers ressources d'énergie renouvelable dans cette région, les aspects économique du projet avec l'évolution des charges et des coûts des composants, le cycle de vie du système, le coût actuel net du système, le coût de l'énergie pour l'utilisateur final ,les coûts de maintenance et les coûts de fonctionnement annuels du système hybride aideront le décideur à déterminer les solutions les plus rentables du système hybride pour répondre aux charges électriques pour les quelles il est en cours de conception.

Ce chapitre présente une étude de cas conçue où l'Algérie est choisie.

III-2- Présentation de logiciel(TRNSYS):

Le logiciel de simulation TRNSYS est un environnement complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes, développé par le CSTB (centre Scientifique et Technique du bâtiment) dans le cadre de collaborations internationales, TRNSYS est aujourd'hui la référence au niveau mondial de la simulation dynamique de bâtiments et de système. Plusieurs centaines de composants TRNSYS sont disponibles, couvrant un large spectre d'applications.(Energie solaire, Eoliennes ,Hydraulique ,Microcontrôleurs, Photovoltaïque, Piles à combustibles, Piscines ,Chaudière bois, Cogénération, comportements des usagés, analyse et optimisation tarifaire, Plafond et Plancher rayonnant ,Pompes à chaleur, Régulation, Stockage d'énergie intersaison, Système de climatisation, Thermique du bâtiments ,Tour de refroidissements, Turbines à gaz ,Matériaux à changement de phase ,Analyse économique...).

Ces bibliothèques peuvent être connectés pour effectuer des études pluridisciplinaires techniques et économique .Studio assure l'interface entre le schéma de principe du projet à modéliser et TRNSYS d'une manière intuitive .la conception modulaire est ouverte de TRNSYS permet aux utilisateurs un contrôle sur les organigrammes, une adaptation plus réaliste des composants au projet étudié et la possibilité de créer aisément le composant spécifique pour un problème posé.

Le TRNSYS se caractérise par les trois principales fonctions :

- Les entrés (Inputs)
- Le traitement
- Les sorties(Outputs)

III-3- Utilisation de logiciel TRNSYS :

Le logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de son équipement (les systèmes de chauffages et la climatisation), pour l'étude détaillée du compartiment thermique de ce bâtiment, en fonction de son emplacement, des matériaux de construction utilisés, de l'architecture globale, du concept énergétique choisi, etc.

III-4- Avantages et inconvénients :

➤ Les Avantages :

- Grâce à son approche modulaire, TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser en ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus au moins élaborées).
- L'accès au code sources permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.
- Documentation vaste sur les sous-programmes y compris explications usages usuels équations de base.

- Définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de simulation.
 - **Les Inconvénients :**
- Pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder et introduire l'ensemble exhaustif des données définissant le bâtiment et le système.
- La bibliothèque est limitée.

III-5- Description des composants de système sur TRNSYS :

Présentation du modèle de l'installation réalisée par TRNSYS :

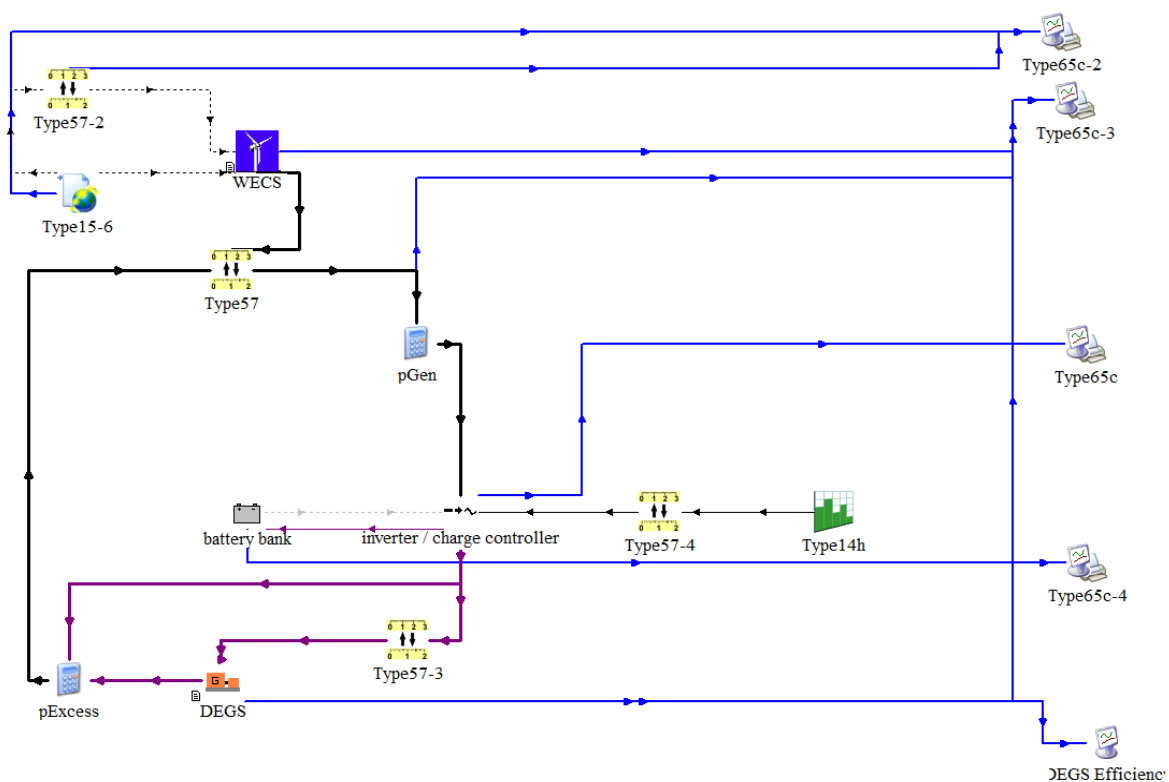


Figure III.1 : installation réalisée par TRNSYS

Notre système se base sur quatre composants principaux :

- WECS (éolienne) (type 90)
- DEGS (type120a)
- Batterie (type 47a)
- Régulateur (type 48b)

➤ **WECS (type90) :**

Le type90 est modèle mathématique pour un système de conversion de l'énergie éolienne (WECS).le modèle calcule la puissance produite par un WECS en fonction d'une caractéristique de puissances par rapport à la vitesse du vent(fournie sous forme de tableau dans un fichier externe).

L'impact des changements de densité de l'air et de la vitesse du vent augmente avec la hauteur est également modélisé.

Les principales équations utilisées dans ce modèle sont basées sur les travaux de (Quinlan 2000, Quinlan et coll. ; 1996).

Nom	Valeur	Unité
Elévation de site	226	M
Hauteur de la collecte de données	10	M
Hauteur de moyen	24	M
Perte de puissance de la turbine	0	%(base100)
Nombre d'éoliennes	1	-
Unité logique du fichier contenant les données de la courbe de puissance	34	-

Tableau III.1:les données de WECS (type90)

DEGS 5TYPE (120) :

TYPE120 est un modèle mathématique pour un groupe électrogène à moteur diesel (DEGS). Le modèle est basé sur une relation empirique (polynôme du 1er ordre) pour la consommation de carburant exprimée en fonction de la puissance électrique (normalisée)..

Nom	Valeur	Unité
DEGS mode	1	-
DEGS Type	1	-
Puissance maximal DEGS	1,2	kw
Puissance minimal DEGS	0,3	kw
Puissance nominale	1	kw

Tableau III.2:les données de DEGS (type120)

➤ **Régulateur (type47b) :**

Dans les systèmes éolien –diesel deux dispositifs de conditionnements d'énergie sont nécessaire. Le premier est un régulateur qui distribue l'énergie CC du réseau de cellules solaires vers et depuis une batterie (dans les système avec stockage d'énergie)et vers le deuxième composant, l'onduleur. si la batterie est complètement chargée ou n'a besoin que d'une charge conique, la puissance excédentaires est soit déchargée, soit non récupérée en éteignant certaines parties du réseau. L'onduleur convertit l'alimentation CC en courant alternatif et l'envoie à la charge et /ou le renvoie à l'utilitaire. Type 48 modèle à la fois le régulateur et l'onduleur, et peut fonctionner dans l'un des quartes modes.

Les modes 0et 3 sont basés respectivement sur « pas de batterie /système de rétroaction »et système de charge directe ».Les modes 1 et 2 sont des modifications du« système de suivi de puissance maximale » parallèle dans la même référence.

Ce Performa correspond au mode 3 : tension du collecteur égale à la tension de la batterie, courant au lieu de la distribution de puissance ; surveillance de l'état de charge de la batterie et de la tension.

Nom	Valeur	Unité
Mode	1	-
Efficacité du régulateur	0.78	-
Efficacité de l'onduleur	0.96	-
High limit on fractional state of charge(FSOC)	0.95	-
Limite haute de l'état de charge fractionnaire(FSOC)	0.1	-
Charge à la limite de décharge sur FSOC	0	-
Capacité de puissance de sortie de l'onduleur	3600	KJ/hr

Tableau III.3 : les données de régulateur (type48b)

➤ **Batterie (type 47a) :**

Ce modèle batterie de stockage au plomb-acide fonctionne en conjonction avec le réseau de cellules solaires et les composants de conditionnement d'énergie .Il précise comment l'état de charge de la batterie varie dans le temps, compte tenu du taux de charge ou de décharge. Ce performa correspond au Mode1, basé sur un simple bilan énergétique de la batterie. La puissance est simplement prise en entrée. Ce modèle ne calcule ni ne produit de valeurs de courant ou de tension.

Nom	Valeur	Unité
Mode	1	-
capacité énergétique de la cellule	200	Wh
cellules en parallèle	1	-
cellules en série	6	-
charging efficiency	0.9	-

Tableau III.4 : les données de batterie (type47a)

Chapitre IV :

Résultats de simulation

IV-1-Introduction :

Dans ce chapitre on va exposer et présenter les résultats obtenus par la simulation numérique d'une installation d'un système d'alimentation autonome éolien-moteur diesel pour la production de l'électricité.

Dans cette simulation nous avons choisi deux mois différents (Janvier et Juin).

IV-2-Simulation pour le mois de Janvier :

La variation de température de l'air, la vitesse de vent, et la radiation solaire durant le mois de Janvier :

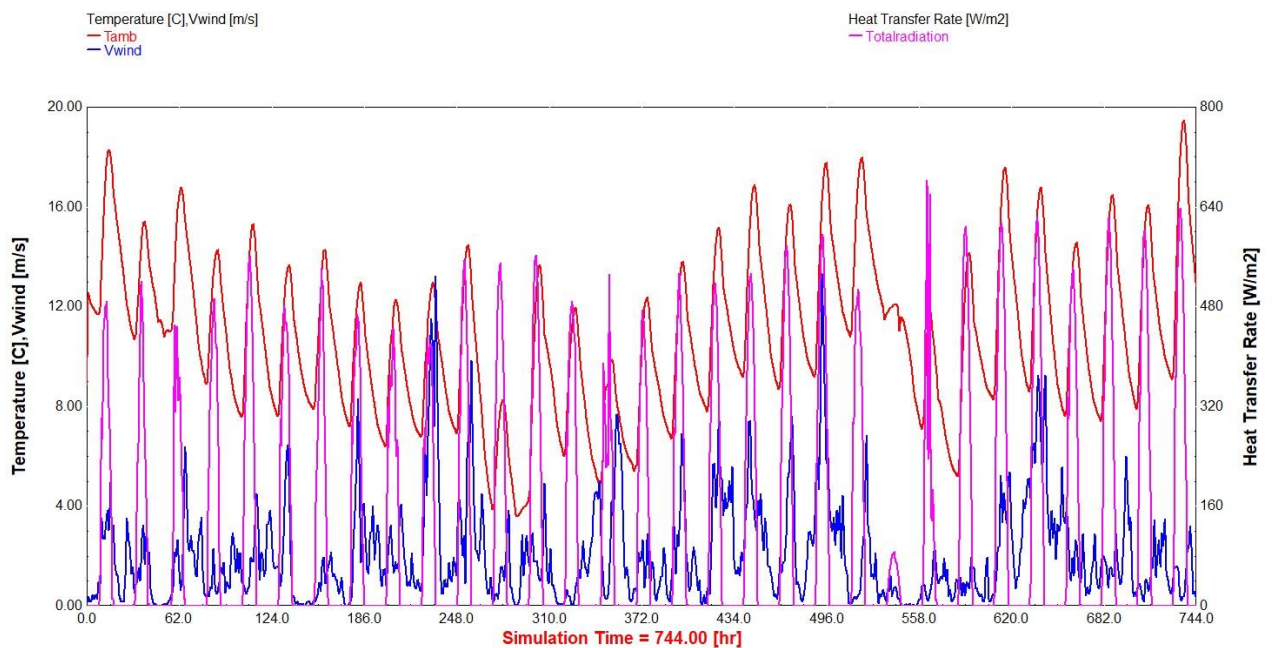


Figure IV.1 : la variation de température, vitesse de vent et radiation solaire durant le mois de Janvier

Commentaire :

La figure IV.1 représente la variation de température de l'air, vitesse de vent et la radiation solaire durant le mois de Janvier,

La courbe rouge représente les valeurs de température durant tout le mois de Janvier, on observe que le profil de température à des valeurs qui se varie entre 4° (valeur minimale) et 18° (valeur maximale).

La courbe bleue représente la vitesse de vent durant tout le mois de janvier.

-la vitesse du vent varie entre 1m/s et atteindre sa valeur maximal de 14m/s .

-la courbe rose représente les valeurs de la radiation solaire qui augmente jusqu'à sa valeur maximale 680w/m^2 , on remarque que le courbe de la radiation solaire suit respectivement le courbe de température .

La batterie :

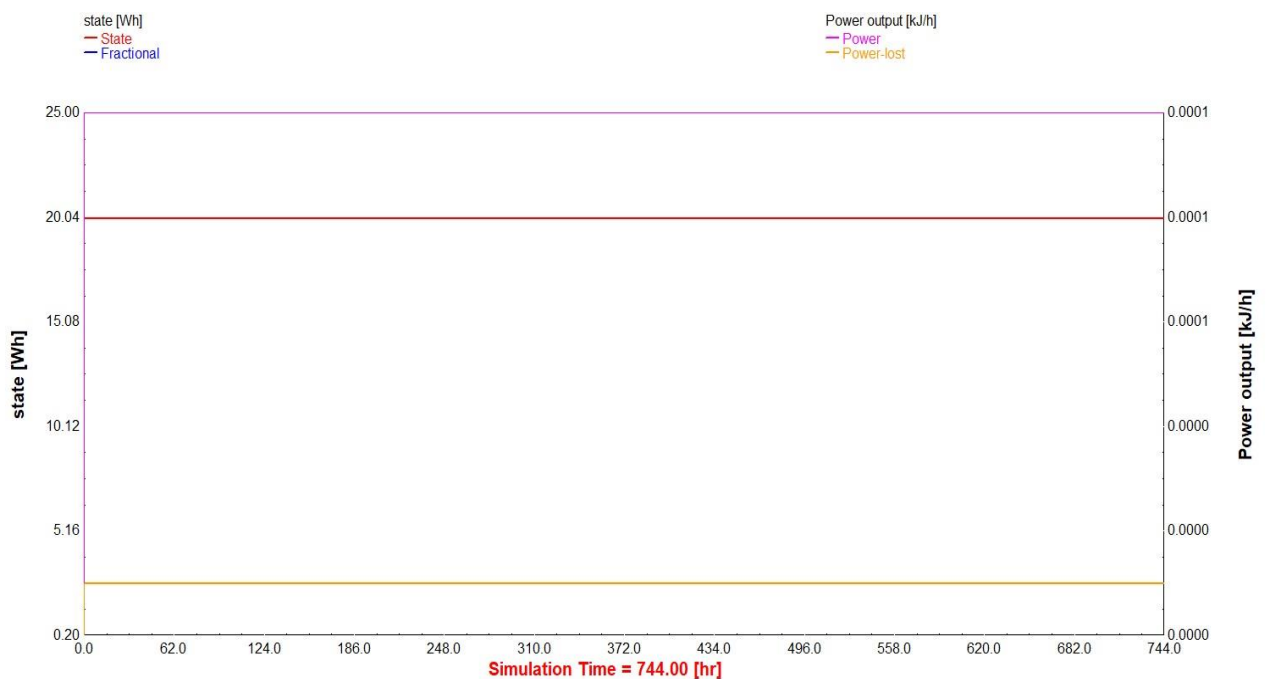


Figure IV.2 :L'état de la batterie

Commentaire :

La figure IV.2 représente l'état de la batterie durant le mois de Janvier

On remarque que l'état de la batterie et sa consommation est fixé et elle très faible le long de la ligne où la valeur de la température 20° et 25°

La ligne jaune représente la charge perdue, où on constate qu'elle est totalement nul où la valeur de la température minimale basse et elle correspond à (2c°)

L'onduleur :

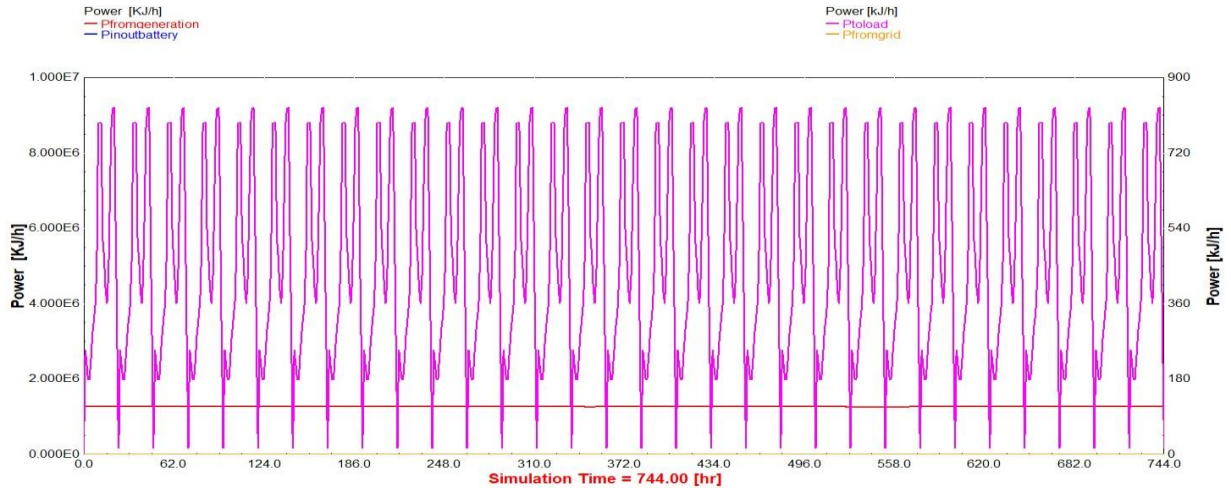


Figure IV.3 :L'état de l'onduleur

Commentaire :

L'onduleur est alimente durant toute la période de simulation.

La puissance qui sort de la batterie est nul.

-la courbe rose est bancaire scellant l'utilisation des appareils.

Profil de puissance :

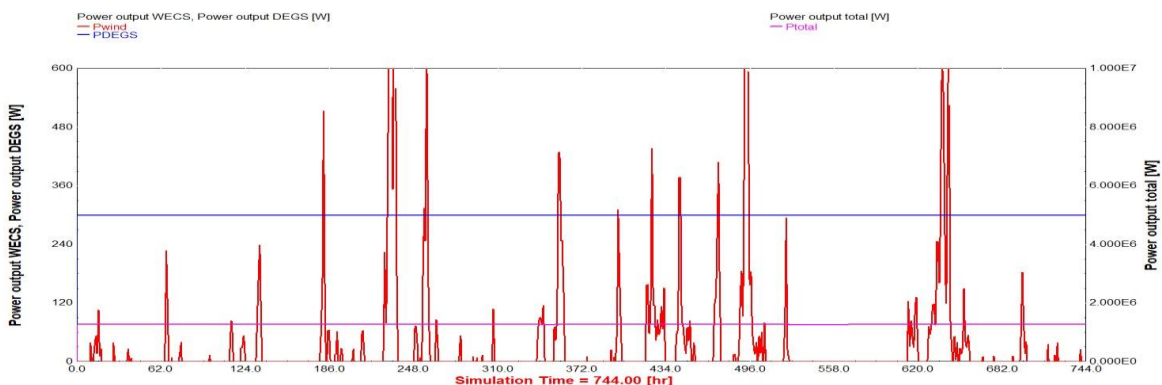


Figure IV.4 : profil de puissance

Commentaire :

-On remarque que la puissance de la turbine varie en fonction de vitesse du vent
Il continue à monter et descendre pendant toute la durée de simulation.

-La puissance de moteur diesel et la puissance total est nul durant cette période.

IV-3-simulation pour le mois de juin :

-La variation de température, vitesse de vent et la radiation solaire durant le mois de Juin :

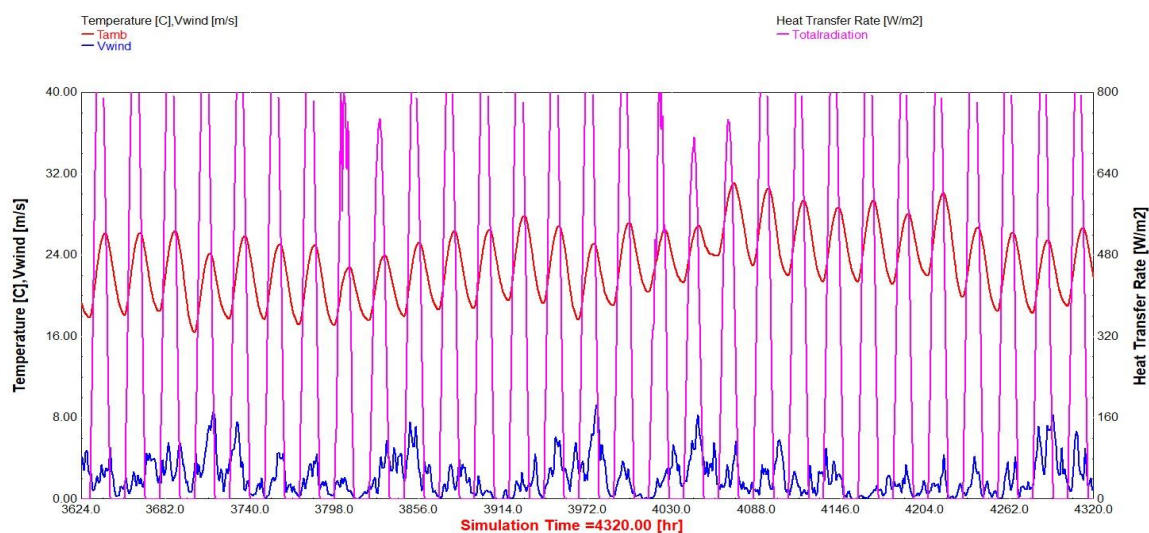


Figure IV.5 : la variation de température, de vitesse de vent et de radiation durant le mois de Juin

Commentaire :

La figure IV.5 représente la variation de température de l'air, la vitesse de vent et la radiation solaire durant le mois de Juin.

On remarque que la température est varié entre 17°C (valeur minimum) et 30°C (valeur maximum) dans toute de la période de stimulation.

La vitesse de vent est minimal durant toute la période sa valeurs maximal est 8m/s.

La courbe rose représente les valeurs de la radiation solaire, sa valeur maximale est 620 w/m^2 .

-La batterie :

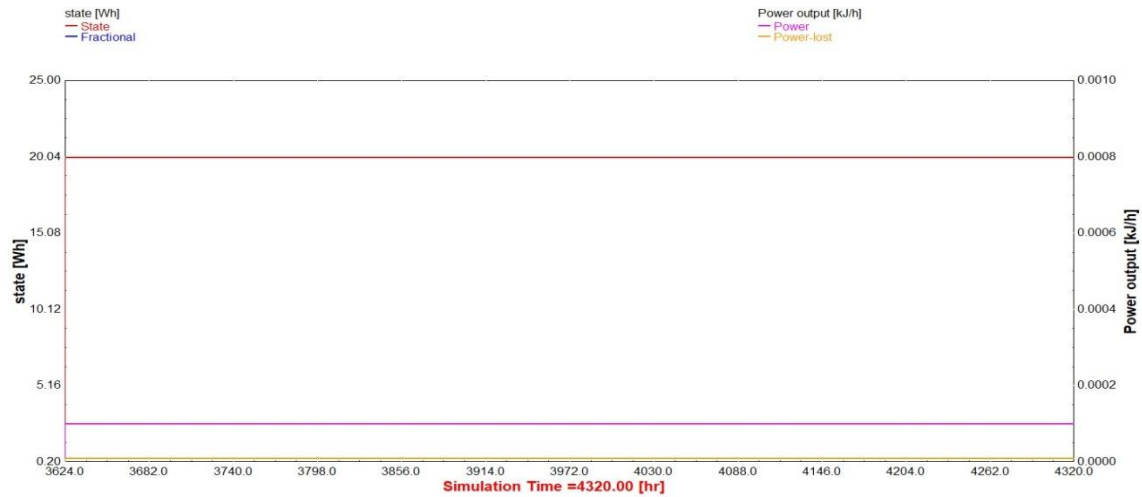


Figure IV.6 : L'état de la batterie durant le mois de Juin.

Commentaire :

Etat de charge de batterie et sa consommation et la puissance est constant avec la valeur de température qui correspond à 20C° et l'utilisation de batterie est très faible

La charge perdue de la batterie est quasiment nul .

-L' onduleur

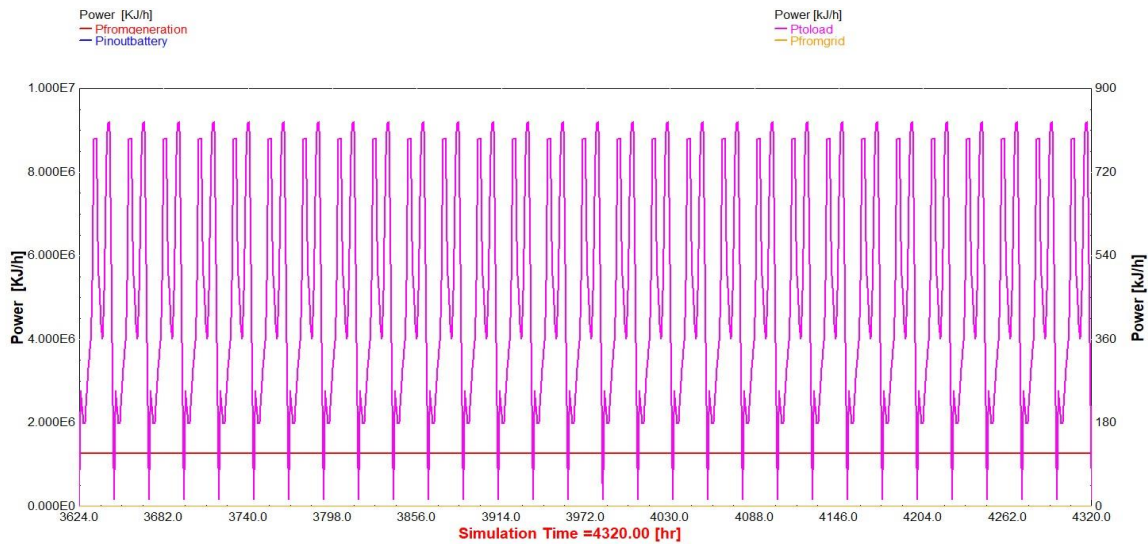


Figure IV.7 : l'état de l onduleur durant le mois de Juin

Commentaire :

La courbe rose est bancaire scellant l'utilisation des appareils.

Puissance de sort de batterie est nul durant toutes de la période.

-Profil de puissance :

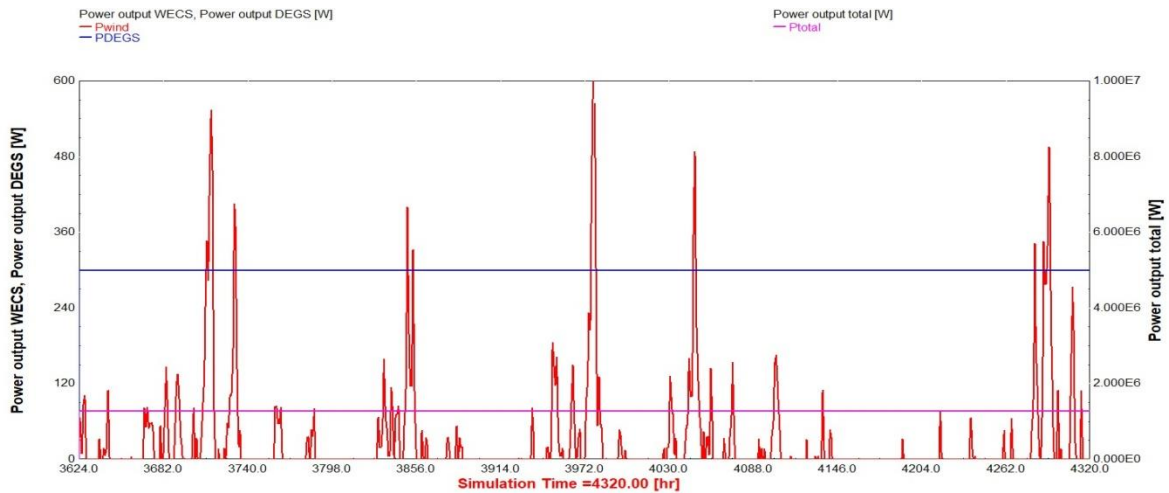


Figure IV.8 : le profil de puissance durant le mois de Juin.

Commentaire :

Puissance totale est très faible et la puissance de moteur diesel est constante.

La vitesse du vent se varie avec des vitesse moyennement faible

IV-4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons observé puis interpréter la simulation de notre système durant deux mois(Janvier et Juin) totalement différent climatiquement

Nos résultats de la simulation montrent que notre système est très valable car les résultats confirment les résultats du dimensionnement.

Notre système est fiable grâce à l'hybridation de deux systèmes éolien et diesel, le vent est l'élément clé de bon fonctionnement et pour un bon rendement de se système.

CONCLUSION GENERAL

L'objectif de cette thèse était de proposer un système hybride combinant deux sources d'énergies, à savoir un générateur diesel et un générateur éolien pour convertir l'énergie du vent, cette thèse étudie un système hybride éolien-diesel.

L'objectif de ce système est de produire l'électricité pour satisfaire à tout instant la demande d'un consommateur dans un site isolée.

Un modèle que nous avons réalisé et développé sous TRNSYS a été bien traité et validé avec des résultats expérimentaux et les performances d'un système éolien –diesel qui ont bien simulées.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] M.BENHAMMOU et B.DRAOUI, « modélisation de la température en profondeur du sol pour la région d'Adrar-effet de la nature du sol », Revue des énergies renouvelables Vol.14.N°2(2001)219-228,2011.
- [2] F.CHELLALI « A contribution in the actualization of Wind map of Algeria », Renewable and sustainable energy reviews ELSEVIER 15(2011)993-1002,2011.
- [3] F.BAGHDADI, « Modélisation et stimulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables », Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.
- [4]R.REID, Application de l'éolien en réseaux non reliés, Liaison énergie-Francophonie, N°35/2eme trimestre, 1997.
- [5] Source d'énergie renouvelable .PDF –pages1, 2,3.
- [6] Khelfat Lotfi, « étude et stimulation d'une éolienne à basse d'une machine asynchrone doublement alimentée », mémoire de master Université Badji Mokhtar –Annaba, page 16, Juin 2017.
- [7]Th.Fogelman, R.Montolin « Installation photovoltaïques dans L'habitat isolé Edition Edisud 1983 ».
- [8] B.Yaici, Thèse de magister, C.D.E.R, Juillet 1987.
- [9] Gaetan Lafrance, « Vivre après le pétrole : mission impossible ? », Editions Multi-Mondes, Québec, 2007, p.72.
- [10] www.explorateurs-energie.ch.
- [11] Tommy and Theubou Tameghe, « modélisation et simulation d'un système de jumelage éolien-diesel alimentant une charge locale », mémoire présenté à l'université du Québec en Abitibi-temiscaming comme exigence partielle de maîtrise en ingénierie, page 31.
- [12] Gen power Products inc, « wet stacking and how to avoid it », information sheet 09, déc.2010 www.genpowerproducts.com.
- [13] Contantine D.Rakopoulos,Evangelos G.Giakoumis, « diesel engine transient operation », Springer(2009).