

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

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER en PHYSIQUE ENERGETIQUE

Thème

Etude d'un system hybride turbine à gaz générateur éolien connecté au réseau électrique d'Adrar

Présenté par : BENHIDA Mohammed

Promoteur :	Mr B.OMARI	Maitre assistant A	UNIV ADRAR
Président :	Mr O.OULED ALI	Maitre assistant A	UNIV ADRAR
Examineur :	Mr T.BOUSSOUKAIA	Maitre de conférences B	UNIV ADRAR

Jun 2017



Remerciement

Tout d'abord un grand merci au docteur

Omari Boumedién qui accepte de diriger et encadre

ce travail de recherche pour sa grande générosité et

pour sa compréhension et son appui dans mes

démarches tout au long de ce travail.

Je remercie aussi mes collègues des centrales SPE et

SKTM de leur disponibilité et leur soutien indispensable.

Merci à tous ceux que nous aurons oubliés et qui

ont participé de près ou de loin à la réussite de ce

mémoire.



Dédicace

A mes parents

Qui sont mon inspiration et
ma force.

A mes frères et sœurs
a mon épouse et
ma petite fille sans eux
ce memoire
n'aurait jamais abouti
A mes collegues de travail,
et a tout les amis

Résumé

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on ne peut se passer. Vu l'ampleur de l'industrialisation de ces dernières décennies, la multiplication des appareils domestiques de plus en plus gourmands en consommation d'énergie électrique, la demande en énergie électrique est devenue très importante. Face à cela et avec la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructif pour l'environnement,

Turbine a gaz et générateur éolienne deux Systems hybrides nous donne l'integration qui devrait être dans le réseau optimal avec une priorité de production pour énergie renouvelable de terme d'environnement en raison d'énergie d'origine faucille qui reste toujours le combustible principale et nous assure la continuité de service au monument de pointe au moins a l'heure actuelle pour (EnR) continue sa développement et devient l'énergie principale et c'est que nous cherchons dans ce projet et c'est le but ultime pour le science dans ce domaine.

ملخص

الطاقة الكهربائية هي عنصر حاسم لأي تنمية اجتماعية واقتصادية. لقد أصبح في الحياة اليومية للسكان ، وخاصة في البلدان المتقدمة ، شكلاً من أشكال الطاقة لا يمكننا الاستغناء عنها. بالنظر إلى مدى التصنيع في العقود الأخيرة ، وانتشار الأجهزة المنزلية استهلاك الكهرباء الجشع على نحو متزايد ، أصبح الطلب على الطاقة الكهربائية في غاية الأهمية. في مواجهة هذا ومع الانخفاض في المخزون العالمي من الهيدروكربونات وخاصة الخوف من التلوث أكثر وأكثر اقتحاماً وتدميرًا للبيئة لذا توفر لنا التوربينات الغازية ومولدات الرياح نظامين هجين التكامل الذي يجب أن يكون في الشبكة المثلى مع أولوية إنتاج للطاقة المتجددة على المدى البيئي مع مصدر الطاقة الأصلي الذي لا يزال الوقود الرئيسي و يضمن لنا استمرار الخدمة في أوقات الذروة على الأقل في الوقت الحاضر نظام الطاقة المتجددة يواصل تطويره حتى يصبح الطاقة الرئيسية وهذا هو الهدف النهائي للعلوم في هذا المجال

Sommaire

Chapitre I : production d'énergie électrique par une turbine a gaz

I.1-Introduction	1
I. 2-La société nationale de l'électricité et du gaz (SONELGAZ)	1
I. 2-1 Les filiales de SONELGAZ.....	1
I.2-2 le schéma d'organisation du Groupe Sonelgaz	2
I.2 -3 Historique de la Centrale d'Adrar	3
I.2 -4 Présentation de la centrale	4
I.3- La Turbine à Gaz TG	6
I.3-1 Le principe de fonctionnement et composition de la turbine	6
I.3-1-1 Le démarrage	7
I.3-1-2 L'arrêt.....	8
I.3-1-3 Le compresseur	8
I.3-1-4 Le système de combustion.....	9
I.3-2 L'alternateur.....	12
I.3-2-1 Caractéristique de l'alternateur	13
I.3-2-2 L'excitation	18
I.3-2-3 Rôle de système de régulation	19
I.3-2-4 Le système de commande	20
I.3-2-5 Synchronisation manuelle	20
I.3-2-6 Mise en marche d'un groupe sur un réseau isolé	21
I.4 Conclusions.....	23

Chapitre II : l'énergie éolienne

II.1-introduction.....	25
II.1-2 Les énergies renouvelables.....	25
II.1-2-1 L'énergie hydraulique.....	27
II.1-2-2 L'énergie de la biomasse.....	27

II.1-2-3 L'énergie de la géothermie.....	27
II.1-2-4 L'énergie solaire.....	28
II.1-2-5 L'énergie éolienne.....	29
II.1-3 Evaluation de l'énergie renouvelable en Algérie.....	30
II.1-4 Potentiel solaire.....	31
II.1-5 Potentiel éolien.....	32
II.1-6 production éolienne.....	33
II.1-7 Définition de l'énergie éolienne.....	34
II.1-8 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....	35
II.1-8-1 Avantages	36
II.1-8-2 Inconvénients	37
II.1-9 Quelques notions sur le vent.....	38
II.1-10 Direction et vitesse du vent	39
II.1-11 les différents types des turbines éoliennes.....	40
II.1-11-1 Turbines Eoliennes à Axe Horizontal.....	40
II.1-11-2 Turbines Eoliennes à Axe Vertical.....	42
II.1-12 Principaux composants d'une éolienne.....	43
II.1-13 Eoliennes lentes.....	44
II.1-14 Eoliennes rapides.....	45
II.1-15 Notions théoriques sur l'éolien	46
II.1-16 Caractéristiques de la puissance du rotor.....	52
II.1-17 Conclusion	57

Chapitre III : étude de cas de system hybride

III.1 Définition	59
III.2 : Classification des systèmes Hybrides.....	59
III.2.1 Les régimes de fonctionnement du système Hybride.....	59
III.2.2-La structure du système hybride.....	59
III.2.3- Mode de fonctionnement.....	60

III.3 Etude de différentes structures du système d'énergie hybride.....	60
III.3.1 Configuration à bus DC	61
III.3.2 Configuration à bus à AC.....	62
III.4. Centrale tg kabertene	62
III.4.1: Turbine à gaz	62
III.4.2 Transformateur de puissance	65
III.5 La ferme éolienne kabertene	67
III.5.1 Les constituants de la centrale éolienne kabertene	67
III.5.2 caractéristique d'aerogenerateur centrale kaberten.....	67
III.5.3 transformateur de puissance (kiosque).....	70
III.6- Maintenance	70
III.6-1 Objectif de la maintenance	70
III.6-2 Les types de la maintenance	71

Chapitre IV : simulation et résultat

IV. 1 définition	74
IV. 2 Interprétation des résultats.....	74
IV. 3 profile de variation de charge mensuelle et annuelle	75
IV. 4 vitesse de vent mesurée au site de kaberten	86
IV.5 caractéristiques turbine a gaz (PWPS)	81
IV. 6 conclusions.	82

Conclusion générale

Liste des figures

Liste des tableaux

Bibliographique

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Introduction générale

Les **énergies renouvelables (EnR en abrégé)** sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres (soleil surtout pour la chaleur et la lumière), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (géothermie). Sa renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se régénère.

La part des énergies renouvelables dans la consommation finale mondiale d'énergie en 2014 était estimée à 19,2 %, dont 14 % de biomasse, et leur part dans la production d'électricité à la fin 2015 était estimée à 23,7 % : 16,6 % d'hydroélectricité, 3,7 % d'éolien, 2,0 % de biomasse, 1,2 % de photovoltaïque et 0,4 % de divers (géothermie, solaire thermodynamique, énergies marines)

Pendant la plus grande partie de son histoire, l'humanité n'a disposé que d'énergies renouvelables pour couvrir ses besoins énergétiques. Au Paléolithique, les seules énergies disponibles étaient la force musculaire humaine et l'énergie de la biomasse utilisable grâce au feu ; mais de nombreux progrès ont permis d'utiliser ces énergies avec une efficacité grandissante (inventions d'outils de plus en plus performants).

Le progrès le plus significatif a été l'invention de la traction animale, qui est survenue plus tard que la domestication des animaux. On estime que l'homme a commencé à atteler des bovins à des araires ou des véhicules à roues durant le IV^e millénaire av. Ces techniques inventées dans l'ancien croissant fertile ou en Ukraine, ont par la suite connu un développement mondial².

Introduction générale

L'invention de la marine à voile a été un progrès important pour le développement des échanges commerciaux dans le Monde.

Celle des moulins à eau et à vent a également apporté une énergie supplémentaire considérable. Fernand Braudel qualifie de « première révolution mécanique » l'introduction progressive, du XI^e siècle au XIII^e siècle, des moulins à eau et à vent : « ces « moteurs primaires » sont sans doute de modique puissance, de 2 à 5 HP pour une roue à eau, parfois 5, au plus 10 pour les ailes d'un moulin à vent. Mais, dans une économie mal fournie en énergie, ils représentent un surcroît de puissance considérable. Plus ancien, le moulin à eau a une importance bien supérieure à celle de l'éolienne. Il ne dépend pas des irrégularités du vent, mais de l'eau, en gros moins capricieuse. Il est plus largement diffusé, en raison de son ancienneté, de la multiplicité des fleuves et rivières, ... »

À la fin du XVIII^e siècle, à la veille de la révolution industrielle, la quasi-totalité des besoins d'énergie de l'humanité était encore assurée par des énergies renouvelables. dans un essai d'évaluation de la répartition des consommations par source d'énergie, Fernand Braudel estime à plus de 50 % la part de la traction animale, environ 25 % celle du bois, 10 à 15 % celle des moulins à eau, 5 % celle de la force humaine et un peu plus de 1 % celle du vent pour la marine marchande ; il renonce à chiffrer la part des moulins à vent, faute de données, tout en précisant : « les éoliennes, moins nombreuses que les roues hydrauliques, ne peuvent représenter que le quart ou le tiers de la puissance des eaux disciplinées ». On peut donc, évaluer la part totale de l'énergie éolienne (voile + moulins à vent) entre 3 et 5 %. Il mentionne pour mémoire la batellerie fluviale, la marine de guerre, le charbon de bois et le charbon de terre.

CHAPITRE I :

PRODUCTION D'ÉNERGIE ELECTRIQUE PAR UNE TURBINE A GAZ

1-Introduction :

-Avant l'indépendance de l'Algérie la production d'électricité est assurée par la société française EGA (Electricité et Gaz d'Algérie), après l'indépendance du pays EGA reste active jusqu'à 1969, à cause de la décision présidentielle du défunt Houari Boumediene, EGA devient SONELGAZ la société nationale de l'électricité et du gaz

2-La société nationale de l'électricité et du gaz (SONELGAZ) :

Aujourd'hui sonelgaz est une grande société contient plusieurs filiales

2-1 Les filiales de SONELGAZ

Sont réparties par pôle de métiers :

- Filiales métiers de base (production, transport de l'électricité, Transport du gaz, distribution de l'électricité et du gaz)
- Filiales métiers périphériques (logistique, soutien)
- Filiales des travaux

2-2 le schéma d'organisation du Groupe Sonelgaz : [4]



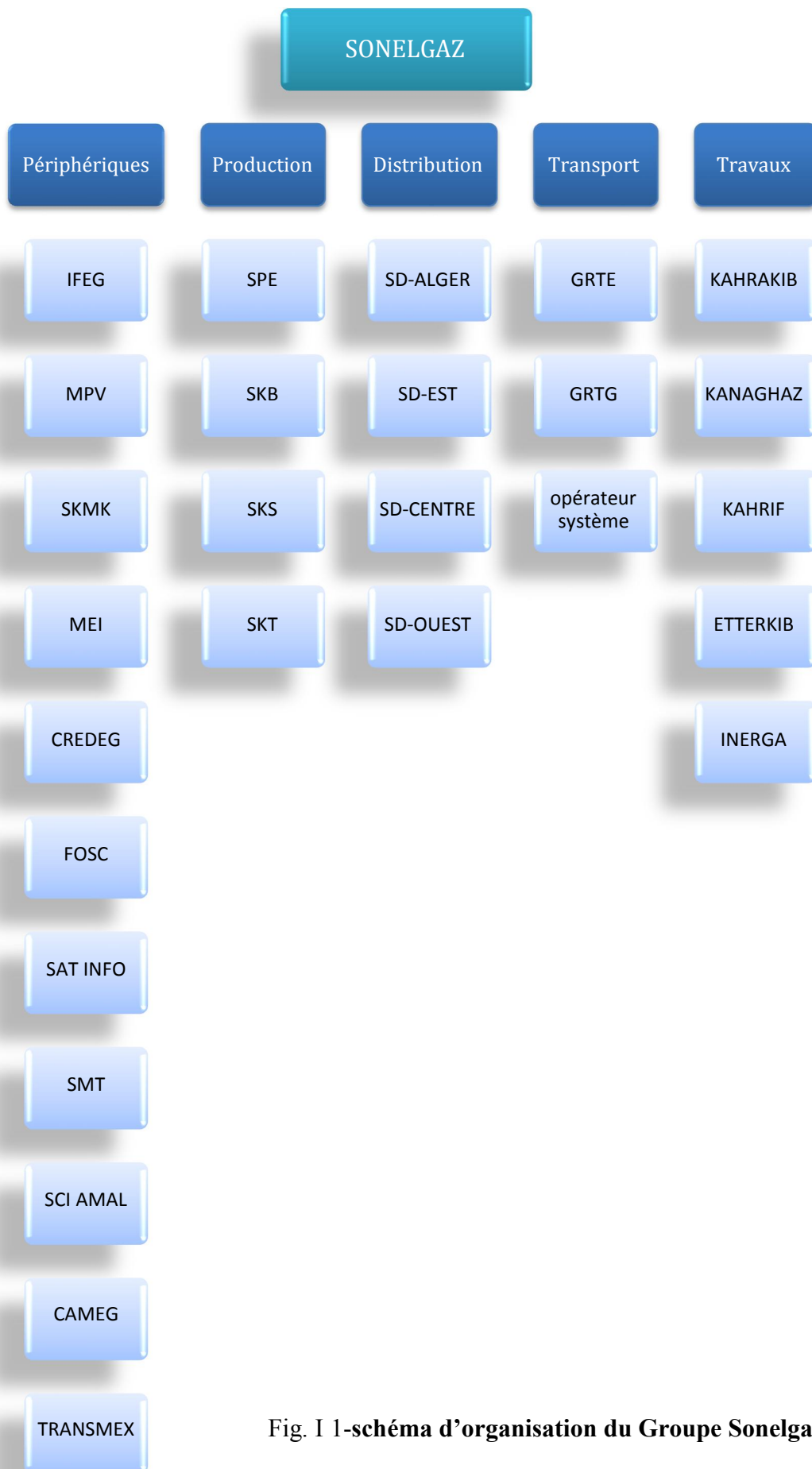


Fig. I 1-schéma d'organisation du Groupe Sonelgaz

2 -3 Historique de la Centrale d'Adrar : [4]

Au début la société EGA assurée la production d'électricité à Adrar par des petits groupes électrogènes, puis la production par sonelgaz est évoluée progressivement jusqu'à aujourd'hui :

1982 : Construction d'une centrale diesel de 4*1,75 MW FUJI

1984 : L'extension de la région d'Adrar a conduit à une augmentation de la puissance, d'où le renforcement par deux groupes FUJI supplémentaires de 1,75MW chacun.

1987 : La forte demande enregistrée par SONELGAZ d'environ 15% par année a conduit, au transfert de 02 turbines mobiles ASEA de 2x15 MW provenant de la Centrale de HASSI MESSAOUD.

1991 : Décision d'installation d'une nouvelle centrale TG d'une puissance de 100 MW et signature du marché 43/91/KDM/ avec le constructeur Nuovo Pignone (Italie)

1992 : Renforcement de la puissance installée par une autre turbine gaz mobile ASEA de 15MW provenant de BECHAR ce qui porte la puissance installée à 55,5 MW

1995 : Mise en service la nouvelle centrale TG d'ADRAR 4*25 MW (TG type 5001 PA)

1996 : Transfert des 03 groupes TG ASEA 3*15 MW vers la centrale d'ANNABA

1999 : Transfert des 03 groupes diesel FUJI vers le site de TALMINE

03Avril2007: Transfert de la TG3 ANNABA vers ADRAR pour le renforcement du réseau.

29 juin 2008 : Interconnexion des deux réseaux HT d'ADRAR et IN SALAH (ligne 400 KV exploitée en 220 KV)

2010 : il a été procéder l'installation de deux TG mobiles PWPS (pratte & witheny power sytem) de charge de 15MW par chacune au niveau du poste HT de KABERTEN création nouvelle centrale .

2011 : siute les condition climatiques de kaberten a été choisée pour la réalisation d'une ferme éolien

2012 : suivant la demande augmente deux TG mobiles PWPS installé au niveau l'ancienne centrale de Timimoune,

2013 : création projet de réalisation nouvelle centrale au niveau ZAOUJET KOUNTA avec quatre TG mobiles PWPS et après une extension d'autre quatre 04 TG mobiles GE de charge 20 MW de chacune.

2014 : réalisation 07 sept centrales en énergie renouvelables (photovoltaïques)

ADRAR 20 MW

TIMIMOUNE, AOULEF, AINE SALEH 09 MW

REGGAN, ZAOUJET KOUNTA, KABERTEN 05 MW

L'exploitation prévue en 2015

2 -4 Présentation de la centrale :

La centrale d'Adrar est située au chef-lieu de la wilaya, elle s'étend sur une superficie de 15 hectares.

La puissance totale installée est de 155 MW

- 4*25 MW TG Nuovo Pignone (1995),
- 1*15 ASEA (1986)
- 2*20 MW TG(2011)

Le combustible principal est le gaz naturel provenant de la station déshydratation de SBAA (SONATRACH) arrivant à une pression de 60 bars.

Le fuel est utilisé comme combustible de secours avec une capacité de stockage de 6400 m³ garantissant une autonomie de 15 jours avec des groupes à pleine charge.

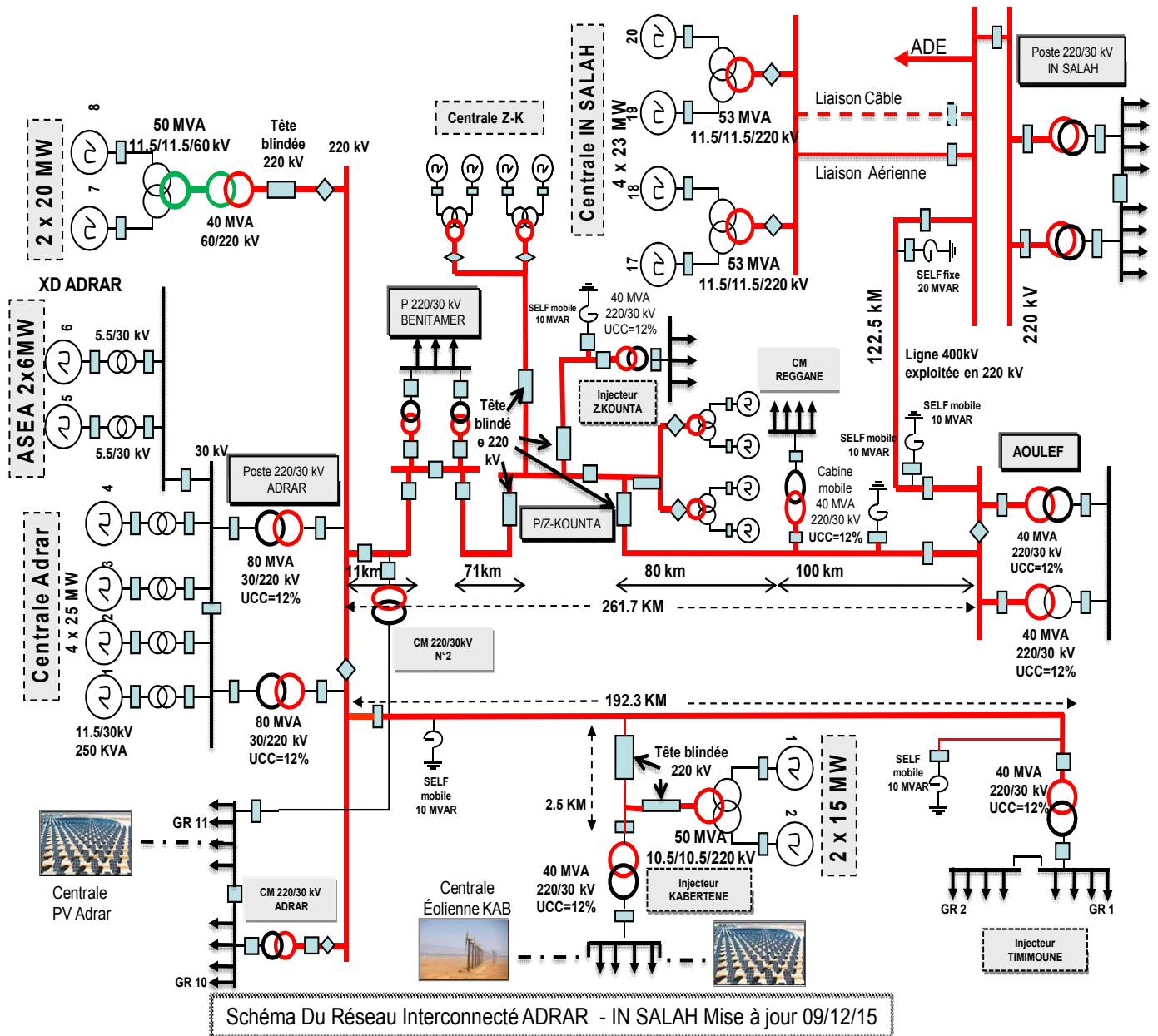


Fig. I.2 schéma du réseau interconnecté d'Adrar [7]

3- La Turbine à Gaz TG

La turbine à gaz est constituée de deux parties importantes de la production de l'électricité : l'une est mécanique c'est la turbine et l'autre est électrique c'est l'alternateur :

3-1 Le principe de fonctionnement et composition de la turbine

Le groupe thermique à gaz est constitué par une turbine à gaz type 5001 par exemple à un seul arbre, entraînant un alternateur à travers un réducteur.

Dans la turbine à gaz, qui est considérée comme un moteur à combustion interne, la combustion d'un mélange air-combustible est utilisée pour produire la puissance sur l'arbre nécessaire à l'entraînement du compresseur, certains auxiliaires et principalement l'alternateur.

La turbine à gaz est autonome pour son démarrage, elle est donc équipée d'un dispositif de lancement qui est le plus souvent un moteur électrique ou un moteur à diesel.

Au démarrage le moteur de lancement transmet son couple à la ligne d'arbre à travers un convertisseur de couple (réducteur de vitesse 200Hz-50Hz), le compresseur est entraîné c-à-d comprime l'air filtré vers la chambre de combustion pour augmenter la puissance de l'air comprimé déjà qui entraîne la turbine.

- Le combustible utilisé peut être liquide ou gazeux. Le combustible gazeux est utilisé comme combustible principal et le combustible liquide comme combustible de secours.

Le mélange combustible et l'air comburant est allumé par des bougies d'allumage dans les chambres de combustion, ramenant sa température à plus de 1000°C. Ce mélange à sa sortie des chambres de combustion, entre directement dans la turbine pour la faire tourner. Cette procédure permet de transformer l'énergie chimique en énergie calorifique dans les chambres de combustion, puis en énergie mécanique dans la turbine et enfin en énergie électrique dans l'alternateur.

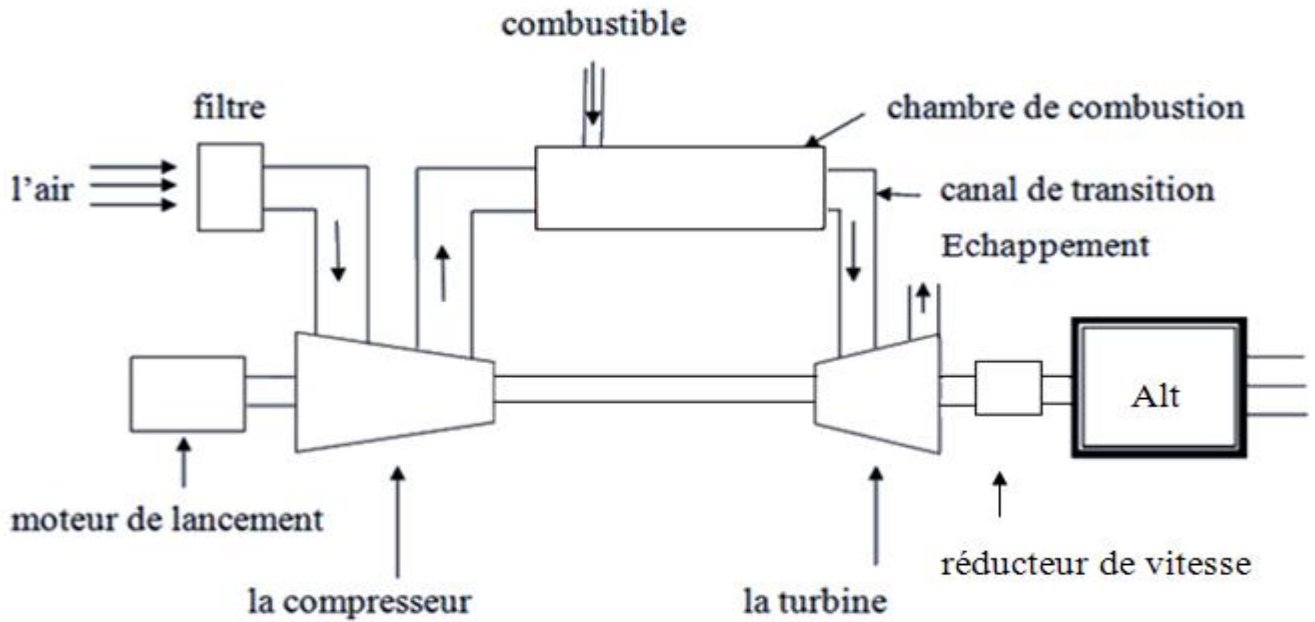


Fig. 3- schéma descriptif de turbine a gaz

3-1-1 Le démarrage :

Cette opération se fait à partir de la salle de commande à distance et pour les opérations de secours, il est possible d'opérer un démarrage avec prise de charge rapide. La séquence de démarrage est décomposée comme suit :

- Le moteur de lancement est embrayé avec la turbine qu'il l'entraînera jusqu'aux environs de 70% de la vitesse nominale (3000 tr/min vitesse turbine).
- Auparavant vers 20% de la vitesse nominale (850 tr/min) le combustible est injecté et enflammé.
- Après une courte période du chauffage durant laquelle se fait l'injection de combustible pour éviter le choc thermique dans les parties chaudes de la turbine.
- Lorsque la turbine devient auto sustentatrice elle continue à accélérer et le moteur d'entraînement se trouve débrayé automatiquement.
- La turbine continue la montée en vitesse jusqu'à la fin du séquence de démarrage.
- Couplage avec le réseau.

3-1-2 L'arrêt

Par un ordre d'arrêt:

- La charge du groupe est réduite à zéro.
- Le disjoncteur de groupe s'ouvre par le relais du retour de puissance.
- L'alimentation en combustible est arrêtée avec le retombé du relais de vitesse 14HS (75% de la vitesse nominal).

3-1-3 Le compresseur :

La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, les 17 étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage.

Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente.

Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant.

A la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres de combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande du dispositif anti-pompage.



Fig. 4 - Compresseur TG à l'extérieure de la machine

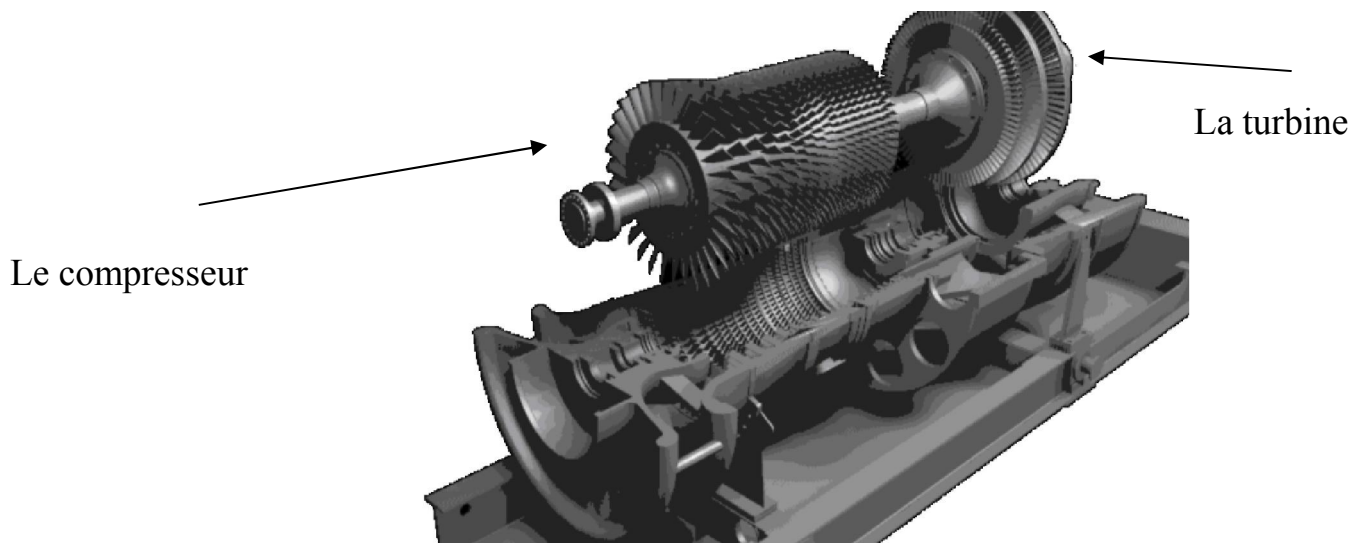


Fig. 5 - Extraction la ligne d'arbre turbo compresseur

3-1-4 Le système de combustion

Le système de combustion comporte :

a) Les chambres de combustion :

Au nombre de 10. Elles sont disposées autour de compresseur et boulonnées à la section élargie du corps d'échappement. Leur rôle est de fournir les calories nécessaires au cycle thermodynamique de fonctionnement de la turbine

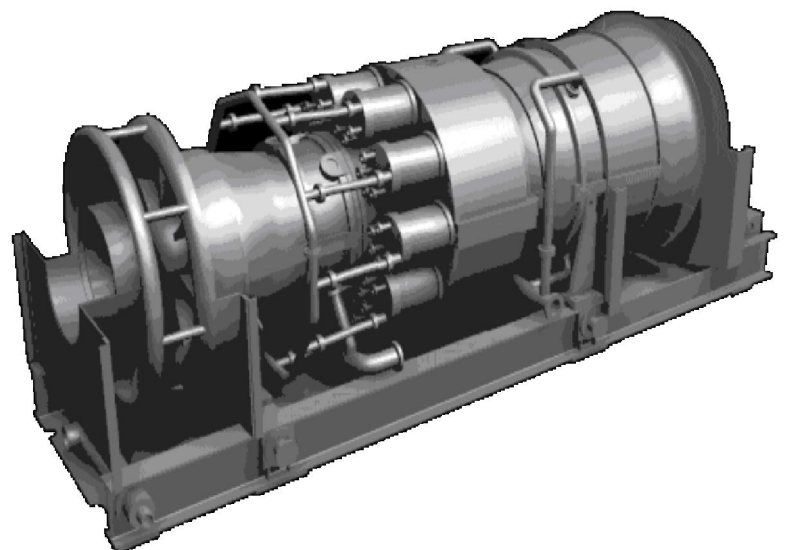
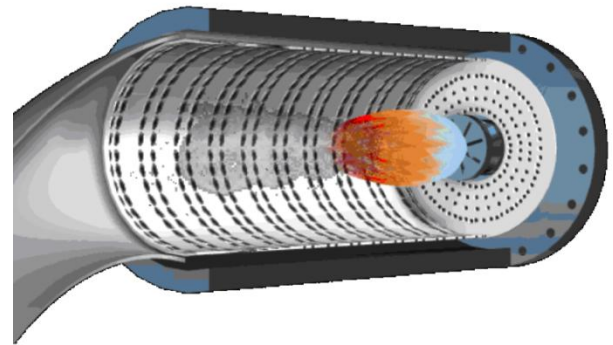


Fig.6-L'ensemble des chambres de combustion entourer la turbine

Fig.7-La flamme dans la chambre de combustion



b) Les injecteurs de combustion :

Chaque chambre de combustion est équipée d'un injecteur de combustible qui pulvérise une quantité mesurée de combustible à l'intérieur de la chambre.

Le combustible liquide est atomisé à la sortie de l'injecteur par de l'air injecté sous haute pression, puis passe dans la zone de combustion. Le combustible gazeux est injecté directement dans chacune des chambres de combustion par des orifices calibrés situés sur la face interne du turbo-alternateur.

c) Les bougies d'allumage :

Les bougies d'allumage installées dans deux des chambres de combustion sont alimentées à partir de transformateur d'allumage.

Fig.8- Bougie d'allumage



d) Les détecteurs de flammes :

Dès l'allumage, il est indispensable que l'indication de la présence (ou de l'absence) de flamme.

e) Les pièces de transition :

Les pièces de transition permettent d'acheminer les gaz chauds en provenance des tubes de flamme vers la directrice du premier étage de la turbine.

f) La turbine :

Pour la section turbine l'énergie thermique de gaz à température élevée provenant de la section combustion se transforme en énergie mécanique, la puissance requise pour entrainer le groupe de charge et le compresseur, est fournie par le rotor de la turbine à deux étages ; le premier étage ou roue haute pression et le deuxième étage ou roue basse pression

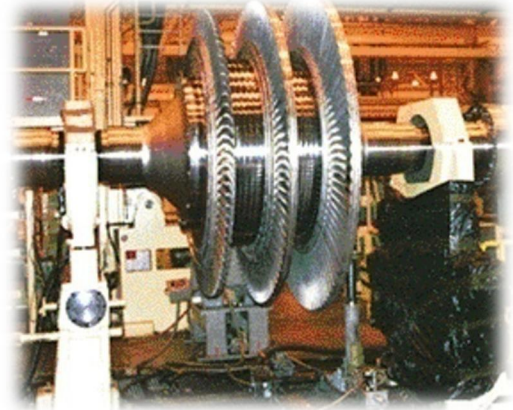


fig.9-Turbine de trois étages

fig.10-les ailettes 1^{er} étage monté par ordre**g) Les paliers :**

fig.11- palier turbine démonté pour la maintenance

La fonction des paliers dits « paliers lisses » est de supporter le rotor du groupe dans une position concentrique vis-à-vis des enveloppes.

Le palier de butée quant à lui compense la poussée axiale résiduelle sur le rotor pendant les phases transitoires.

La butée doit maintenir le rotor dans sa rotation afin de s'opposer à toute poussée axiale qui peut engendrer un endommagement suite à un frottement entre les ailettes mobiles et les ailettes fixes du groupe turbocompresseur.

C'est d'ailleurs la raison pour laquelle certaines turbines sont équipées d'une protection dite « protection usure butée ». Cette protection provoque le déclenchement de la turbine si le danger de l'usure de la butée est pressenti.

Les dommages des paliers provenant des usures considérables du revêtement, peuvent provoquer des endommagements conséquents souvent très coûteux à cause des frottements axiaux entre parties fixes et parties mobiles.

Graissage et refroidissement des paliers : Pendant le fonctionnement normal, l'huile de graissage et de refroidissement des paliers est fournie soit par une pompe attelée soit par une motopompe à courant alternatif (dite pompe Principale).

3-2 L'alternateur:

L'alternateur est un générateur à courant alternatif, refroidi à l'air entraîné par turbine à gaz, par l'intermédiaire du réducteur de vitesse. Son sens de rotation est celui des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant l'alternateur, le dos tourné à la turbine à gaz.

L'extrémité côté réducteur du rotor de l'alternateur est accouplée de façon rigide au réducteur et supportée par celui-ci. L'extrémité du rotor côté excitation est supportée par le palier arrière, séparé de la carcasse de l'alternateur.

Voir les photos compartiment Alternateur et réducteur de vitesse

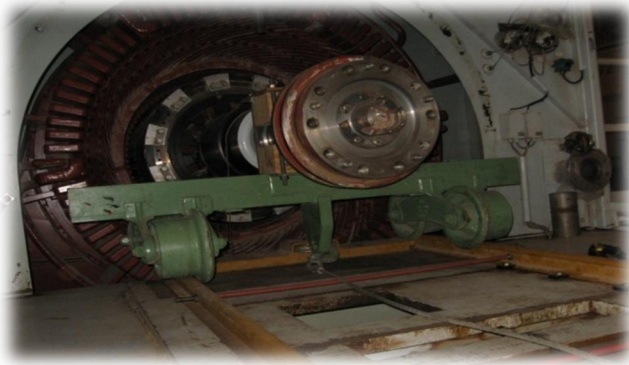


fig.12 extraction du rotor alternateur

fig.13 inspection réducteur de charge



3-2-1 Caractéristique de l'alternateur:

a) Stator : puissance apparente 24400 KVA

Puissance en marche continue19520KW

La tension:..... 11000V

L'intensité..... 1281 A

$\cos \varphi = 0.8$ $f= 50\text{Hz}$ $p=1$ (nombre de pair de pole) montage en étoile

b) Rotor :

La tension d'excitation.....1193 V

Courant d'excitation max..... 468 A

c) Circuit magnétique :

Il est circuit de segments soigneusement isolés à encoches on vertes, découpés dans des tôles magnétique de haute qualité et de faible épaisseur (0.5mm-1.40mm).

d) Enroulement stator :

Les barres de l'enroulement sont constituées d'un certain nombre de conducteurs élémentaires convenablement transposés et isolés (type ROEBEL) l'ensemble est complètement isolé avant mise en place dans les cannelures réalisées dans les segments constituant le circuit magnétique, l'épaisseur de l'isolation est fonction de la tension.

L'enroulement subit des contrôles sévères aux principales étapes de sa fabrication puis après mise en place dans le circuit magnétique.

Les barres sont maintenues dans les cannelures au moyen de cales de fermeture en stratifié de verre époxy en forme de queue d'aronde

Les extrémités des barres viennent de fabrication non isolées, elles sont raccordées par brasage de plaquettes puis on procède à une reprise d'isolation assurant la continuité de l'isolement de la développante jusqu'à la zone brasée les têtes de bobines reposent sur des anneaux en matériau isolant stratifié qui sont fixés sur chacun des deux plateaux de serrage par des supports également en isolant stratifié

Les développantes sont calées entre elles à l'aide de corde et de ruban de feutre et sont maintenues aux anneaux par du ruban

Les connexions principales des phases de l'enroulement ainsi que celles des neutres sont isolées et sortent de la partie supérieure de carcasse coté excitation

e) Enroulement rotor :

Les enroulements du rotor sont constitués de conducteurs en cuivre à l'argent de haute qualité de section rectangulaire pliés sur champ et poinçonnés pour permettre le passage de l'air de refroidissement circulant dans les canaux sans encoches

Les bobines du rotor sont fermement maintenues en place dans les encoches contre l'action de la force centrifuge par des cales de fermeture amovibles, des capotes en matériaux isolants à base de verre époxy constituent l'isolation de masse des bobines du rotor

Les conducteurs sont brasés dans l'axe des pôles aux conducteurs correspondants de l'autre demi-bobine de manière à former les spires de l'enroulement inducteur.

Les têtes de bobine immobilisées par les frettes sont maintenues entre elles par des cales isolantes en stratifié de verre.

L'isolation sans frette est constituée de différentes couches de stratifié dont ne est talonnée, afin de permettre le glissement longitudinal des têtes de bobines lors des dilatations différentielles.

Câblage Alternateur :

1/boîte à bornes située en bout du socle coté exciteur est prévue pour le regroupement de tout le câblage de puissance, de contrôle d'instrumentations de l'alternateur

2/filerie : Le câblage entre la boîte à bornes et les équipements individuels ou les boîtes à bornes particulières de ces équipements est réalisé sans tubes ou chemins de câbles les câbles de contrôles sont rassemblés dans chaque borne est repérée par un numéro.

f) L'excitateur

L'excitateur est entièrement conçu par la société GEC ALSTHOM sa disposition conduit à un porte à faux minimum en bout d'arbre de l'alternateur, ce qui assure un encombrement hors tout aussi réduit que possible et une vitesse critique de bout d'arbre très supérieure à la vitesse nominale et à la survitesse.

Les avantages du système d'excitation par alternateur " inverse " à diodes tournantes sont bien connus (voir le schéma électrique).

- Suppression des bagues et des balais, donc suppression des pièces frottantes et de tout entretien
- Elimination des poussières de balais et du cout amination entraînée par ces poussières.
- Faible puissance d'excitation à soutirer au réseau.

Dans l'excitation les diodes sont disposées de telle manière que leur remplacement éventuel peut se faire sans démontage des parties actives sans outillage spécial.

Fonctionnement électrique de l'excitateur ;

L'inducteur fixe (d'où l'appellation d'alternateur inversé) comporte 8 pôles dont 4 sont bobines, excités en série les pôles et le circuit magnétique sont feuillètes pour réduire la constante de temps de l'excitateur.

Le nombre de 8 pôles conduit à une fréquence de 200Hz ce qui autorise un dimensionnement réduit du circuit magnétique tout en maintenant les pertes à un niveau parfaitement admissible.

L'induit est tournant son enroulement est peut a phase et son courant est redressé par des diodes en pont de graetz à 5 phases fixées au tambour porte-induit les diodes au silicium sont très largement sur dimensionnées (1600V, 300A)

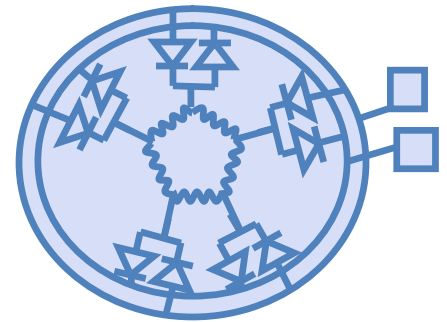
fig.14 rotor d'excitatrice



fig.15 les diodes tournant



fig.16 schémas d'installation des diodes tournant



Anneaux collecteurs :

L'ensemble des anneaux collecteurs parfaitement isolés entre eux forme un ensemble compact qui vient s'emboîter sur le diamètre intérieur du tambour d'induit.

Sur les anneaux dix plots collecteurs assurent la fixation des connexions de liaisons aux diodes :

- 5 connexions relie 5 diodes à l'anneau négatif
- 5 connexions relie 5 diodes à l'anneau positif

De plus, une connexion relie chaque anneau à une des connexions centrales de l'alternateur

g) Excitateur auxiliaire à aimants permanents PMG :

Le PMG est un petit alternateur à aimants permanents possède les caractéristiques suivantes : vitesse 3000 tr/min $p=4$ 200Hz

Bobinage stator triphasé en trois phases séparées prévu pour donner avec un couplage étoile 220V 28.4A $\cos \rho=0.255$ AR

Rotor

Les pôles saillants sont réalisés avec des aimants solidement maintenus par boulonnage entre les têtes polaires en acier massif et l'arbre chaque pôle comporte un enroulement d'aimantation isolé en classe F et imprégné à cœur sans vide et pression

3-2-2 L'excitation :

Equipement comprend

- Une armoire excitation –régulation
- Une plate – forme moyenne tension

Armoire excitation –régulation : comprend

- Le circuit d'excitation
- L'alimentation de la régulation et le circuit de mesure
- Le circuit de commande régulation
- Les circuits de traitement des défauts

Rôle du système d'excitation :

Le rôle du système d'excitation est d'alimenter le rotor de l'alternateur avec un courant continu permettant à l'alternateur de maintenir entre ses bornes une tension contrôlée lorsqu'il est connecté à une charge, le système d'excitation est piloté par le régulateur de tension

Le rotor de l'alternateur est alimenté par l'alternateur d'excitation qui est associé à un pont de redressement tournant.

La transmission du courant au rotor de l'alternateur est directe sans bagues ni balais le système est monté sur l'arbre de l'alternateur l'excitateur est alimenté par PMG via le contacteur d'excitation, le transformateur d'excitation, et le pont de thyristors, le générateur à aimant permanent est monté sur l'arbre de l'alternateur principal.

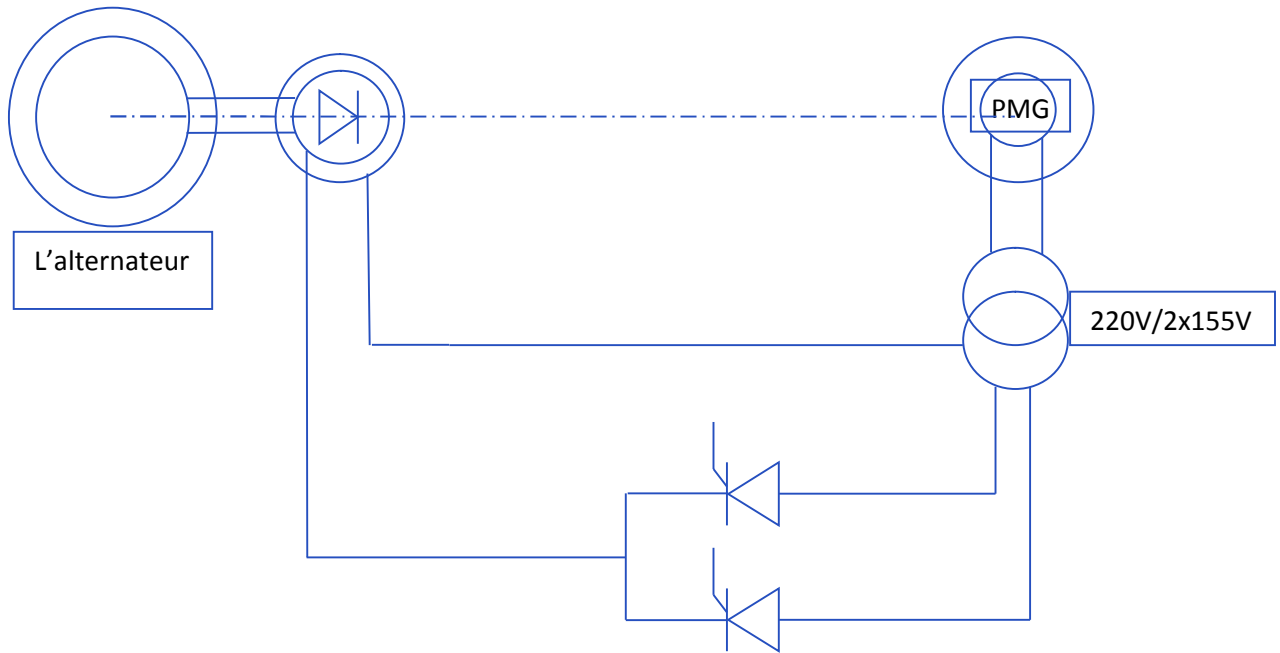


fig.17 schémas de système d'excitation

3-2-3 Rôle de système de régulation : [4]

La valeur du courant d'excitation de l'excitateur est fixée à chaque instant par la régulation de l'alternateur les fonctions de la régulation sont les suivantes :

- ✓ Régler avec une faible constante de temps la tension de l'alternateur
- ✓ Participer au maintien de la stabilité de transport de l'énergie sur le réseau.
- ✓ Ramener le plus rapidement possible l'alternateur au point de fonctionnement fixé lors de perturbations
- ✓ Garder l'alternateur à l'intérieur de son prévu de fonctionnement par l'action de limitations

Le régulateur est composé de cartes électroniques incorporées dans un rack, il assure la régulation de l'alternateur la limitation du courant d'excitation (sous-excitation et surexcitation) la limitation du rapport tension fréquence et la protection du système d'excitation, cette dernière est un système à deux voies, automatique et manuelle.

3-2-4 Le système de commande :

Le système SPEEDTRONTM de commande des turbines à gaz réalise les fonctions: régulation du débit de combustible et d'air, contrôle des rejets atmosphériques, commande séquentielle du combustible et des auxiliaires de la turbine pour le démarrage, l'arrêt et le refroidissement, synchronisation et adaptation de la tension de l'alternateur et surveillance du système pour toutes les fonctions concernant la turbine, la régulation et les auxiliaires, protection en cas de fonctionnement dangereux. Toutes ces fonctions sont réalisées de manière intégrée, Ce système installé dans la salle de commande.



fig.18 Salle de commande



fig.19 salle de machine

3-2-5 Synchronisation manuelle :

Pour cette opération, effectuer, du tableau de contrôle de l'alternateur les opérations suivantes :

- a) positionner le sélecteur Local / Distance sur local
- b) en actionnant le sélecteur choix disjoncteur dans le sens de la position convenable, habilitier la commande du disjoncteur de l'alternateur, si la mise en parallèle est effectuée au moyen du disjoncteur machine (c'est le cas le plus fréquent)
- c) positionner le sélecteur de parallèle O / MAN / AUTO sur manuel
- d) au moyen du sélecteur AUG / DIMI Tension, régler la tension du générateur de façon qu'elle soit égale à la tension mesurée en amont du disjoncteur (vérifier sur le groupe de synchronisation)

e) au moyen du sélecteur AUG / DIMI fréquence, régler la fréquence du générateur de façon que l'écoulement entre les phases des tensions en amont et en aval du disjoncteur soit suffisamment petit (vérifier sur le groupe synchronisation)

f) lorsque les deux tensions sont presque en phase, commander la fermeture du disjoncteur en actionnant le commutateur sur le panneau synoptique du même tableau. La fermeture du disjoncteur est contrôlée au moyen de l'appareillage de synchronisation.

3-2-6 Mise en marche d'un groupe sur un réseau isolé :

En cas d'absence de tension sur le réseau 220 KV, les auxiliaires du premier groupe à démarrer ainsi que les auxiliaires essentiels de la centrale, sont alimentés au moyen du groupe diesel de secours

On suppose que le groupe à démarrer est le groupe n°3 mais les considérations suivantes peuvent être également appliquées par de simples variations aux cas des autres groupes.

La procédure à suivre est la suivante :

- a) démarrer le groupe (depuis l'interface primaire opérateur sur le pupitre)
- b) vérifier que la fréquence et la tension de l'alternateur soient proches des valeurs nominales
- c) positionner le sélecteur commande LOCAL / DISTANCE du tableau de contrôle alternateur sur LOCAL
- d) positionner le sélecteur BARRES VIVES / BARRES MORTES du tableau de contrôle alternateur sur BARRES MORTES
- e) actionner le sélecteur CHOIX DISJONCTEUR du tableau de contrôle alternateur sur le disjoncteur choisi de manière à habiliter la commande du disjoncteur général.
- f) Commander la fermeture du disjoncteur groupe (du tableau contrôle alternateur)
- g) Ouvrir l'interrupteur 512 du tableau MT d'arrivée ligne depuis le transformateur du tableau synoptique les barres C ; B du tableau sont alimentées maintenant par le groupe turbine alternateur

- h) Fermer l'interrupteur 505 du tableau MT d'arrivée ligne depuis le transformateur 03-TL (du tableau synoptique) les barres C ; B du tableau 00-MT sont alimentées maintenant par le groupe turboalternateur
- i) Actionner le sélecteur CHOIX DISJONCTEUR du tableau de contrôle alternateur sur la position Q0 de façon à habiliter la commande de l'interrupteur coté 220 KV
- j) Commander la fermeture du disjoncteur 309 coté 220 KV (tableau de contrôle alternateur : le réseau est alimenté
- k) Positionner de nouveau le sélecteur BARRES VIVES / BARRES MORTES du tableau de contrôle alternateur sur BARRES VIVES, et le sélecteur commandes LOCAL / DISTANCE du tableau de contrôle alternateur sur DISTANCE, de façon à établir les conditions initiales de configuration du tableau.

Conclusion :

On peut dire comme conclusion de ce travail les avantages et les inconvénients de ce type de centrales.

Les avantages :

- ✓ Prix d'installation moins chère qu'une centrale à vapeur, nucléaire ou hydraulique.
- ✓ Durée d'installation plus courte que les autres centrales.
- ✓ Nombre de personnels réduit.
- ✓ Démarrage court (8-15 min).
- ✓ Régulation plus précise.

Les inconvénients :

- ✓ Rendement très faible.
- ✓ Puissance limitée
- ✓ Pièces de rechange coûteuses

Pour faire face à la croissance record de la demande en énergie de la région d'Adrar en moyenne de 10 % par an, le renforcement des capacités actuelles de production est plus que nécessaire, malgré l'interconnexion avec la centrale d'IN SALAH.

CHAPITRE II :

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

1-Introduction

Le problème de tous les jours et dans le monde entier est de répondre à la demande énergétique qui augmente de plus en plus. L'augmentation rapide de l'activité industrielle dans les pays développés et l'investissement des entreprises dans les pays qui assurent un coût de production moins élevé a accru très rapidement la demande mondiale d'énergie. Cette augmentation se traduit, en réalité, par une augmentation des prix du pétrole qui représente la source la plus importante de l'énergie. La réserve mondiale du pétrole diminue de plus en plus et dans les années qui suivent il n'y aura pas assez du pétrole pour couvrir la demande. Le climat de la terre évolue vers le mauvais et les sources naturelles d'eau se raréfient. L'énergie nucléaire n'est pas disponible pour tout le monde pour des raisons politiques ou financières, son installation coûte cher et elle peut être dangereuse au niveau écologique. L'utilisation de ces sources conventionnelles est alors limitée ou n'est pas encouragée pour des raisons liées à l'environnement. Pour toutes ces raisons le monde se dirige vers les sources renouvelables, le soleil, le vent, les courants sous-marins et d'autres pour produire de l'électricité.

1-2 Les énergies renouvelables [8]

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on ne peut se passer. Vu l'ampleur de l'industrialisation de ces dernières décennies, la multiplication des appareils domestiques de plus en plus gourmands en consommation d'énergie électrique, la demande en énergie électrique est devenue très importante. Face à cela et avec la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructif pour l'environnement, les pays industrialisés ont massivement fait recours aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution

atmosphérique contrairement aux centrales thermiques Traditionnelles, mais le risque d'accident nucléaire le traitement et L'enfouissement des

déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures. Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement.

C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables comme le solaire, la biomasse, la géothermie, la marémotrice, l'hydraulique, Parmi ces sources d'énergie, l'éolienne représente un potentiel assez important non pas pour remplacer les énergies existantes mais pour palier à l'amortissement de la demande de plus en plus galopante. Après des siècles d'évolution et des recherches plus poussées depuis quelques décennies, plusieurs pays se sont, aujourd'hui résolument tournés vers l'énergie éolienne. Les plus avancés dans le domaine dans le monde sont respectivement : l'Allemagne, l'Espagne, les Etats-Unis, l'Inde, la Chine et le Danemark. Avec certains projets d'énergie éolienne développés ("offshore", au large des côtes) de grandes centrales éoliennes fournissent de l'électricité dans certaines parties du monde, à un prix concurrentiel à celui de l'énergie produite par les installations conventionnelles (par ex. : les centrales nucléaires et les centrales thermiques au mazout ou au charbon). Par contre en Afrique, le développement de l'énergie éolienne n'a connu aucune évolution et pourtant les ressources n'y manquent pas et la technologie accessible, sauf la volonté et le manque de prise de conscience de la majorité des autorités africaines.

1-2-1 L'énergie hydraulique

L'hydraulique est actuellement la première source renouvelable d'électricité. La puissance hydroélectrique installée dans le monde en 2004 était estimée à 715 GW, soit environ 19% de la puissance électrique mondiale. Près de 15 % de toute l'électricité installée en Europe est d'origine hydraulique. On discerne la petite hydraulique (Inférieure à 10 MW) et la grande hydraulique (supérieure à 10 MW). Dans le cadre de la production décentralisée on va considérer essentiellement la petite hydraulique. La petite hydraulique est constituée en grande majorité par des centrales au fil de l'eau ce qui les rend fortement dépendantes du débit des cours d'eau.

1-2-2 L'énergie de la biomasse

La biomasse est répartie en quatre catégories : la biomasse sèche (bois, déchet agricoles ...), le biogaz, les déchets municipaux renouvelables solides et la biomasse humide (bioéthanol, biodiesel, huile végétal ...) En 2005, la biomasse est la deuxième source d'électricité renouvelable mondiale avec 1 % de la production d'électricité mondiale (183,4TWh).

1-2-3 L'énergie de la géothermie

Classiquement trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- la géothermie à haute énergie ou géothermie privilégiée qui exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité.

- la géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100°C. La principale utilisation est appliquée pour les réseaux de chauffage urbain.
- la géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Sa principale utilisation est le chauffage et la climatisation individuelle. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue, car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 50 ans en moyenne). La géothermie est la source d'énergie principale de l'Islande. Il y existe trois centrales électriques importantes qui fournissent environ 17% (2004) de la production d'électricité du pays. De plus, la chaleur géothermique fournit le chauffage et l'eau chaude d'environ 87% des habitants de l'île.

1-2-4 L'énergie solaire

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale.

La caractéristique I-V du GPV dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. De plus, le point de fonctionnement du GPV dépend directement de la charge qu'il alimente. Afin d'extraire en chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV, nous introduisons un étage d'adaptation entre le générateur et la charge pour coupler les deux éléments le plus parfaitement possible. Le problème du couplage parfait entre un générateur photovoltaïque et une charge de type continue n'est pas encore réellement résolu. Un des verrous technologiques qui existe dans ce type de couplage est le problème du transfert de la puissance maximale du générateur photovoltaïque (GPV) à la charge qui souffre souvent d'une mauvaise adaptation. Le point de fonctionnement qui en découle est alors parfois très éloigné du point de puissance maximale (PPM). La littérature propose une grande quantité de solutions sur l'algorithme de contrôle qui effectue une recherche de point de puissance maximale lorsque le GPV est couplé à une charge à travers un convertisseur statique.

1-2-5 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est utilisée par l'homme depuis très longtemps déjà. Elle remplaça les rames pour faire avancer les navires, elle fut utilisée pour actionner les meules des moulins, elle permet encore le pompage d'eau pour abreuver les bêtes dans les champs. Depuis plus de 100 ans, elle est utilisée pour produire de l'électricité, source d'énergie fondamentale dans notre société actuelle. En effet, on utilise l'électricité pour la plupart de nos activités, que ce soit dans le domaine domestique ou industriel. L'énergie éolienne est considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables à développer pour remplacer le charbon, le pétrole, le gaz et même le nucléaire. Ainsi l'homme a souvent besoin d'énergie électrique dans des proportions faibles ou importantes selon l'utilisation qu'il en fait:

- ❖ Pour faire fonctionner des stations météo ou toutes autres installations électriques isolées à faible consommation, une éolienne de petite taille peut fournir cette énergie tout au long de l'année.

- ❖ Pour alimenter en éclairage des maisons ou villages dans des contrées isolées exposées au vent, des installations d'éoliennes de quelques mètres de diamètre sont choses courantes.
- ❖ Pour alimenter en électricité des villes tout en produisant une énergie propre, on utilise des éoliennes de plusieurs dizaines de mètres de diamètre pouvant produire jusqu'à 4.5 MW.

1-3 Evaluation de l'énergie renouvelable en Algérie

Le potentiel de l'énergie renouvelable en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays. Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit atteindre 500 MW cette année 2010, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 5% de l'électricité totale produite.

Application	Puissance installée (KW)	Pourcentage
Electrification	1353	58 %
Télécommunication	498	21 %
Pompage	288	12 %
Eclairage public	48	2 %
Autres	166	7 %

Tableau II. 1 : La répartition de la puissance installée par application [8]

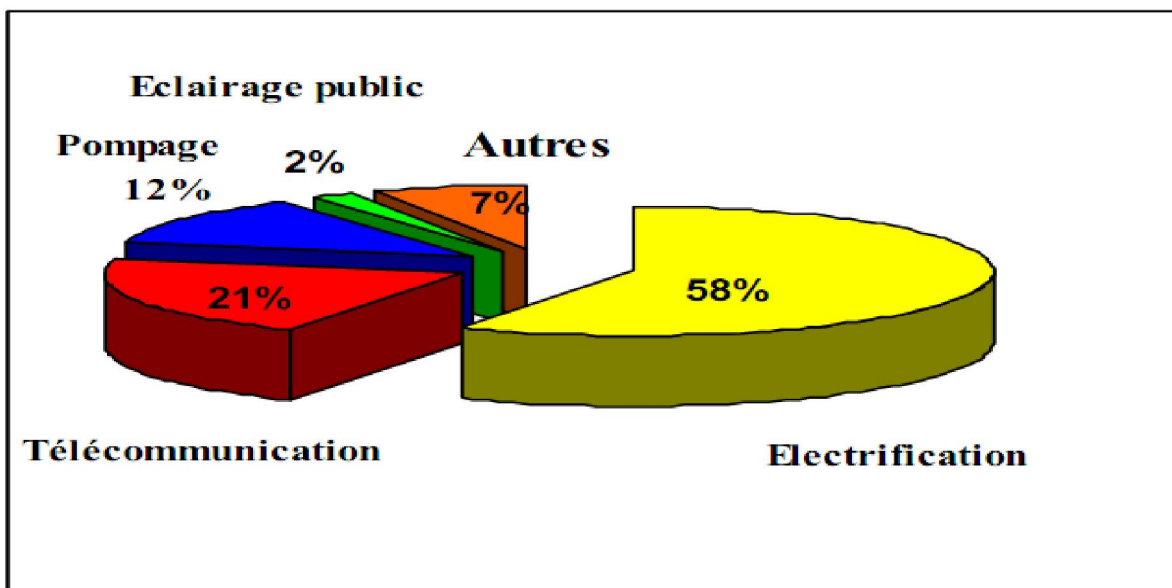


Fig. (II.1) : Répartition des usages de la filière ER en Algérie

1-4 Potentiel solaire

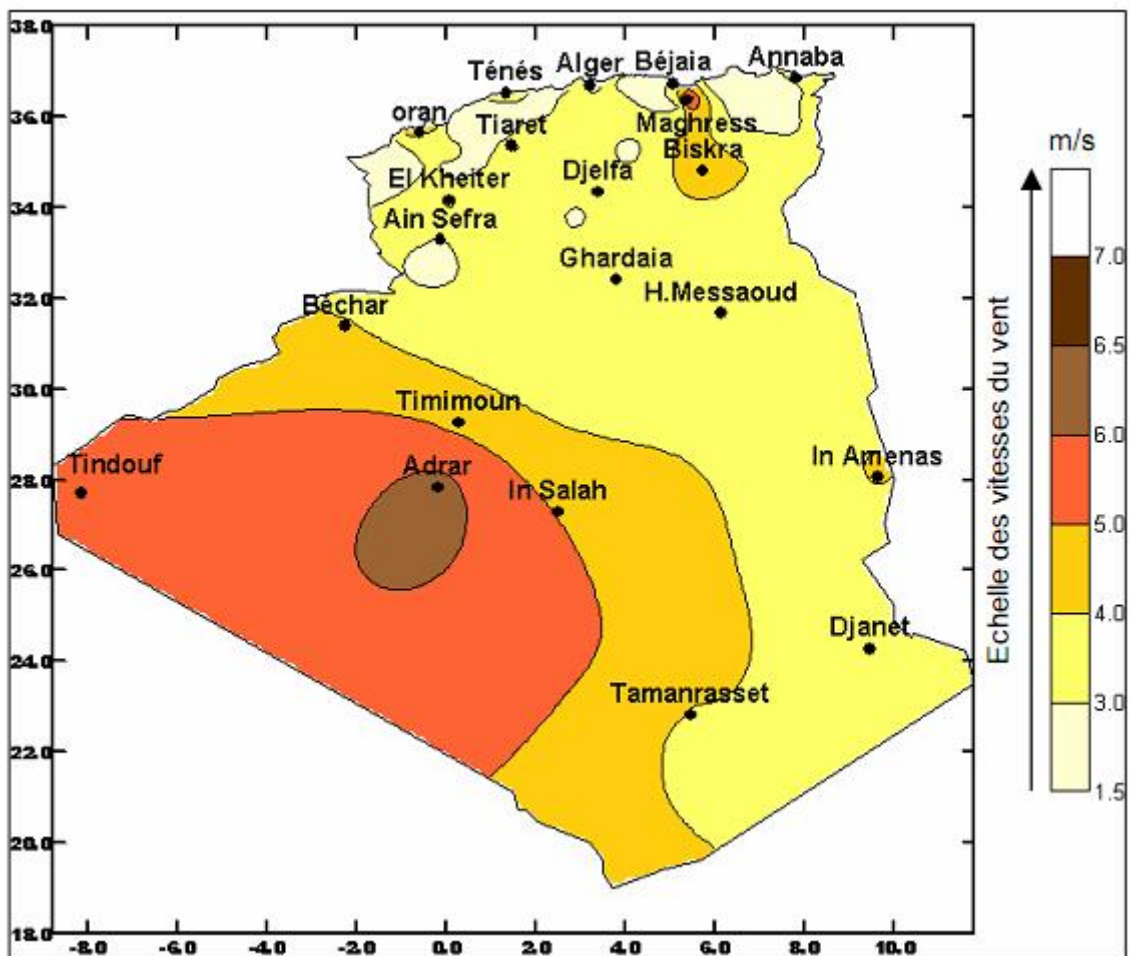
Part sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau II. 2 : Gisement solaire en Algérie. [8]

1-5 Potentiel éolien

Le potentiel éolien diverge selon la situation géographique. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1à 4 m/s) avec des microclimats autour d'Oran, Annaba, sur les hauts plateaux et à Biskra. Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux. Au Sud, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest, avec des vents qui dépassent les 6m/s dans la région d'Adrar.



Figure

(II.2): Carte des vents en Algérie

1-6 production éolienne

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est directement lié à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps été oublié, cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, connaît depuis environ 30 ans un développement sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers.

1-7 Définition de l'énergie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice

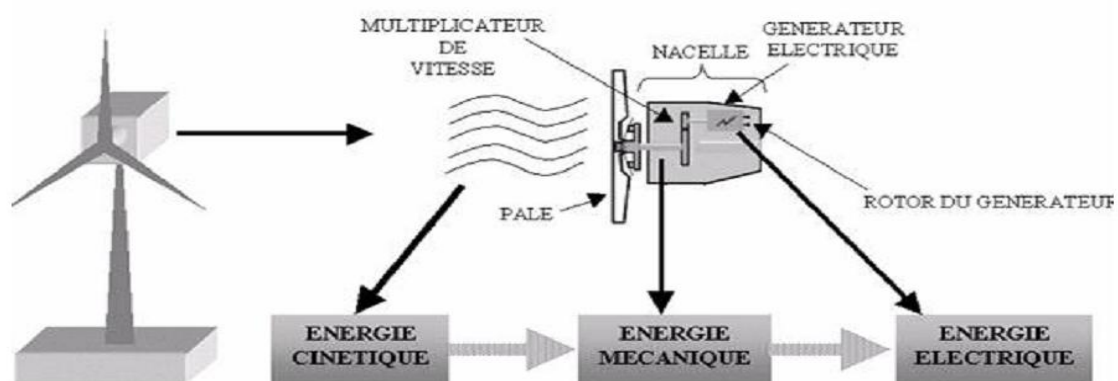


Figure (II.3) : Conversion de l'énergie cinétique du vent

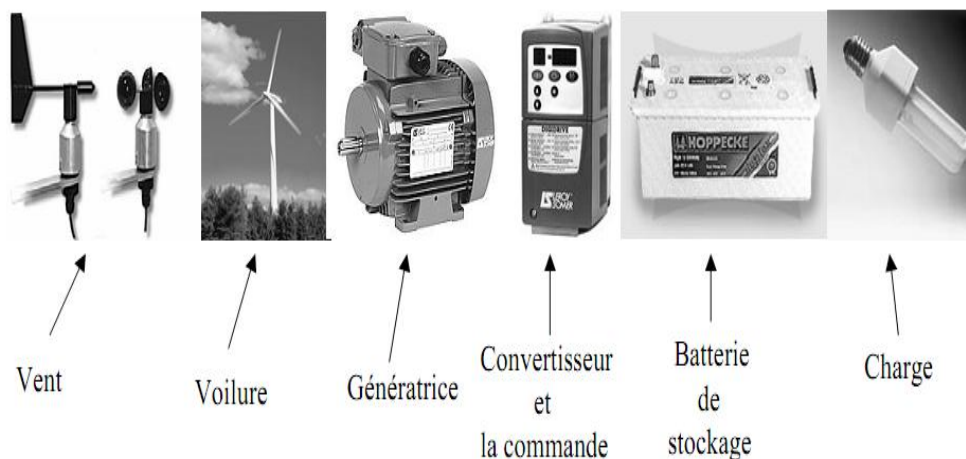


Figure II-4 Chaîne de conversion d'énergie

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable non dégradée, géographiquement diffusée et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée).

De plus c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif ; elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement de turbulences.

L'éolienne se compose d'une nacelle, d'un mât, de pales et d'un multiplicateur de vitesse. La fabrication de ces différents éléments est d'une technologie avancée, ce qui les rend par conséquent onéreux. L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative viable à l'énergie nucléaire sans pour autant prétendre la remplacer (l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produit étant largement plus faible). Les installations peuvent être réalisées sur terre mais également en mer où la présence du vent est plus régulière.

1-8 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne a des avantages propres permettant sa croissance et son évolution entre les autres sources d'énergie, ce qui va lui donner un rôle important dans l'avenir à condition d'éviter l'impact créé par ses inconvénients cités ci-après.

1-8-1 Avantages

L'énergie éolienne est avant tout une énergie qui respecte l'environnement :

- L'impact néfaste de certaines activités de l'homme sur la nature est aujourd'hui reconnu par de nombreux spécialistes. Certaines sources d'énergie, contribuent notamment à un changement global du climat, aux pluies acides ou à la pollution de notre planète en général. La concentration de CO₂ a augmenté de 25% depuis l'ère préindustrielle et on augure qu'elle doublera pour 2050 . Ceci a déjà provoqué une augmentation de la température de 0,3 à 0,6° C depuis 1900 et les scientifiques prévoient que la température moyenne augmentera de 1 à 3,5° C d'ici l'an 2100, ce qui constituerait le taux de réchauffement le plus grand des 10000 dernières années. Toutes les conséquences de ce réchauffement ne sont pas prévisibles, mais on peut par exemple avancer qu'il provoquera une augmentation du niveau de la mer de 15 à 95 cm d'ici l'an 2100.« L'exploitation d'énergie éolienne ne produit pas directement de CO₂ ». L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, c'est à dire que contrairement aux énergies fossiles, les générations futures pourront toujours en bénéficier.

Chaque unité d'électricité produite par un aérogénérateur supplante une unité d'électricité qui aurait été produite par une centrale consommant des combustibles fossiles. Ainsi, l'exploitation de l'énergie éolienne évite déjà aujourd'hui l'émission de 6,3 millions de tonnes de CO₂, 21 mille tonnes de SO₂ et 17,5 mille tonnes de Nox. Ces émissions sont les principaux responsables des pluies acides [08]. L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie à risque comme l'est l'énergie nucléaire et ne produit évidemment pas de déchets radioactifs dont on connaît la durée de Vie l'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires. Ceux-ci fournissent de l'énergie même lorsque que l'on n'en a pas besoin, entraînant ainsi d'importantes pertes et par conséquent un mauvais rendement énergétique.

- C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en lignes dues aux longs transports d'énergie sont moindres. Cette source d'énergie peut de plus stimuler l'économie locale, notamment dans les zones rurales.
- C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables.
- Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer. L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple. Le coût d'investissement nécessaire est faible par rapport à des énergies plus traditionnelles. Enfin, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà.
- L'énergie éolienne crée plus d'emplois par unité d'électricité produite que n'importe quelle source d'énergie traditionnelle.
- Bon marché : elle peut concurrencer le nucléaire, le charbon et le gaz lorsque les règles du jeu sont équitables.

- Respectueuse des territoires : les activités agricoles/industrielles peuvent se poursuivre aux alentours.

1-8-2 Inconvénients

L'énergie éolienne possède aussi des désavantages qu'il faut citer :

- L'impact visuel, cela reste néanmoins un thème subjectif.
- Le bruit : il a nettement diminué, notamment le bruit mécanique qui a pratiquement disparu grâce aux progrès réalisés au niveau du multiplicateur. Le bruit aérodynamique quant à lui est lié à la vitesse de rotation du rotor, et celle -ci doit donc être limitée.
- L'impact sur les oiseaux : certaines études montrent que ceux-ci évitent les aérogénérateurs. D'autres études disent que les sites éoliens ne doivent pas être implantés sur les parcours migratoires des oiseaux, afin que ceux-ci ne se fassent pas attraper par les aéro turbines.
- La qualité de la puissance électrique : la source d'énergie éolienne étant stochastique, la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne. Jusqu'à présent, le pourcentage de ce type d'énergie dans le réseau était faible, mais avec le développement de l'éolien, notamment dans les régions à fort potentiel de vent, ce pourcentage n'est plus négligeable. Ainsi, l'influence de la qualité de la puissance produite par les aérogénérateurs augmente et par suite, les contraintes des gérants du réseau électrique sont de plus en plus strictes.
- Le coût de l'énergie éolienne par rapport aux sources d'énergie classiques : bien qu'en terme de coût, l'éolien puissant sur les meilleurs sites, c'est à dire là où il y a le plus de vent, est entrain de concurrencer la plupart des sources d'énergie classique, son coût reste encore plus élevé que celui des sources classiques sur les sites moins ventés.

1-9 Quelques notions sur le vent

Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette énergie est renouvelable, non dégradée et non polluante. La vitesse du vent varie selon les zones géographiques et les saisons, elle est surtout élevée pendant la période d'hiver et au niveau des mers (offshore). Le vent est défini par sa direction et sa vitesse.

1-10 Direction et vitesse du vent : [8]

Le vent souffle en principe des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Aux latitudes moyennes et aux grandes latitudes, sa direction est cependant modifiée du fait de la rotation de la terre. Le vent devient alors parallèle aux isobares au lieu de leur être perpendiculaire. Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour des aires cycloniques et dans le sens direct autour des zones anticycloniques. Dans l'hémisphère sud, les sens sont inversés par rapport aux précédents.

La vitesse du vent est mesurée avec des anémomètres. Il en existe plusieurs types classés en deux catégories principales (les anémomètres à rotation et les anémomètres à pression). Une graduation a été établie, selon l'échelle Beaufort qui divise les vents en fonction de leurs vitesses en 17 catégories dont nous citons quelques unes au tableau.

Tableau II. 3 échelles Beaufort

Degrés Beaufort	Vitesse du vent (m/s)	Vitesse du vent (km/h)	Description générale	Pression sur surface plane (daN/m ²)
0	0 à 0.4	< 1	Calme	
3	3.5 à 5.5	12 à 19	Petite brise	3.2 (5 m/s)
4	5.5 à 8	20 à 28	Jolie brise	6.4 (7 m/s)
6	11.4 à 13.9	39 à 49	Vent frais	22 (13 m/s)
8	17.4 à 20.4	62 à 74	Coup de vent	52 (20 m/s)
11	28.4 à 32.5	103 à 117	Violente tempête	117 (30 m/s)
17	54.1 à 60	202 à 220	Cyclone	470 (60 m/s)

En effet, pour implanter un parc éolien, la prospection des sites possibles constitue le premier travail à effectuer pour juger de la capacité de production d'une centrale éolienne. Des relevés météorologiques complets sur les sites présumés doivent être effectués au moins pendant une année pour déterminer la possibilité ou non d'implanter le parc. Non seulement il faut connaître la vitesse moyenne du vent, mais aussi sa variation en fonction de l'altitude. Les vents les plus intéressants qui donnent finalement le plus d'énergie annuelle, sont les vents réguliers qui ont une vitesse de 6 à 10 m/s.

1-11 les différents types des turbines éoliennes

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. On peut diviser les éoliennes en deux grandes familles:

- les éoliennes à axe vertical
- les éoliennes à axe horizontal

1-11-1 Turbines Eoliennes à Axe Horizontal

Une turbine à axe de rotation horizontal demeure face au vent, comme les hélices des avions et des moulins à vent. Elle est fixée au sommet d'une tour, ce qui lui permet de capter une quantité plus importante d'énergie éolienne. La plupart des éoliennes installées sont à axe horizontal.

Ce choix présente plusieurs avantages, comme la faible vitesse d'amorçage (cut-in) et un coefficient de puissance (rapport entre la puissance obtenue et la puissance de la masse d'air en mouvement) relativement élevé (Mathew, 2006). Toutefois, la boîte de vitesses et la machine électrique doivent être installées en haut de la tour, ce qui pose des problèmes mécaniques et économiques. Par ailleurs l'orientation automatique de l'hélice face au vent nécessite un organe supplémentaire (« queue », « yaw control »...). Selon son nombre de pales, une HAWT est dite mono-pale, bipale, tripale ou multi-pale. Une éolienne mono-pale est moins coûteuse

car les matériaux sont en moindre quantité et, par ailleurs, les pertes aérodynamiques par poussée (drag) sont minimales. Cependant, un contrepoids est nécessaire et ce type d'éolienne n'est pas très utilisé à cause de cela. Tout comme les rotors monopales, les rotors bipales doivent être munis d'un rotor basculant pour éviter que l'éolienne ne reçoive des chocs trop forts chaque fois qu'une pale de rotor passe devant la tour (Wind-power, 2007). Donc, pratiquement toutes les turbines éoliennes installées ou à installer prochainement sont du type tripale. Celles-ci sont plus stables car la charge aérodynamique est relativement uniforme et elles présentent le coefficient de puissance le plus élevé actuelle. Suivant leur orientation en fonction du vent, les HAWT sont dites en « amont » (up-wind) ou en « aval » (down-wind). La figure 1.5 montre les deux types mentionnés. Les premières ont le rotor face au vent ; puisque le flux d'air atteint le rotor sans obstacle, le problème de « l'ombre de la tour » (tower shadow) est bien moindre. Néanmoins, un mécanisme d'orientation est essentiel pour maintenir en permanence le rotor face au vent. Les éoliennes à rotor en aval n'ont pas besoin de ce mécanisme d'orientation mais le rotor est placé de l'autre côté de la tour : il peut donc y avoir une charge inégale sur les pales quand elles passent dans l'ombre de la tour. De ces deux types d'éoliennes, celle en amont est largement prédominante.

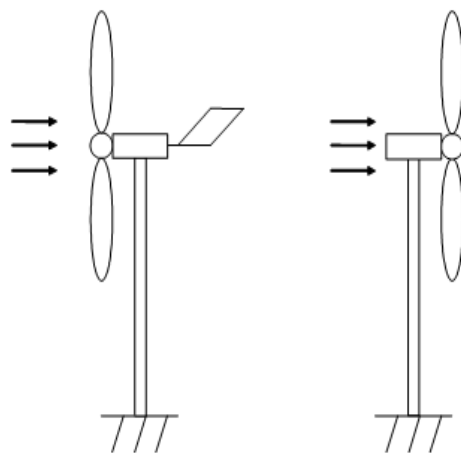


Figure (II.5) : Turbines éoliennes en amont et en aval

1-11-2 Turbines Eoliennes à Axe Vertical

L'axe de rotation d'une VAWT est vertical par rapport au sol et perpendiculaire à la direction du vent. Ce type de turbine peut recevoir le vent de n'importe quelle direction, ce qui rend inutile tout dispositif d'orientation. Le générateur et la boîte d'engrenages sont disposés au niveau du sol, ce qui est plus simple et donc économique (Mathew, 2006). La maintenance du système est également simplifiée dans la mesure où elle se fait au sol. Ces turbines ne disposent pas de commande d'angle de pale comme certaines HAWT. La figure (1.6) montre trois conceptions de VAWT.

Un inconvénient, pour certaines VAWT, est de nécessiter un dispositif auxiliaire de démarrage. D'autres VAWT utilisent la poussée (drag) plutôt que la portance aérodynamique (lift, effet qui permet à un avion de voler), ce qui se traduit par une réduction du coefficient de puissance et un moindre rendement. La majorité des VAWT tourne à faible vitesse, ce qui est très pénalisant dans les applications de génération d'électricité avec connexion au réseau public (50 ou 60 Hz) car la boîte de vitesses doit permettre une importante démultiplication. Le faible rendement aérodynamique et la quantité de vent réduite qu'elles reçoivent au niveau du sol constituent les principaux handicaps des VAWT face aux HAWT.



Figure (II.6) : Turbines à axe vertical

1-12 Principaux composants d'une éolienne

Une éolienne est généralement constituée de trois éléments principaux

- le mât
- la nacelle
- le rotor

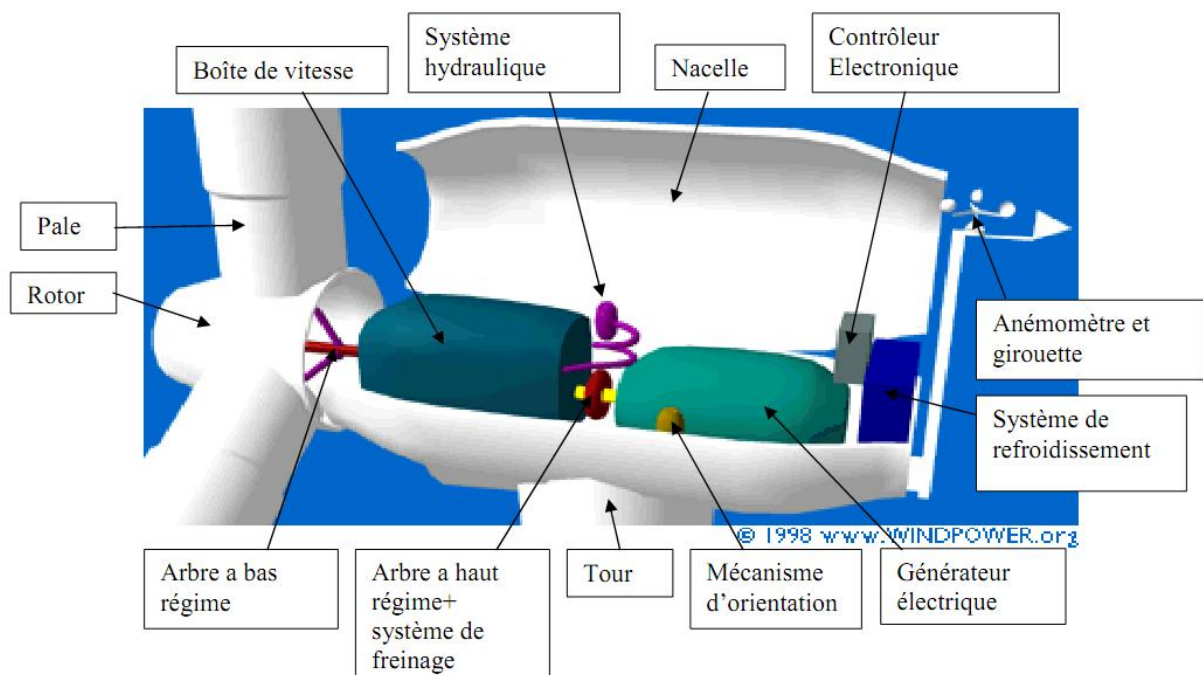


Figure (II.7) : éléments constituant une éolienne

a- Le mât

Généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique. Il doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol .

b- La nacelle

Regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique : arbres lent et rapide, roulements, multiplicateur, système de commande, système de refroidissement, frein à disque différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge. Le générateur

qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent). A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne.

c- Le rotor

Le rotor, formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, le rotor tripale étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit. Il existe deux types de rotor, les rotors à vitesse fixe et les rotors à vitesse variable.

1-13Eoliennes lentes

Les éoliennes à marche lente sont munies d'un grand nombre de pales (entre 20 et 40), leur inertie importante impose en général une limitation du diamètre à environ 8 m. Leur coefficient de puissance atteint rapidement sa valeur maximale lors de la montée en vitesse mais décroît également rapidement par la suite. Ces éoliennes multiples sont surtout adaptées aux vents de faible vitesse. Elles démarrent à vide pour des vents de l'ordre de 2 à 3 m/s et leurs couples de démarrage sont relativement forts. Cependant elles sont moins efficaces que les éoliennes rapides et sont surtout utilisées pour le pompage d'eau. La puissance maximale susceptible d'être obtenue par ce type de machine peut se calculer en fonction du diamètre par l'expression suivante :

$$P = 0.15 * D^2 * V^3 \quad \text{II-1}$$

La puissance étant exprimée en Watts, le diamètre en mètre et la vitesse du vent en m/s.

1-14 Éoliennes rapides

Les éoliennes rapides ont un nombre de pales assez réduit, qui varie en général entre 2 et 4 pales. Elles sont les plus utilisées dans la production d'électricité en raison de leur efficacité, de leur poids (moins lourdes comparées à une éolienne lente de même puissance) et de leur rendement élevé.

Elles présentent, par contre, l'inconvénient de démarrer difficilement. Leurs vitesses de rotation sont beaucoup plus élevées que pour les machines précédentes et sont d'autant plus grandes que le nombre de pales est faible. Le tableau 04 propose une classification de ces turbines selon la puissance qu'elles délivrent et le diamètre de leur hélice.

Tableau II. 4 : classification des turbines éoliennes [8]

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 kW
Moyenne	12 à 45 m	40 kW à 1 MW
Grande	46 m et plus	1 MW

En effet, les éoliennes ont différentes dimensions, et puisque l'air est une ressource diffuse, la tendance générale favorise les appareils de plus en plus gros. Les progrès en science des matériaux ont permis la fabrication de pales plus légères et plus solides ainsi que l'amélioration de la conception des tours et des fondations, ce qui permet la construction d'appareils de plus en plus imposants. En 1995, les éoliennes de 500kW étaient la dernière nouveauté. Aujourd'hui, des appareils individuels de 4,5 MW (4 500 kW) sont en production commerciale.

Dans ce qui suit, notre étude se portera spécialement sur les éoliennes rapides dont nous essayerons de donner une description globale du modèle. Formule pratique pour une éolienne rapide à axe horizontal, tenant compte d'un rendement moyen:

$$P = 0.2 * D^2 * V^3 \quad \text{II-2}$$

1-15 Notions théoriques sur l'éolien

1-15-1 Loi de Betz – notions théoriques

Considérons le système éolien à axe horizontal représenté sur la figure 06 sur lequel on a représenté la vitesse du vent V_1 en amont de l'aérogénérateur et la vitesse V_2 en aval. En supposant que la vitesse du vent traversant le rotor est égale à la moyenne entre la vitesse du vent non perturbé à l'avant de l'éolienne V_1 et la vitesse du vent après passage à travers le rotor V_2 soit $\frac{V_1+V_2}{2}$,

la masse d'air en mouvement de densité ρ traversant la surface S des pales en une seconde est:

$$m = \frac{\rho S(V_1+V_2)}{2} \quad \text{II-3}$$

La puissance P_m alors extraite s'exprime par la moitié du produit de la masse et de la diminution de la vitesse du vent (seconde loi de Newton) :

$$P_m = \frac{m(V_1^2-V_2^2)}{2} \quad \text{II-4}$$

Soit en remplaçant m par son expression dans (II.3):

$$P_m = \frac{\rho S(V_1+V_2)(V_1^2-V_2^2)}{4} \quad \text{II-5}$$

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse, soit à la vitesse V_1 , la puissance P_{mt} correspondante serait alors :

$$P_{mt} = \frac{\rho S V_1^3}{2} \quad \text{II-6}$$

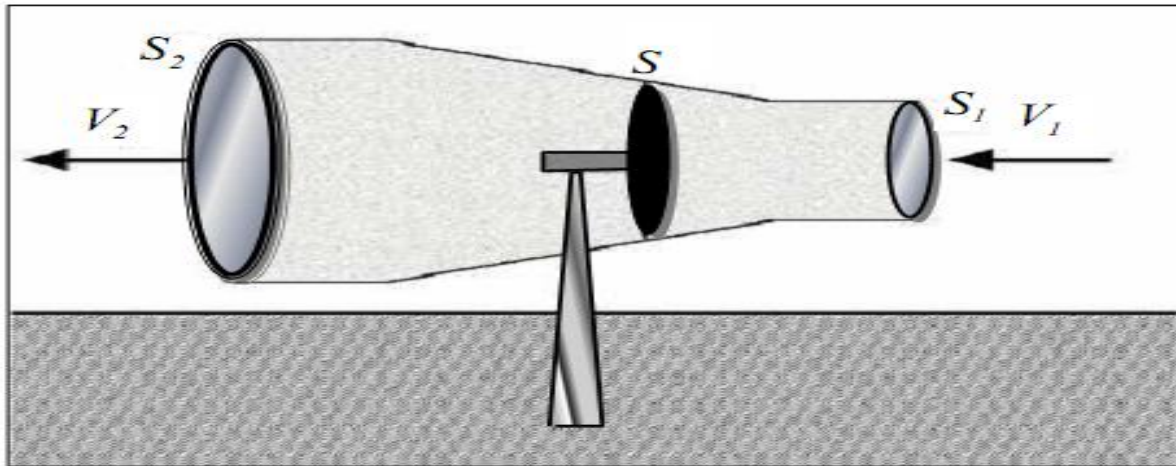


Figure (II.8) : Tube de courant autour d'une éolienne.

Le ratio entre la puissance extraite du vent et la puissance totale théoriquement disponible est alors :

$$\frac{P_m}{P_{mt}} = \frac{\left(1 + \left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right) \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2\right)}{2} \quad \text{II-7}$$

Si on représente la caractéristique correspondante à l'équation ci-dessus, on s'aperçoit que le ratio P_m / P_{mt} appelé aussi coefficient de puissance C_p présente un maxima de $16/27$ soit $0,59$. C'est cette limite théorique appelée limite de Betz qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse de vent donnée. Cette limite n'est en réalité jamais atteinte et chaque éolienne est définie par son propre coefficient de puissance exprimé en fonction de la vitesse relative λ représentant le rapport entre la vitesse de l'extrémité des pales de l'éolienne et la vitesse du vent.

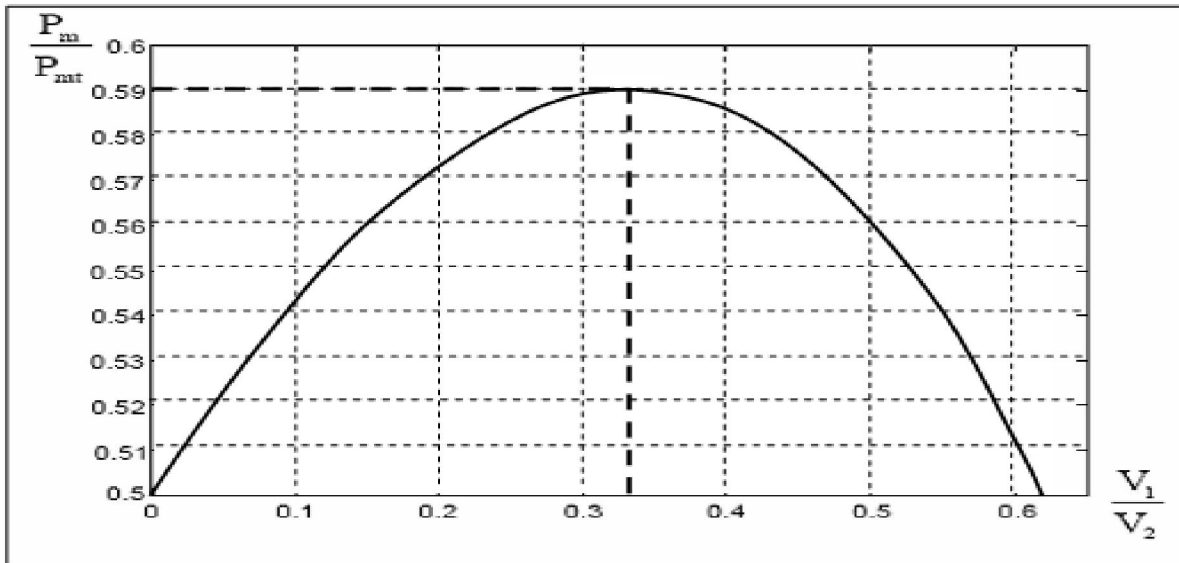


Figure (II.9) : Coefficient de puissance.

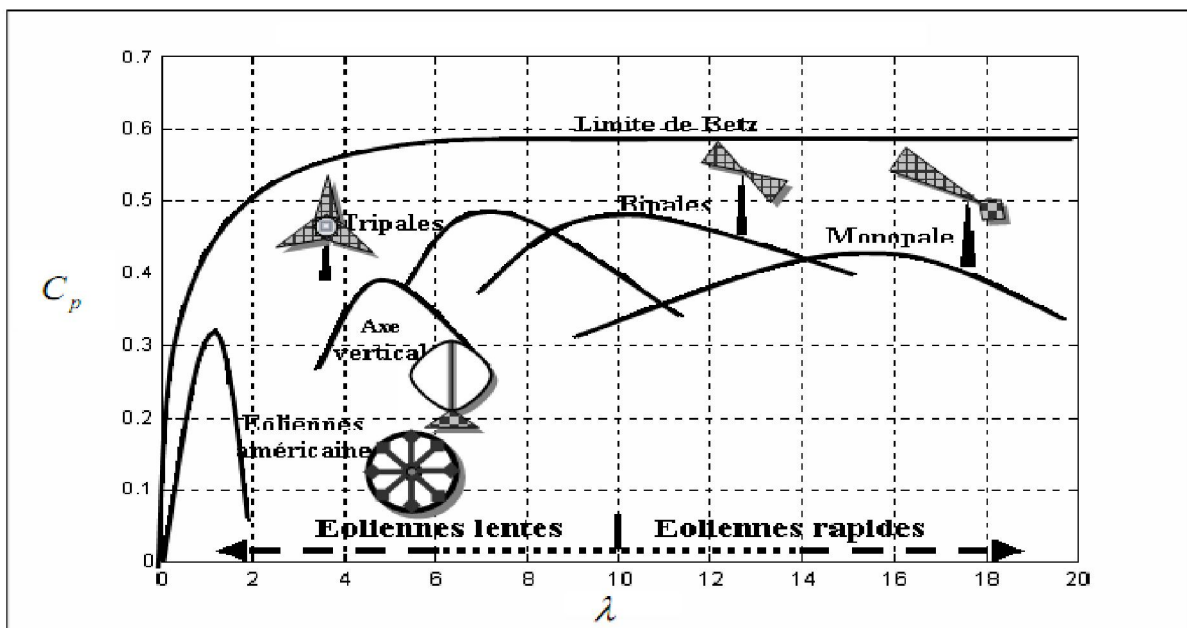


Figure (II.10): Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes.

Les éoliennes à marche lente sont munies d'un grand nombre de pales (entre 20 et 40), leur inertie importante impose en général une limitation du diamètre à environ 8 m. Leur coefficient de puissance (Figure II-9) atteint rapidement sa valeur maximale lors de la montée en vitesse mais décroît également rapidement par la suite. Les éoliennes à marche rapide sont beaucoup plus répandues et pratiquement toutes

dédiées à la production d'énergie électrique. Elles possèdent généralement entre 1 et 3 pales fixes ou orientables pour contrôler la vitesse de rotation. Les pales peuvent atteindre des longueurs de 60 m pour des éoliennes de plus de 1 MW. Les éoliennes tripales sont les plus répandues car elles représentent un compromis entre les vibrations causées par la rotation et le coût de l'aérogénérateur. De plus, leur coefficient de puissance (Figure II-9) atteint des valeurs élevées et décroît lentement lorsque la vitesse augmente. Elles fonctionnent rarement au-dessous d'une vitesse de vent de 3 m/s [10].

1-15-2 Systèmes de régulation de la vitesse de rotation de l'éolienne

1-15-2-1 Système à décrochage aérodynamique "stall"

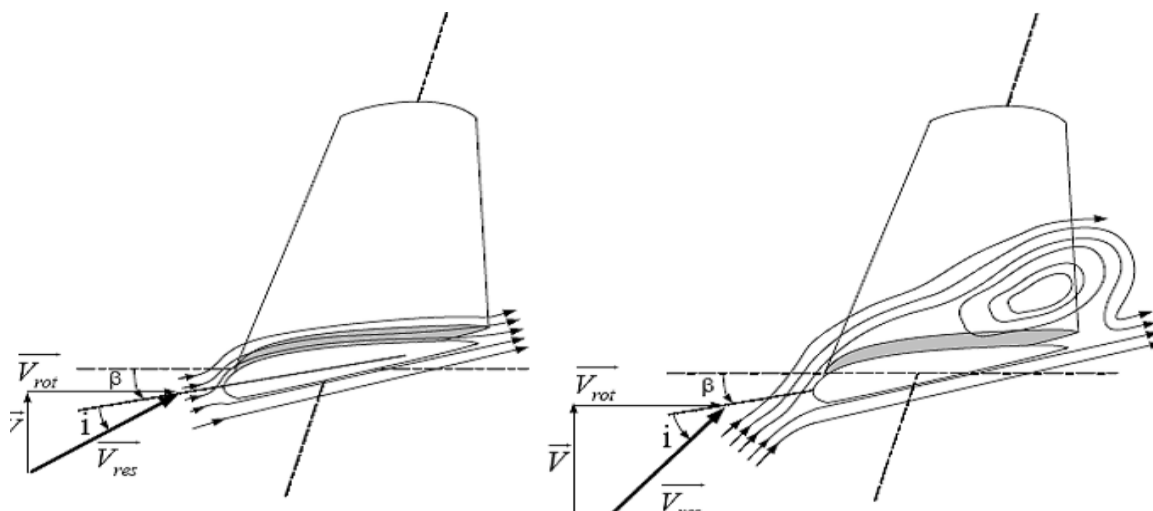


Figure (II.11) : Flux d'air sur un de pales profile (stall).

La plupart des éoliennes connectées au réseau électrique nécessitent une vitesse de rotation fixe pour des raisons de cohérence de fréquence avec le réseau. Le système de limitation de vitesse le plus simple et le moins coûteux est un système de limitation naturelle (intrinsèque à la forme de la pale) dit "stall". Il utilise le phénomène de décrochage aérodynamique. Lorsque l'angle d'incidence i devient important, c'est à dire lorsque la vitesse du vent dépasse sa valeur nominale V_n , l'aspiration créée par le profil de la pale n'est plus optimale ce qui entraîne des

turbulences à la surface de la pale (Figure (II.11)) et par conséquent une baisse du coefficient de puissance. Ceci empêche alors une augmentation de la vitesse de rotation. Ce système est simple et relativement fiable mais il manque de précision car il dépend de la masse volumique de l'air et de la rugosité des pales donc de leur état de propreté. Il peut, dans certains cas, être amélioré en autorisant une légère rotation de la pale sur elle-même (système "stall actif") permettant ainsi de maximiser l'énergie captée pour les faibles vitesses de vent. Pour les fortes vitesses de vent, la pale est inclinée de façon à diminuer l'angle de calage β et renforcer ainsi l'effet "stall" de la pale. La répercussion des variations de la vitesse du vent sur le couple mécanique fournie par l'éolienne est ainsi moins importante.

1-15-2-2 Système d'orientation des pales "pitch"

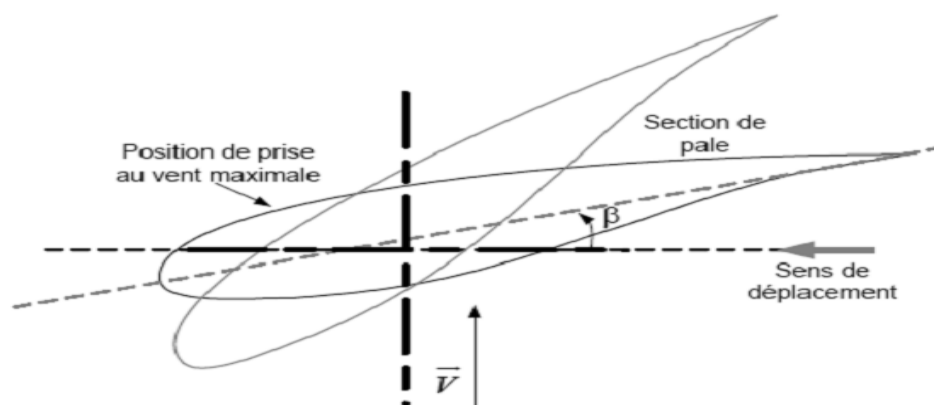


Figure (II.12) : Variation de l'angle de calage d'une pale.

Il utilise la variation de l'angle de calage des pales (figure (II.12)). En variant l'angle d'incidence de la pale, on modifie le rapport entre les composantes de portance et de traînage. L'angle d'incidence optimal conduit à la puissance maximale disponible. En général, la modification de l'angle de calage de la pale de l'éolienne permet quatre actions distinctes :

- le démarrage à une vitesse du vent V_d plus faible ;

- L'optimisation du régime de conversion de l'énergie, quand la vitesse du vent évolue entre les limites $[V_d, V_n]$ en complément de la vitesse variable dans une plage relativement réduite
- la régulation par limitation de la puissance pour $V > V_n$;
- la protection de l'éolienne contre les vents trop violents, par la mise en « drapeau » des pales de l'hélice. On remarque que ce système intervient dans le fonctionnement de la turbine, par la variation du calage β , de manière prépondérante depuis le démarrage (figure (II.13)) (zone I) et dans le régime de régulation de vitesse (zone II et III) jusqu'au phénomène de décrochage aérodynamique (zone IV) de la turbine [8].

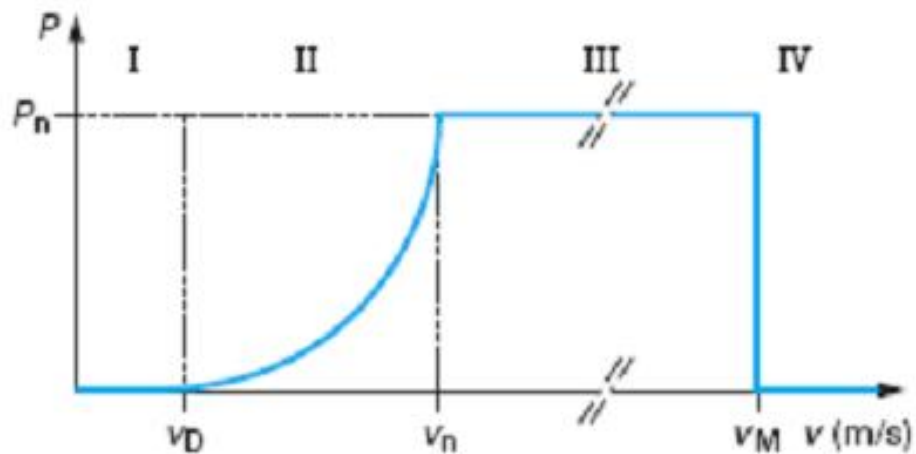


Figure (II.13) : Courbe typique de régulation.

1-16 Caractéristiques de la puissance du rotor

En utilisant le coefficient de puissance, la puissance mécanique sur le rotor peut être calculée comme fonction de la vitesse du vent:

$$P_R = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * V_w^3 \quad \text{II-8}$$

Où: A - le secteur balayé du rotor (m^2) ; V_w - la vitesse du vent (m/s)

C_p - le coefficient de puissance du rotor ; ρ - la densité de l'air (kg/m^3)

P_R - la puissance du rotor (W).

Le coefficient de puissance peut être obtenu par des zones d'information ou en rapprochant le coefficient en utilisant la fonction analytique. Dans ce mémoire, la fonction analytique du coefficient de puissance a été employée pour modéliser la turbine de vent comme suit :

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(C_2 \frac{1}{\lambda} - C_3 \beta - C_4 \beta^x - C_5 \right) e^{-C_6 \frac{1}{\lambda}} \quad \text{II-9}$$

Les coefficients C_1 à C_6 et x peuvent être différents pour de diverses turbines. Ils dépendent du rotor de l'éolienne et de la conception des lames. Le paramètre $\frac{1}{\lambda}$ est défini comme:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^2} \quad \text{II-10}$$

Pour la simulation les valeurs suivantes étaient choisies pour les coefficients C_1 à C_6 :

$$C_1 = 0.5 ; C_2 = 116 ; C_3 = 0.4 ; C_4 = 0 ; C_5 = 5 ; C_6 = 21$$

Puisque $C_4 = 0$, x ne sera pas utilisé. De l'équation (1.14), la puissance mécanique extraite du vent est une fonction de la vitesse du vent et du coefficient de puissance. Si nous supposons que le vent est constant, la puissance mécanique devient uniquement une fonction du coefficient de puissance. La puissance mécanique peut alors être exprimée comme suit :

$$P_R = C_p * P_0 \quad \text{II-11}$$

Où

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho * A * V_w^3 \quad \text{Valeur constante}$$

En supposant que la vitesse du vent et l'angle de pas des pales sont constants, le coefficient de puissance devient une fonction de la vitesse du rotor ΩR . Par conséquent, la puissance mécanique peut être exprimée comme :

$$P_R = C_p(\Omega_R) * P_0 \quad \text{II-12}$$

Donc

$$P_R(\Omega_R) = \frac{1}{2} C_p \left(\frac{\Omega_2 * R}{K * V_1} \right) * \rho * \pi * R^2 * V_w^2 \quad \text{II-13}$$

Avec :

Ω_2 - la vitesse de rotation après multiplicateur ; K-le rapport du multiplicateur de vitesse. La figure II.13 montre la puissance mécanique par rapport à la vitesse du rotor de générateur pour la conception de turbines éoliennes ci-dessus. Il est important de mentionner que chaque conception de turbine de vent aura une puissance différente par rapport au graphique de la vitesse du rotor. En outre, le coefficient de puissance de chaque éolienne sera déterminé conformément à leur conception des lames et l'angle de tangage (fig(II.15)).

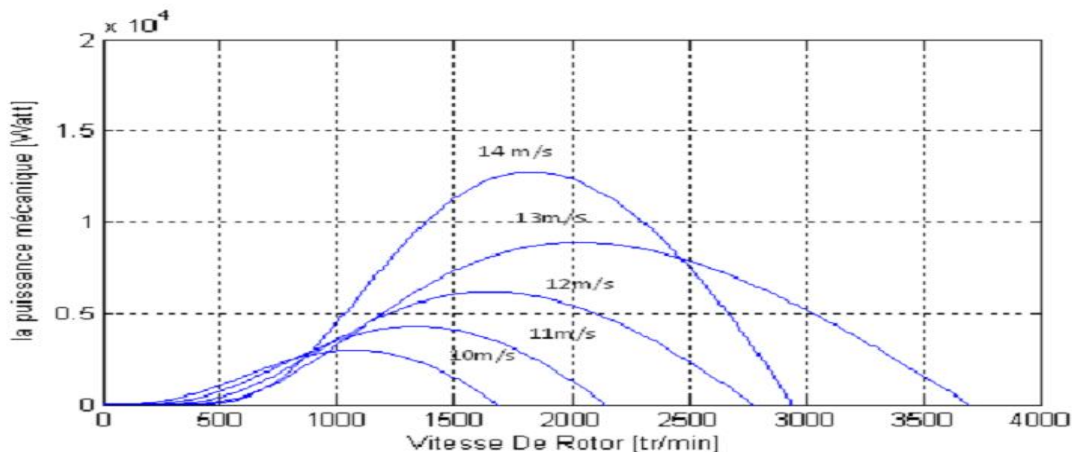


Figure (II.14) Caractéristiques typiques de puissance par rapport à la vitesse d'une éolienne.

La puissance extraite du vent est maximisée lorsque C_p est maximisé. Cette valeur optimale de C_p se produit pour une valeur définie du rapport de vitesse d'extrémité λ . Pour chaque vitesse du vent il y a une vitesse optimale du rotor, où la puissance maximale est extraite du vent. Par conséquent, si la vitesse du vent est supposée être une constante, la valeur de C_p dépend de la vitesse du rotor de l'éolienne ainsi, en contrôlant la vitesse du rotor on contrôle la puissance de la sortie de la turbine. En outre, pour chaque vitesse de vent il y'a une vitesse du rotor qui donnera la puissance maximale, rendant le système monotone.

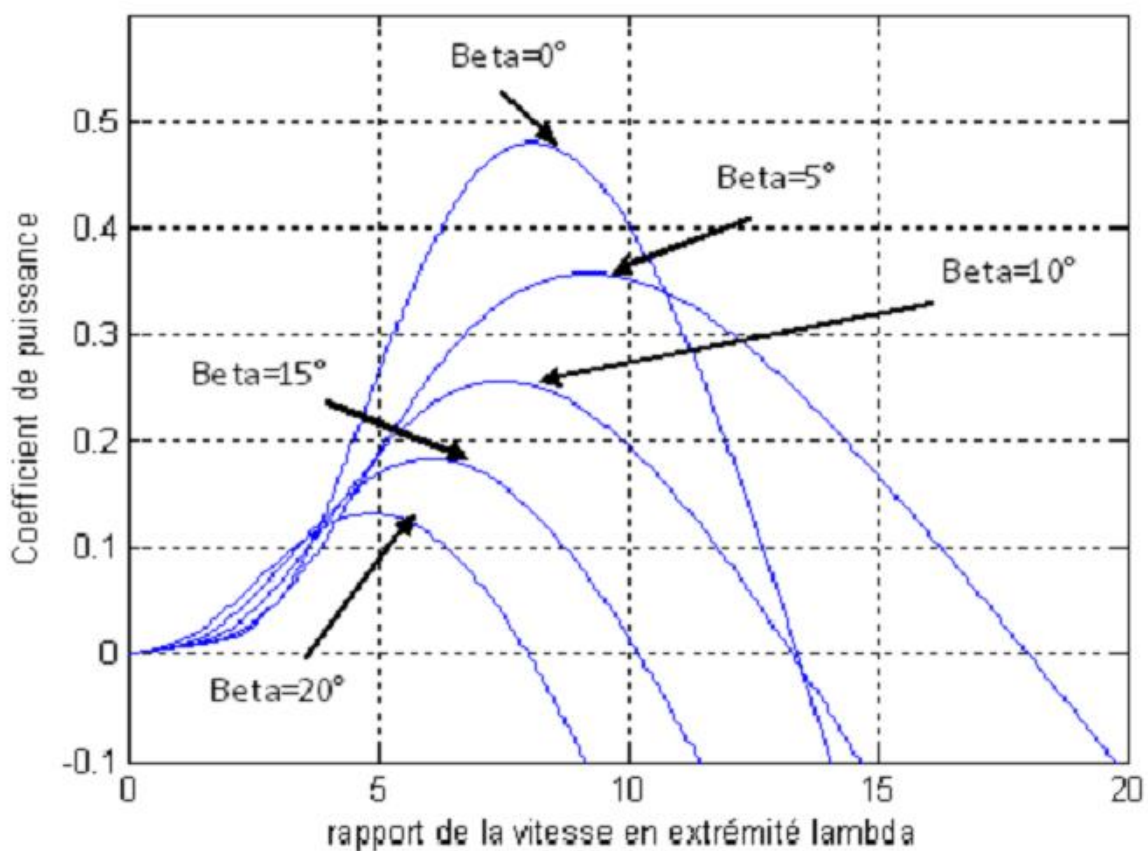


Figure (II.15) : Caractéristique $CP - \lambda$ des éoliennes pour les différentes valeurs de l'angle de tangage.

Il est très important d'étudier les caractéristiques du couple par rapport à la vitesse de rotation d'une turbine à vent. La connaissance des caractéristiques de la turbine éolienne permettra de faire correspondre correctement la charge et faire fonctionner le générateur dans sa région stable.

La caractéristique typique couple - vitesse d'une éolienne moderne à axe horizontal est illustrée dans la figure (II.15). Le profil de la courbe couple - vitesse est obtenu de la relation suivante:

$$T_m = \frac{P_R}{\Omega_R} \quad \text{II-14}$$

Où : T_m - le couple mécanique dans le rotor ; P_R et Ω_R - la puissance mécanique du rotor et la vitesse angulaire du rotor en conséquence. Comme on peut le voir sur les figures 1.8 et 1.10, le point de la puissance maximale ne correspond pas au point du couple maximal.

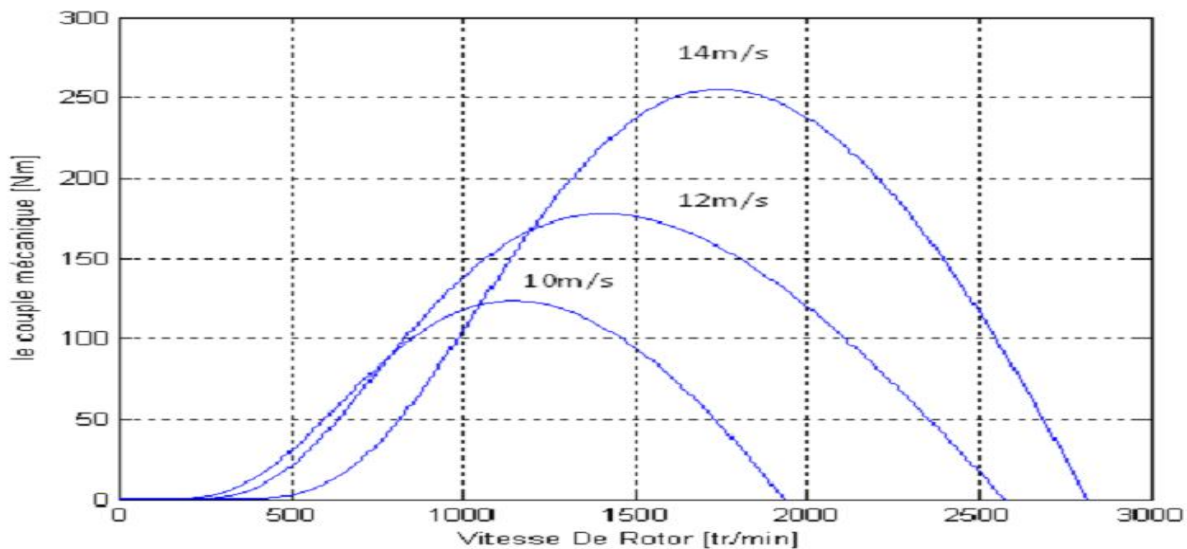


Figure (II.16) : Caractéristiques couple-vitesse d'une éolienne pour différentes vitesses de vent

La puissance de sortie est un produit du couple et de la vitesse, c'est pourquoi en contrôlant bien le générateur, les caractéristiques de la charge peuvent être choisies de telle façon pour produire une puissance maximale à toutes les vitesses du vent. Afin de commander la turbine de vent pour rapporter une puissance maximale pour les différentes vitesses de vent, on utilise des circuits de l'électronique de puissance.

1-17 Conclusion

Une description de l'énergie éolienne a été présentée dans ce chapitre. Dans ce contexte, quelques notions principales au sujet de la technologie éolienne ont été données comme : les méthodes de description du gisement éolien ; les exemples d'architectures qu'on a commencé par les différents capteurs (à axe horizontal, vertical), le rappel des notions élémentaires nécessaires à la compréhension de la chaîne de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

CHAPITRE III:
ETUDE DE CAS DU SYSTEM
HYBRIDE

-1 : Définition

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelable , peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système hybride (SH).un système hybride à sources d'énergie renouvelable est un système électrique , comprend plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage ou non.

2 : Classification des systèmes Hybrides

Plusieurs classifications sont réalisées selon les critères choisis, dans la suite sont présentés les classifications les plus répandues :

2.1 Les régimes de fonctionnement du système Hybride:

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 appelé aussi connectés au réseau. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome, ils répondent aux besoins des consommateurs des sites éloignés et villages isolés.

2.2-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 turbine à gaz.

Le second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage . pour satisfaire la demande en période de pointe ou absence de la source primaire. Les

dispositifs d stockage peuvent être des batteries ,des électrolyseurs,des réservoirs ,volants d'inertie....etc.

Le Troisième classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelable utilisées . La structure peut contenir un système photovoltaïque ,Ferme éolienne, des convertisseurs d'énergie hydraulique , ou une combinaison des ces sources

2.3- Mode de fonctionnement:

Il existe deux types de système de production hybride de point de vue de mode de fonctionnement :

-Système hybride alterné consiste en association des sources renouvelable et le système classique conventionnelle avec un système de commutation entre eux permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologiques jour et nuit).

-Système parallèle relie les sources renouvelables en même temps avec les sources classiques conventionnelles. Le système hybride présente en somme un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et d'une sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques. [8]

Notre cas étudié est un système parallèle relie les sources énergie renouvelable éolienne en même temps au Turbine à Gaz et tous les deux raccordé au Réseau THT 220 kV(In- Nsalah-ADRAR-TIMIMOUN).

3 :Etude de différentes structures du système d'énergie hybride

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD), une éolienne est un système multi-source peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif(CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un system de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus : un bus à DC pour les sources, les charges à DC et les batteries et un bus à AC pour les générateurs à AC et le système de distribution. Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à AC ou à DC en fonction de la dimension et la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'intermédiaire de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels. A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un système multi-sources avec des batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable et des diesels), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source .

3.1 Configuration à bus DC

Dans cette configuration, l'énergie produite fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à AC fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Les générateurs diesels sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA. Les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à AC

directement. L'onduleur doit alimenter les charges à AC à partir du bus à DC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps (Figure III-1). La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après. [1]

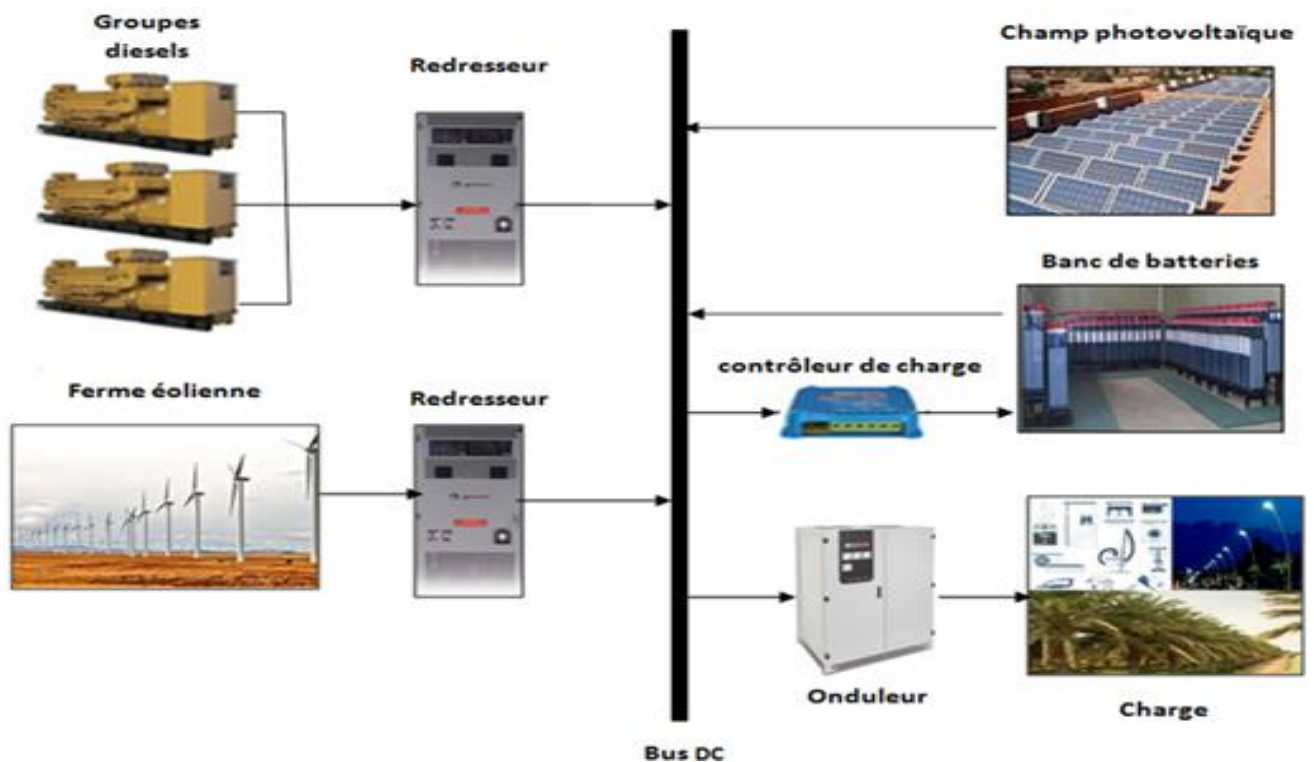


Fig III-1 Configuration à bus DC

3.2 Configuration à bus à AC

Toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs excepté le Générateur Diesel qui peut fixer la fréquence du bus [1].

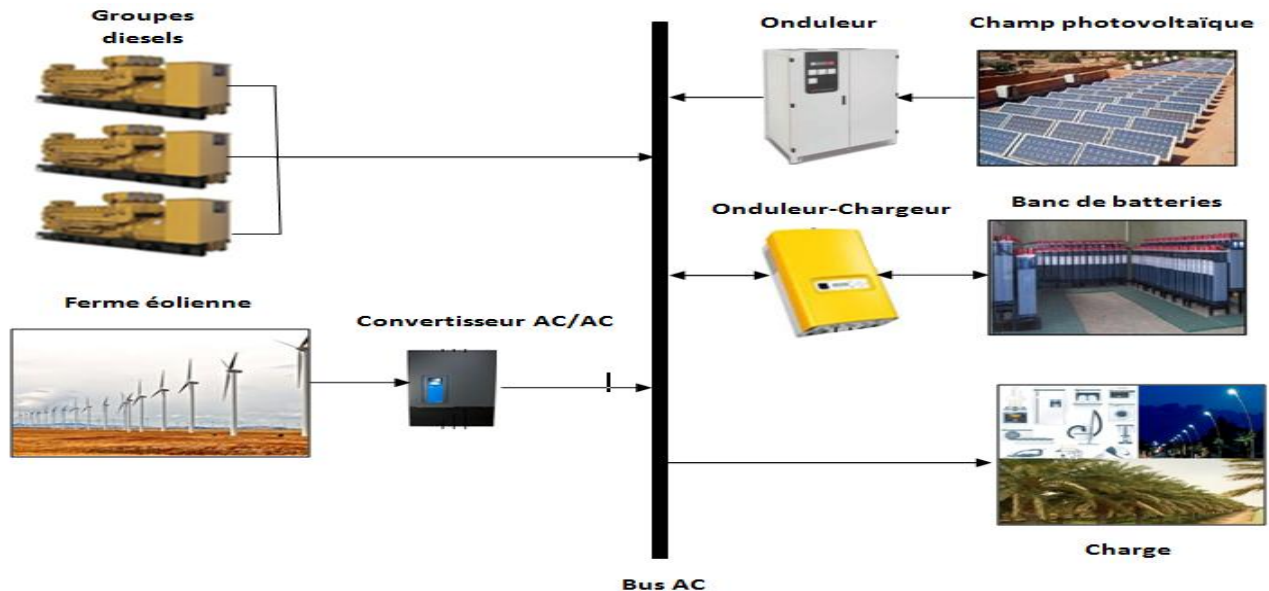


Fig III-2 Configuration à bus à AC

4 : Centrale TG KABERTENE :

La centrale thermique de KABERTENE est composée de deux unités de production d'énergie électrique mobile de 25 MW de puissance de fabrication de la Firme Americain Glastonbury, Connecticut -. PRATH WITHNEY Power Systems, Inc. (PWPS), une société du groupe de Mitsubishi Heavy Industries, Ltd , les deux unités sont couplés au réseau électrique 220 kV Adrar-Timimoun , par intermédiaire d'un transformateur de puissance à trois enroulements 53 MW , 11/220kV, les caractéristiques des Turbines et du Transformateur sont comme suit :

4.1: TURBINE à GAZ :

L'unité MOBILEPAC est un générateur à turbine à gaz autonome, composé de deux remorques :

A.1-Le première est une remorque de puissance comprend le moteur Turbine à Gaz fourni par Pratt & Whitney et le générateur électrique de marque BRUSH avec excitatrice monté sur le même axe avec la Turbine .

Le Moteur utilisé est un moteur Turboréacteur à double compresseur aérodérivé FT-8 inspiré du Moteur JTSD-200 de l'industrie aéronautique et contient les éléments suivants:

Compresseur basse pression (CBP).

Compresseur haute pression (CHP).

Une chambre de combustion ou section de brûlage.

Turbine haute pression(THP).

Turbine basse pression(THB).

A-2-Le deuxième remorque est le remorque commande et contient la cabine de l'opérateur contrôle, la cabine Armoires gestion donnés, la Cabine instrumentation, Unité armoire de commande, Cabine Armoires relais protections Générateur, centre de commande de moteur, l'armoire du terminal maître, chargeur des batterie, le module Inverseur Classe, transformateur auxiliaire, FM 200 Système anti incendie.

L'unité MOBILEPAC génère 25 mégawatts d'électricité et fonctionne au gaz naturel ou combustible liquide (fuel).

Facteurs de Performances :

Puissance de sortie	20 MW
Moteur de Base	FT 8®
Nombre de Package	2
Vitesse	3000 trpm
Bruit	95 dBA à 1m
Déclage de phase	0.85 en retard
Liquide de refroidissement	Air à 15 °C
Fréquence Réseau	50Hz ou 60Hz
Combustible	Gaz Naturel ou Gaz oil
Tension de Sortie	11.0 kV
NOx/CO	50/100 mg/m3
Norme	IEC 60034-3

Tab III -1: plaque signalétique du turbine a gaz [1].

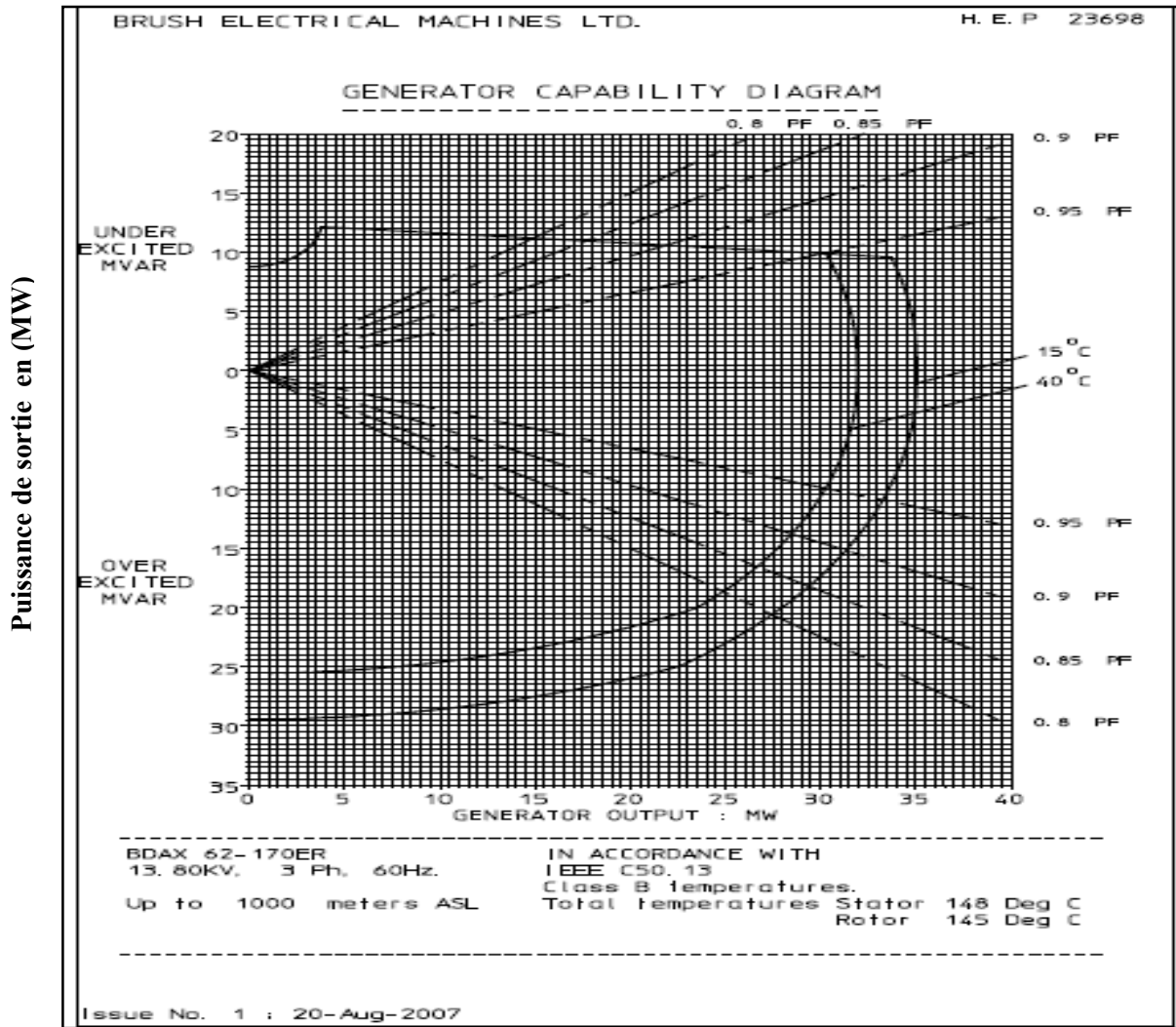


Fig III -3 : Diagramme de puissance de générateur [1].

4.2 Transformateur de Puissance :

Le transformateur de puissance qui transforme l'energie produite par les deux groupes d'une tension de 11 kV à une Tension de réseau de transport 220kV.

Marque	SMIT TRANSFORMATOREN
Puissance nominale ONAN/ONAF	34/53MVA
Nombre de phase	3
Reforoidissement	ONAN/ONAF
Fréquence	50Hz
Symbole de couplage	YN d11-d11
Niveau d'isolement HT-HT neutre	900/395-550/230KV
Niveau d'isolement BT	75/28 KV
Echoff de huile super/ des en rouf	60/65 K
Nombre/contenu unitaire des radiateurs	9/200 L
Nombre/puissance unitaire des moteurs	18/370 W
Vide	100%
Huile transformateur	Sonatrach
Rapport de Transformateur	230/11/11 kV
ANNEE DE CONSTRUCTUON	1980
Tension de court circuit	10%(230V)

Tab III -2 : Plaque signalétique de transformateur [1].

Schéma Général de la Centrale Turbine à Gaz:

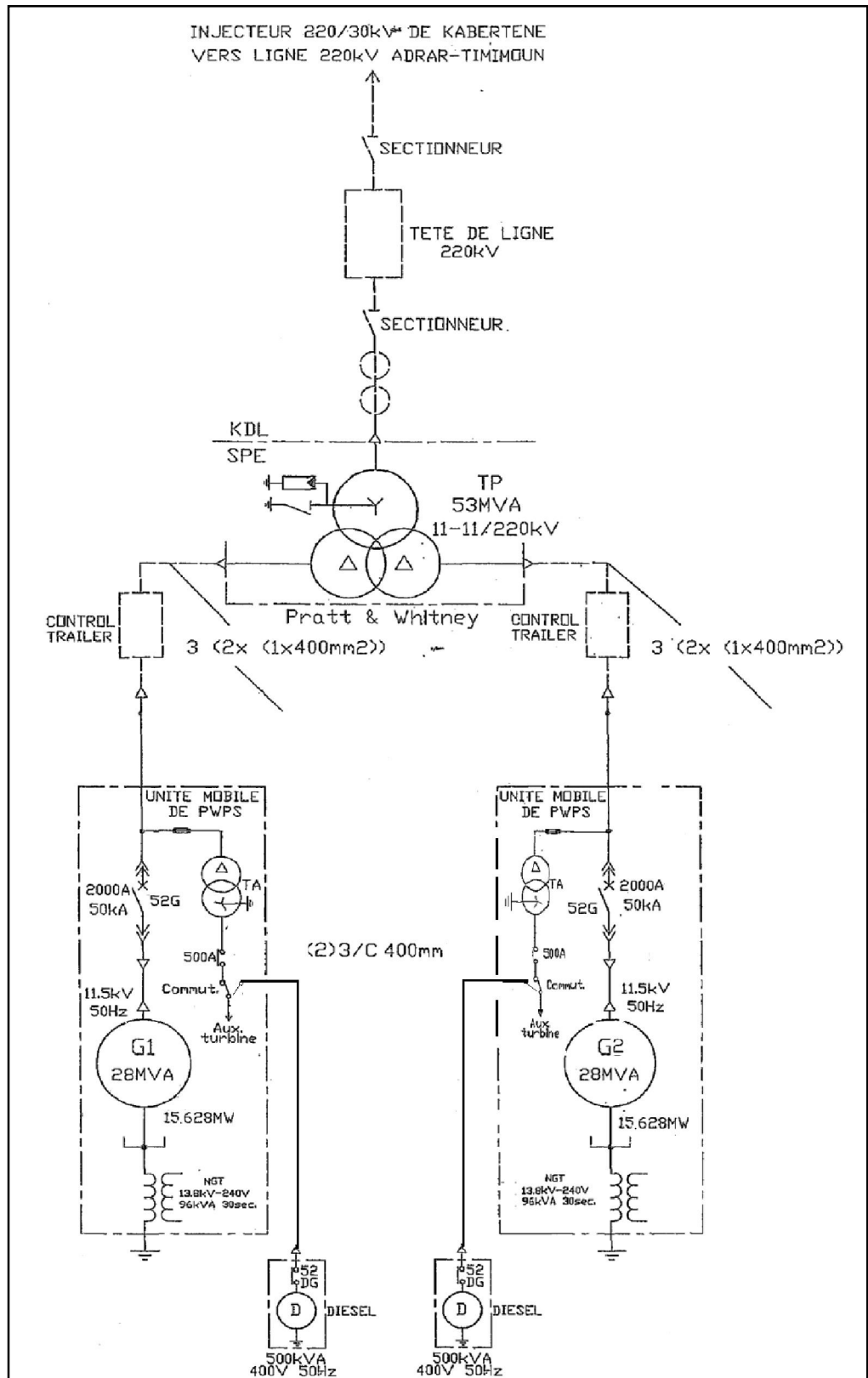


Fig III-4 Schéma unifilaire de la Centrale TG [1].

5 :La fermre eolienne kaberten :

L'énergie éolienne est d'origine naturel (le vent) par la transformation de l'énergie cinétique de vent en énergie mécanique ou électrique, d'où l'emplacement des éoliennes n'est pas choisi par hasard, il y des critères précis. Le choix de l'emplacement est judicieux pour le rendement d'une éolienne et cela est en rapport direct avec le vent.

Tout d'abord, les vents en mer sont quasiment constants et sont plus rapides (il n'y a aucun obstacle pour les casser). Mais malgré tout, cela pose des contraintes supplémentaires, ce qui augmente le coût de l'installation d'une éolienne « off-shore », mais au final, ce choix d'emplacement est relativement plus intéressant sur le long terme.

Tout comme la mer, les montagnes sont aussi un lieu très recherché. Celles-ci freinent aussi bien le vent qu'elles créent des effets avec celui-ci.

5.1 les constituants de la centrale eolienne kaberten :

Le choix du site de la Centrale KABERTENE dans la wilaya d'Adrar a été fait suite à une étude cartographique sur les grandes régions de vent en Algérie et à l'issue de laquelle la région d'Adrar a été définie", l'énergie produite par cette ferme est injectée au poste HTA 30 kV KABERTENE. Le choix du site de la ferme KABERTENE dans la wilaya d'Adrar a été fait suite à une étude cartographique sur les grandes régions de vent en Algérie et à l'issue de laquelle la région d'Adrar a été définie", l'énergie produite par cette ferme est injectée au poste HTA 30 kV KABERTENE.

La ferme éolienne de KABERTENE. est composée de 12 aérogénérateurs de 850 kW de puissance chacune soit une puissance Totale de la Ferme de 10,2 MW .

5.2:Caractéristique d'Aérogénérateur Centrale KABERTENE:

Marque	GAMESA
Type	G52- 850
Puissance Totale nominale délivrée par la machine (Somme e la puissance du stator et du rotor	850Kw
Puissance nominale du stator	812kW
Puissance nominale rotor	59kW
Tension nominale	690kW
Courant maximum de court-	± 19,5 kA

circuit	
Limites de Tension en fonctionnement normal	10%(Permanente) +20 %(0,1 s) -20%(1 s)
Conforme à la réglementation de réseau	P.O.12.3.
Fréquence nominale de Travail du Réseau	50/60 Hz
Plage de fréquence autorisée.	±2 Hz (cont.) ±4 Hz(5 s.)
Gamme Cos Φ évolutive	0,95 cap./ind.
Vitesse synchrone du générateur.	1 500 tr/min (F=50 Hz) 1 800tr/min(60Hz)
Vitesse nominale du générateur .	1 620 tr/min (F= 50Hz) 1 944tr/min (F= 60 Hz)
Glissement nominale du générateur	8%
Plage de vitesse avec connexion en triangle	1 050 – 1 900 tr/min
Plage admissible de température de service	- 30 °C/+ 50 °C
Plage admissible de température d'entreposage et de transport	40°C/+ 60°C
Niveau d'humidité maximum autorisé pendant l'exploitation	95 % (sans condensation)
Altitude de fonctionnement. Norme 601 46- 1.	< 2 000 m
Dans la section 6 du G5XDAC.	IP23
Dans les sections 1, 2, 3,4 et 5 du G5XDAC.	IP54
Degré de protection anticorrosion.	C3H
Caractéristique électrique coté Réseau	
Tension Nominale de réseau	690V
Courant Nominale du convertisseur coté réseau	71 Arms

Courant Maximale du convertisseur coté réseau	91 Arms
Courant Minimale du convertisseur coté réseau	59 Arms
Courant Maximin de court circuit	19.5 Arms
CONVERTSEUR DE PUISSANCE (GAMESA)	
Puissance de convertisseur coté Rotor	59kW
Tension nominale du convertisseur coté Rotor	183V
Courant Nominale du convertisseur coté rotor	268A
Tension maximum du convertisseur coté Rotor	608V
Courant maximum du convertisseur coté rotor	354A
Glissement maximum.	26.6%

Tab III -3 : caractéristique d'aérogénérateur centrale Kabertene[1]

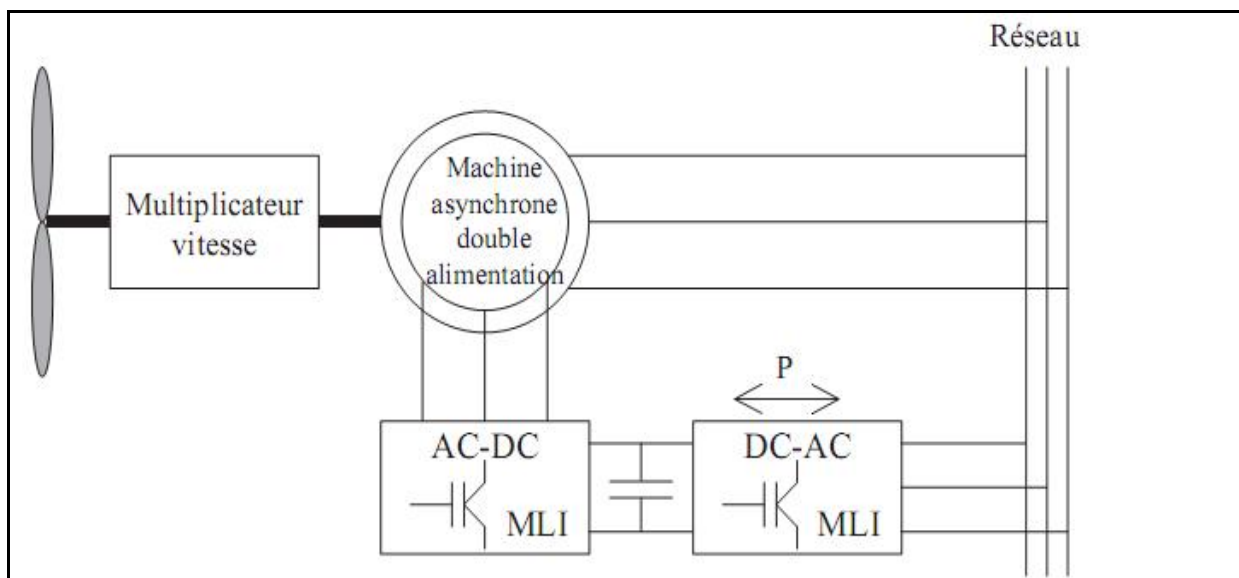


Fig III -5: Schémas d'un Aérogénérateur [1].

5.3: Transformateur de Puissance(Kiosque) :

Chaque kiosque d'éolienne fourni de l'énergie au boucle formé avec la poste d'évacuation centrale via un Transformateur élévateur dont les caractéristiques principales sont :

Puissance	1 MW
Perte	5%
Rapport de Transformation	690 V/ 30kV
Tension de fonctionnement	30kV-15/+10%
Perte Fer	2300W
Perte cuivre	14300W à Pmax

Tab III -4 : Plaque Signalétique de Transformateur[1]

6- maintenance :

Pour un bon fonctionnement de la turbine il faut faire une maintenance périodique de tous les ensembles mécanique et électriques pour améliorer le rendement de la machine d'une coté et éviter la rupture en production propabable d'autre coté.

6-1 Objectif de la maintenance :

- Conserver la valeur d'un bien
- Garder sa disponibilité
- Assurer la maintenance dans les limites du budget
- Minimiser les dépenses du maintenance
- Maintenir le bien durable dans un état acceptable
- Assurer la disponibilité maximale au cout durable
- Eliminer les pannes a tout moment
- Prolonger la durer de vie de biens
- Assurer le bien a des performances de haute qualité
- Un fonctionnement sure et efficace

6-2 Les types de la maintenance :

6-2-1 la maintenance correctif

Exécuter après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans la quelle il peut accomplir une fonction requise.

6-2-2 Les opération de la maintenance correctif

a) **Détection** : action de découvrir au moyen de surveillance au l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.

b) **Localisation** : action conduisant à rechercher précisément l'élément ou les éléments par les quelle la défaillance se manifeste.

c) **Diagnostic** : identification de cause de la ou des défaillance a l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'information provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test

d) **Dépannage** : action sur un bien en panne, en vue de le remettre provisoirement en état de fonctionnement

Remarque :

Compte tenue de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder du résultat provisoire, dans le cas, il sera suivre d'une réparation

e) **Réparation** : intervention définitif et limitée de maintenance corrective après défaillance.

6-2-3 la maintenance préventive : exécutée à des intervalles prédéterminé ou selon des critères prescrit et destinée a réduire la probabilité de défaillance ou la diagnostique du fonctionnement d'un bien.

6-2-4 Types la maintenance préventive :

a) **Maintenance systématique** : obéissant a un échéancier (planning, calendrier) établie en fonction de temps et de nombre d'unité d'usage.

b) **Maintenance conditionnelle** : subordonnée al' apparition d'indices révélateurs de l'état (condition) d'un élément matérielle.

c) Le bute de la maintenance préventive :

Augmenter la durée de vie matérielle.

Diminuer la probabilité des défaillances en service.

Diminuer le temps d'arrêts en cas de révision ou de panne.

Prévenir et prévoir les interventions de la maintenance corrective couteuse

Eviter les consommations anormales d'énergie de lubrifiant.

Améliorer les conditions de travaille de personelles.

Supprimer les d'accident grave.

4-2-5 Les opération de la maintenance préventive :

a) Inspection : activité de surveillance consistant a relever périodiquement les anomalie et exécuter le réglage simple. Ne nécessite pas l'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

b) Contrôle : il corresponde a des vérifications de conformité par rapport a des données préétablies, suivi d'un jugement.

C Visite ; consiste en un examen détaillé et prédéterminer de tous (visite générale) ou partie (visite limité) des déférents éléments d'un bien. Ces intervention correspondent a une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entrainer une action de maintenance corrective.

CHAPITRE IV:

SIMULATION ET RÉSULTAT

1- Définition

HOMER (Optimisation hybride des énergies renouvelables multiples), le modèle d'optimisation de micro projecteurs, simplifie la tâche d'évaluation les conceptions des systèmes d'alimentation hors réseau et connectés au réseau pour une variété des applications. Lorsque vous concevez un système d'alimentation, vous devez faire beaucoup décisions concernant la configuration du système: quels composants il est logique d'inclure dans la conception du système? Combien et quelle taille de chaque composant que vous utilisez? Le grand nombre de technologies les options et la variation des coûts technologiques et la disponibilité de l'énergie les ressources rendent ces décisions difficiles. L'optimisation de HOMER et les algorithmes d'analyse de sensibilité permettent d'évaluer plus facilement les nombreuses configurations possibles du système.

2- Interprétation des résultats

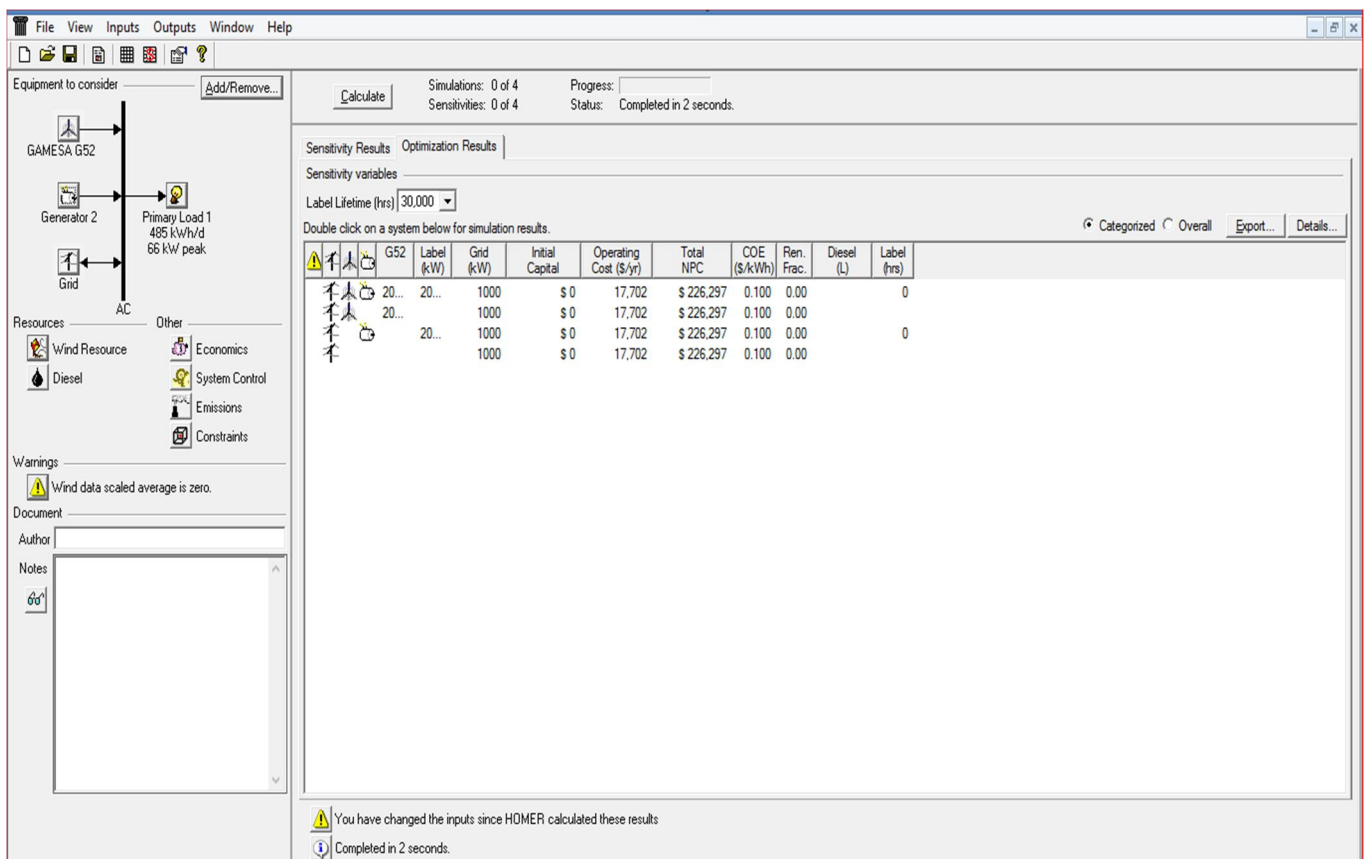


Fig. (IV.1): Simulation par logicielle homer

3- profile de variation de charge mensuelle et annuelle

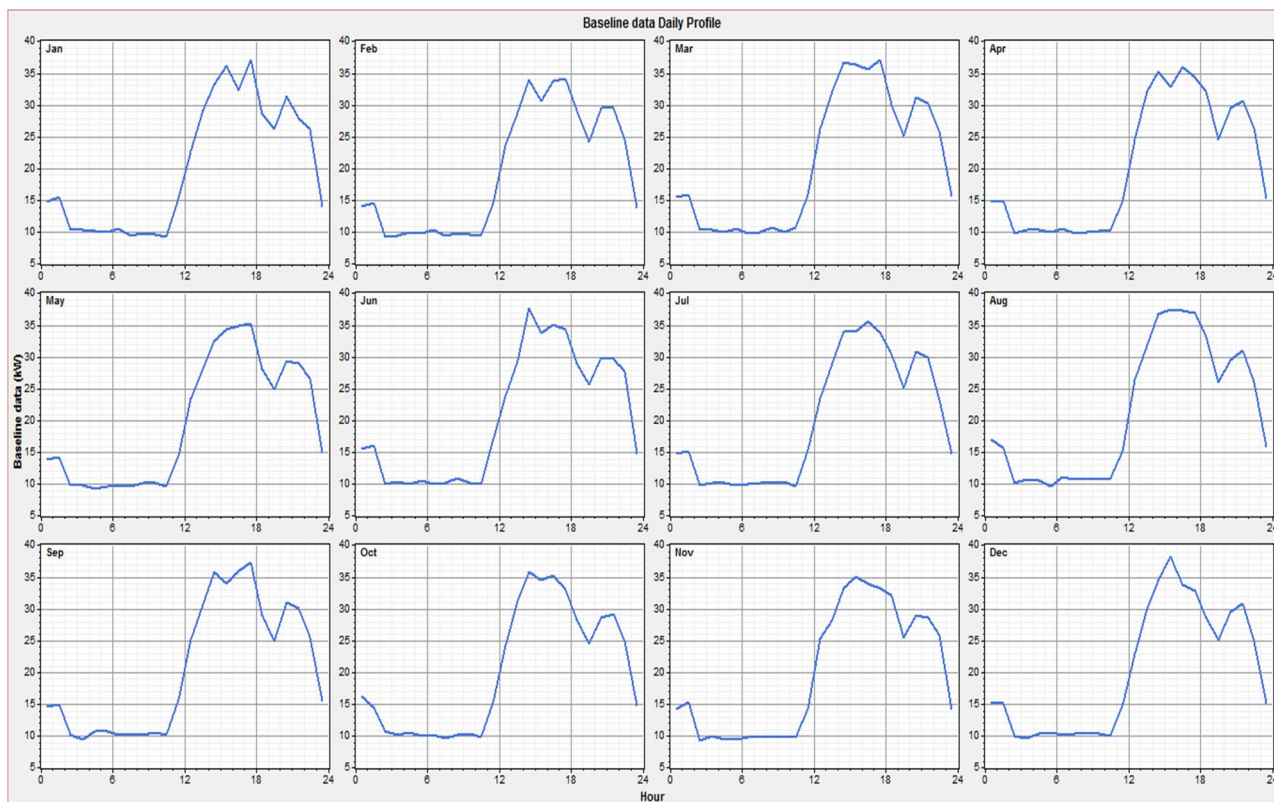


Fig. (IV.2): la consommation annuelle d'énergie électrique pour le site d'Adrar

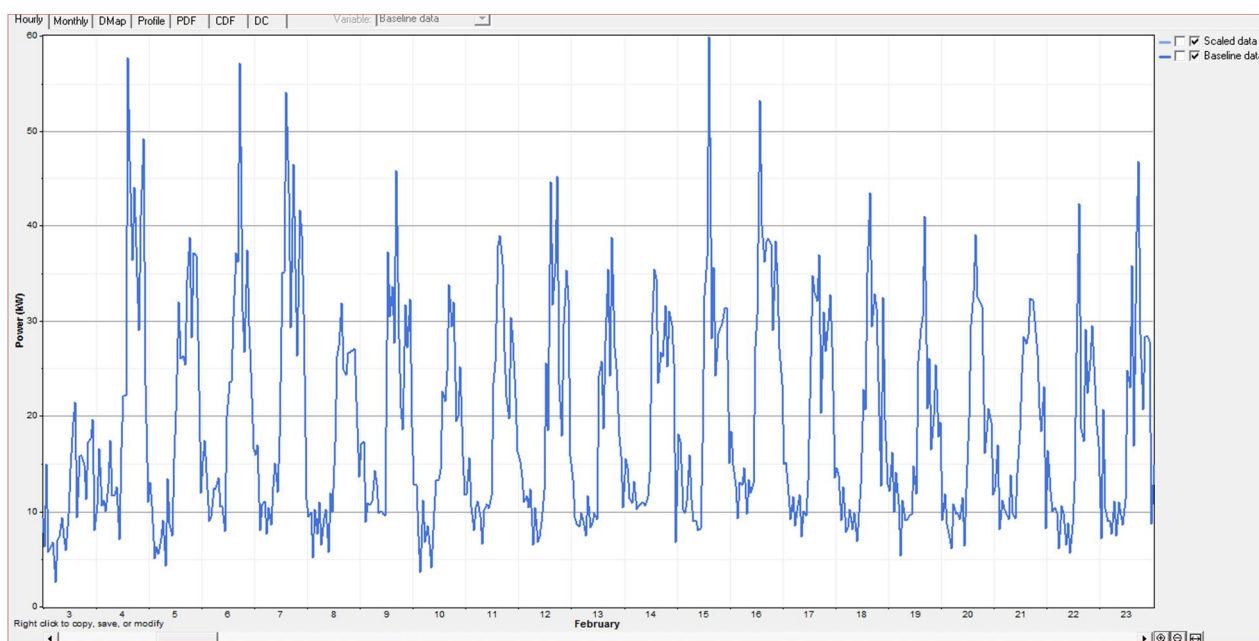


Fig. (IV.3): scaled data daily

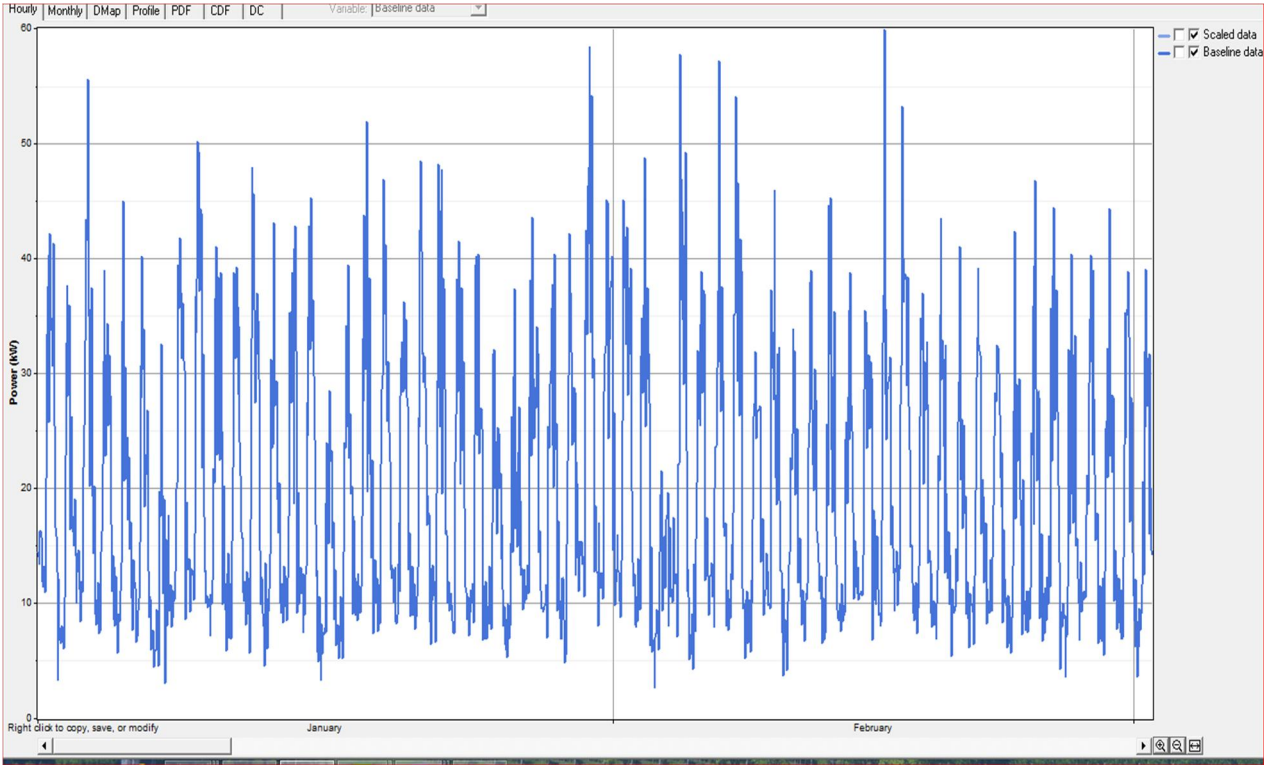


Fig. (IV.4): scaled data two months

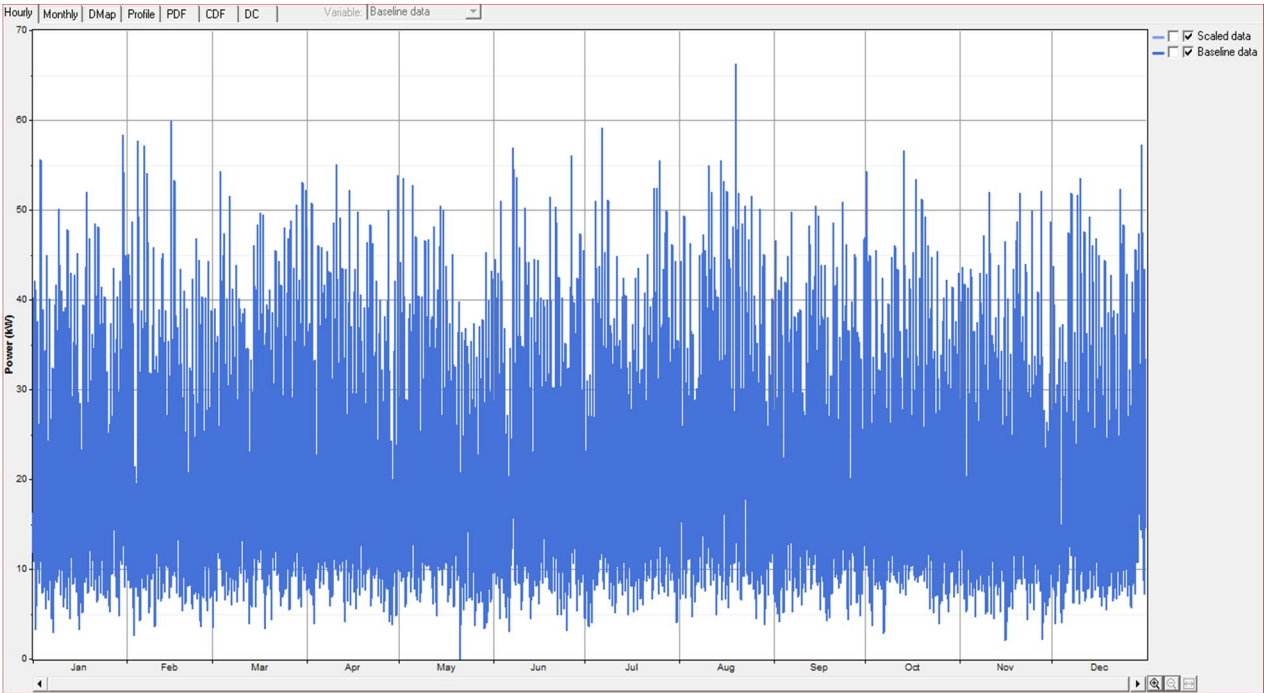


Fig. (IV.5): scaled data hourly

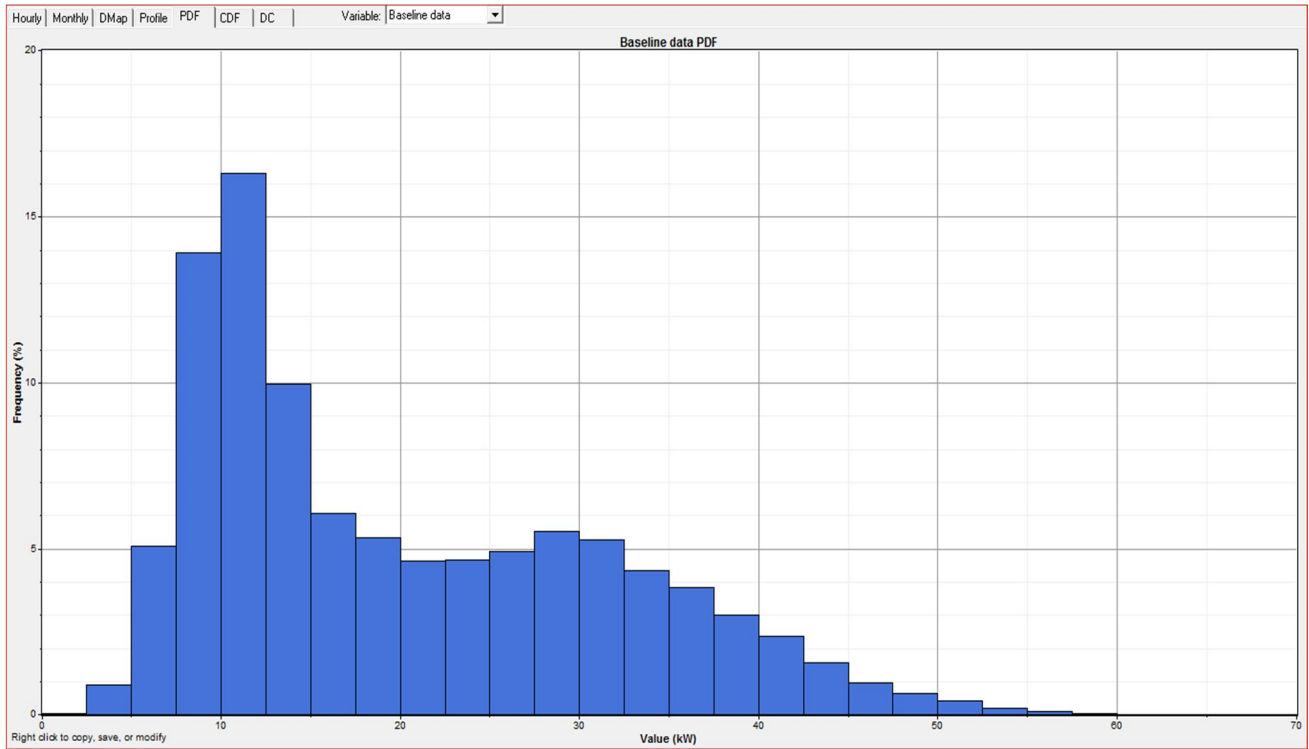


Fig. (IV.6): scaled data frequency KW

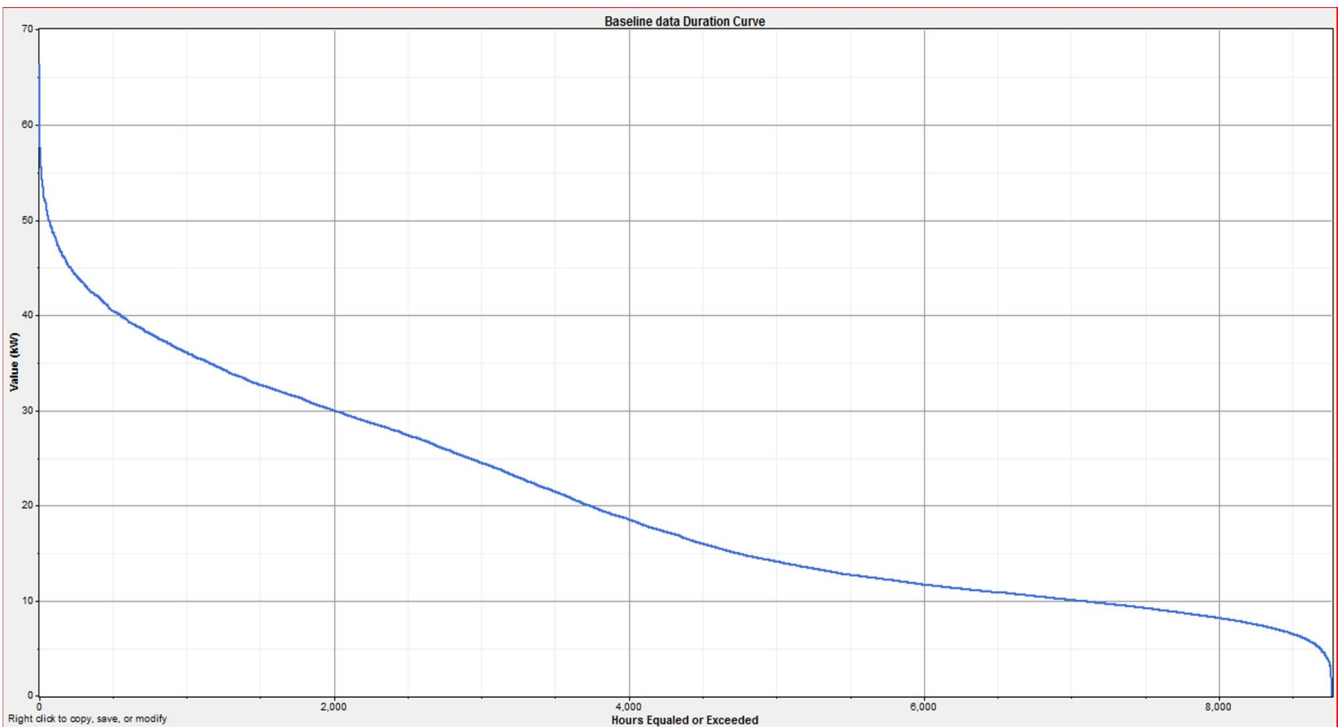


Fig. (IV.7): scaled data duration curve

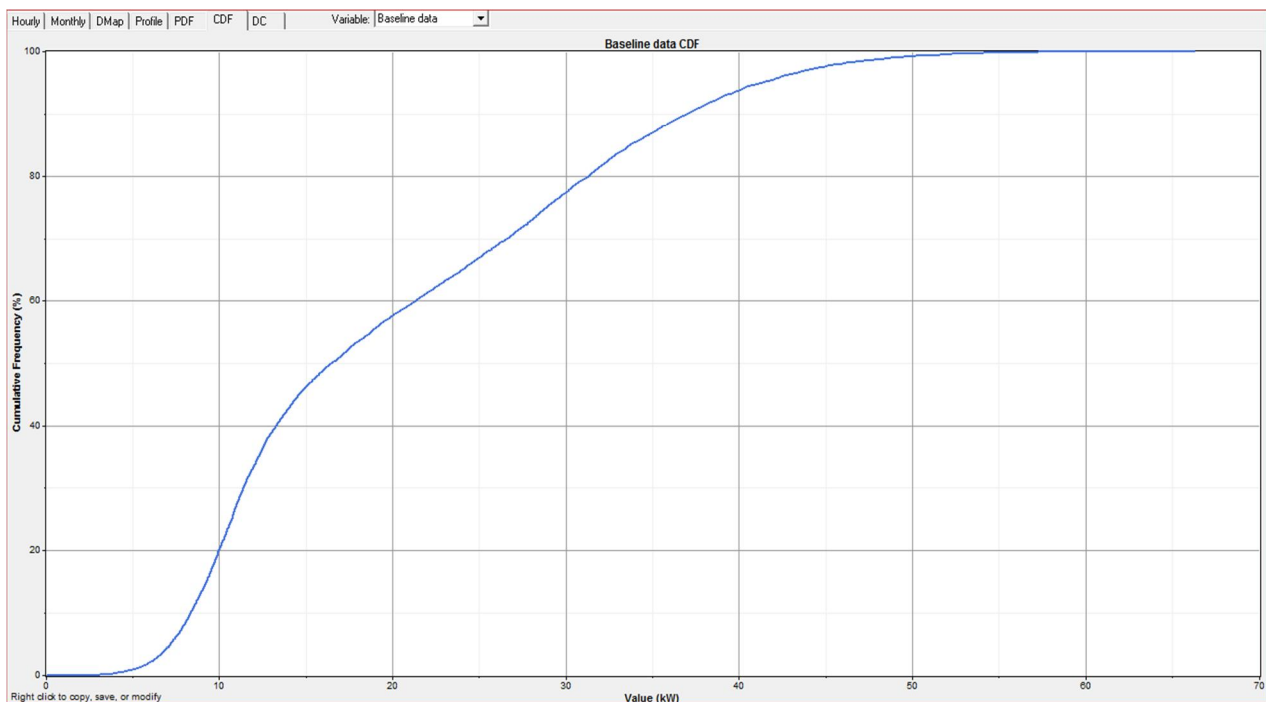


Fig. (IV.8): scaled data cumulative frequency

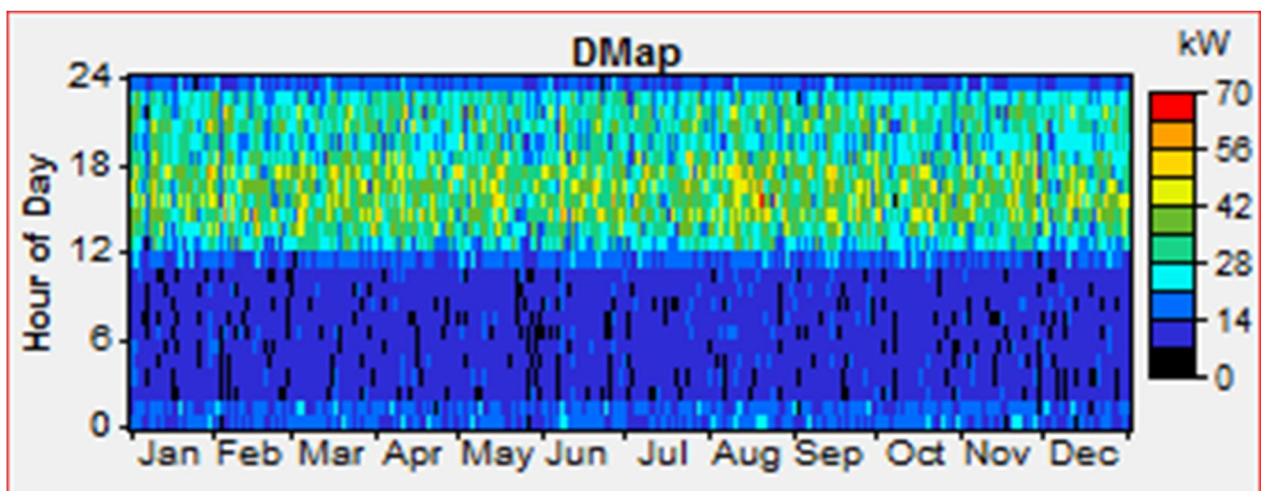


Fig. (IV.9): D Map

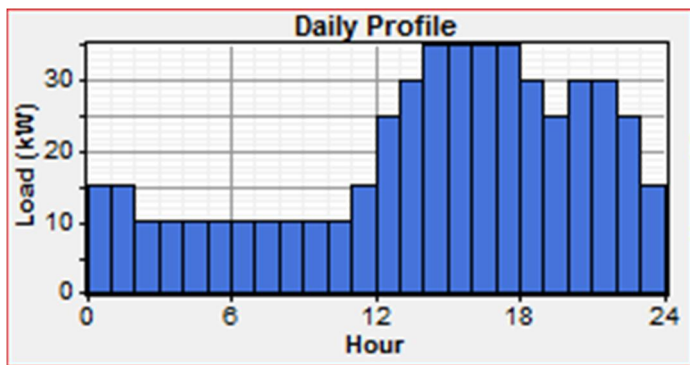


Fig. (IV.10): la charge journalière consommée au site d’Adrar

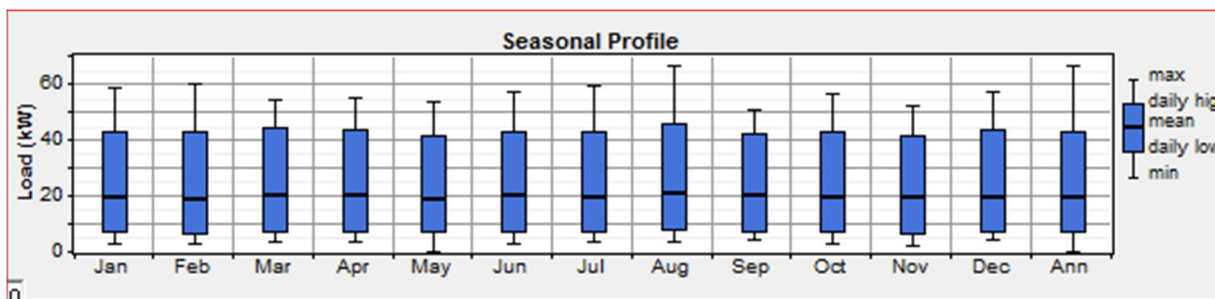


Fig. (IV.11): variation la charge des saisons

4- Caractéristique central éolienne :

Latitude	28 degrees 27 minute nort
Longitude	0degrees 2 minute west
Time zone	GMT+1:00

Tab IV -1 Coordonnée de site kaberten

4-vitesse de vent mesuré au site de kaberten (générateur éolienne juillet 2014)

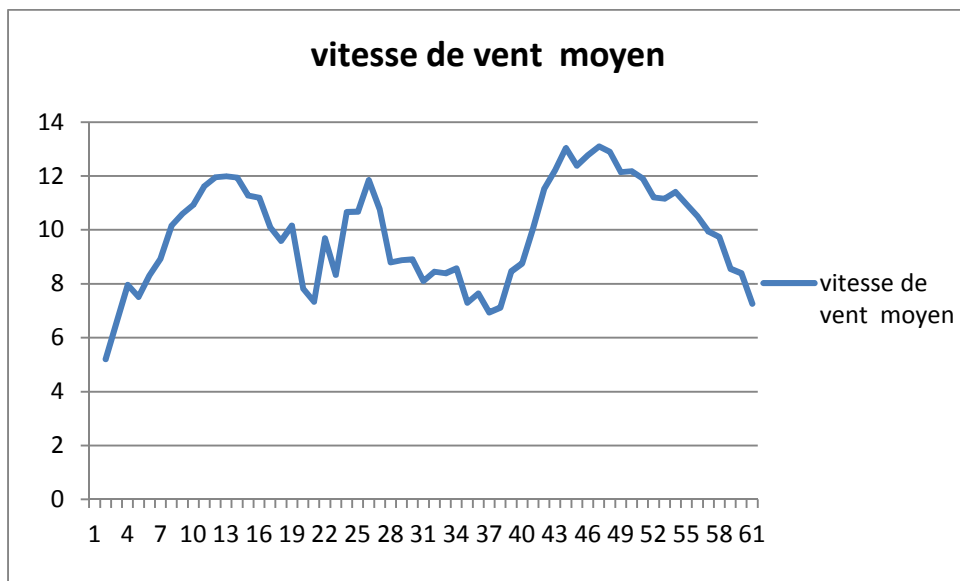


Fig. (IV.12): vitesse de vent moyen au periode de fonctionnement

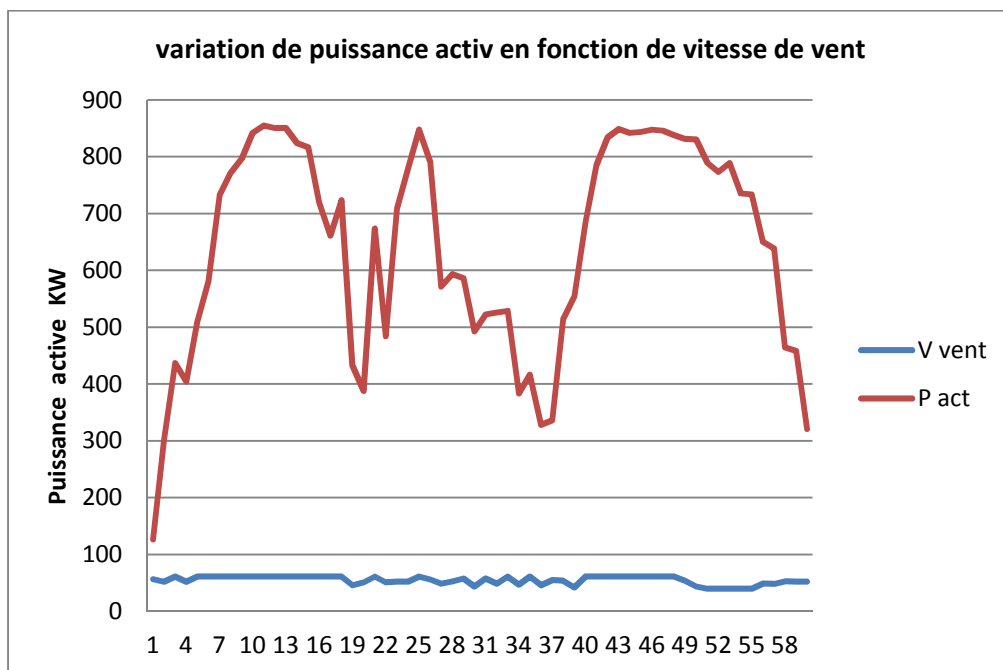


Fig. (IV.13): Variation de puissance active en fonction de vitesse de vent

5- Caractéristique turbine à gaz Pratt & Whitney Power System (PWPS)

Quantité	Value	Unit
Hours of operation	1,165	Hr/yr
Number of starts	410	Start/yr
Operation life	12,9	Yr
Capacity factor	3,99	%
Fixed generation cost	2,794	\$/ h
Marginal generation cost	0,0852	\$/ Kwh
Electrical production	17,475.002	Kwh/yr
Mean electrical output	15,000	Kw
Fuel consumption	9,028.750	l/yr
Specific fuel consumption	0,517	l/kwh
Fuel energy input	88,842.912	Kwh/yr
Mean electrical efficiency	19,7	%

Tab IV -2 : caractéristique turbine à gaz

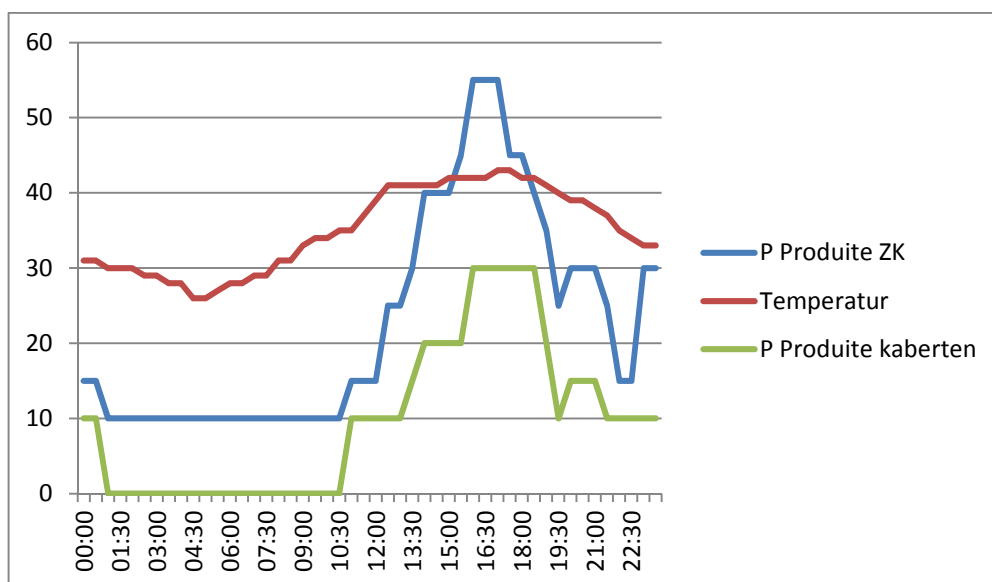


Fig. (IV.14): Puissance produit TG centrale kaberten en fonction température

Après une petite comparaison entre les deux systèmes de production nous constatons que la variation de production d'énergie de système éolien fait par des facteurs externes conditions climatiques la température, le vent....., par contre la consommation des clients urbain, usine, la seule qui maintient les turbines en service ou à l'arrêt avec une variation ça dépend la demande.

6- Conclusion :

Le site d'Adrar est caractérisé par un gisement éolien très important et presque stable au cours de l'année qui oscille entre des vitesses de vent allant de 20km/h jusqu'à 60 km/h. Ce qui montre que ce site est très favorable à implanter des parcs éoliens en terme de vitesse de vents sans tenir compte des autres paramètres météorologiques et en particulier la température hivernale.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion générale

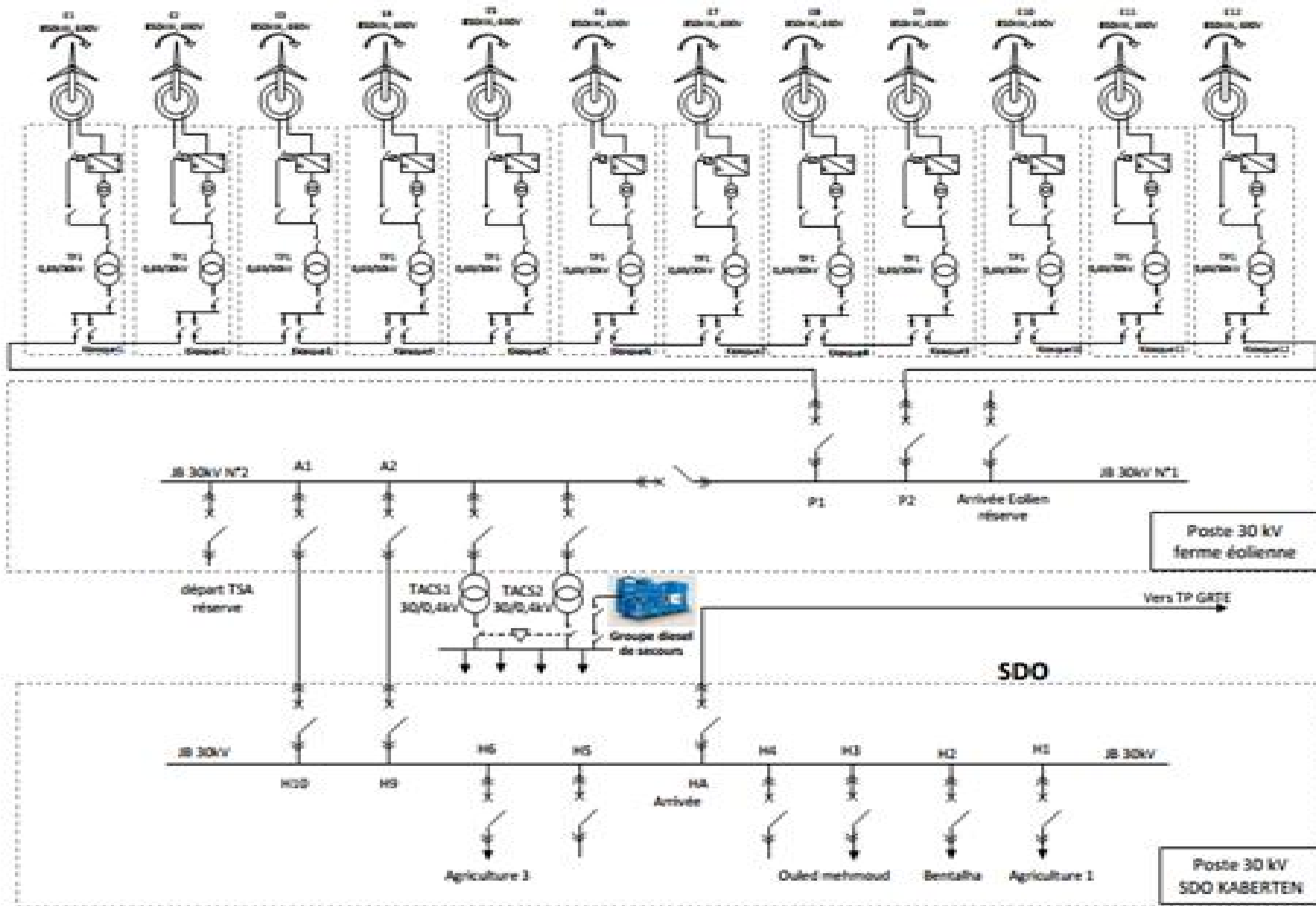
Conclusion générale

Aujourd'hui, il faut savoir que l'énergie éolienne est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus utilisées au monde. Les obstacles et les avantages que peut représenter cette forme d'appareil qui n'utilise que la puissance de l'air comme carburant sont toujours les points de recherche et de développement afin de rendre ses avantages plus importants que ses obstacles.

Néanmoins, la vulgarisation et l'utilisation de ce genre d'énergie renouvelable va nous permettre de mieux apprécier et de continuer à développer d'autres opportunités pour la sauvegarde de l'écologie qui est devenue maintenant la principale préoccupation de l'humanité !

Dans ce projet nous constatons le fonctionnement de deux systèmes différents de production qui satisfont la demande variable d'énergie qui augmente chaque année d'une manière lisse et fiable.

Turbine à gaz et générateur éolien deux systèmes hybrides nous donnent l'intégration qui devrait être dans le réseau optimal avec une priorité de production pour l'énergie renouvelable de par son caractère d'environnement. En raison de l'énergie d'origine fossile qui reste toujours le combustible principal et nous assure la continuité de service au moment de pointe au moins à l'heure actuelle pour l'EnR continue son développement et devient l'énergie principale et c'est ce que nous cherchons dans ce projet et c'est le but ultime pour la science dans ce domaine.



Liste des figures

Fig. I. 1 : schéma d'organisation du Groupe Sonelgaz	2
Fig. I. 2 : schéma du réseau interconnecté d'Adrar.....	5
Fig. I. 3 : schéma descriptif de turbine a gaz.....	7
Fig. I. 4 : Compresseur TG a l'extérieure de la machine.....	8
Fig. I. 5 : Extraction la ligne d'arbre turbo compresseur.....	9
Fig. I.6-L'ensemble des chambres de combustion entourer la turbine.....	9
Fig. I.7-La flamme dans la chambre de combustion.....	10
Fig. I.8-La flamme dans la chambre de.....	10
Fig. I.9-Turbine de trois étages.....	11
Fig. I.10-les eilet 1 ^{er} étage monté par ordre.....	11
Fig. I.11 paliers turbine démonté pour la maintenance.....	11
Fig. I.12 extraction du rotor alternateur	13
Fig. I.13 inspection réducteur de charge.....	13
Fig. I.14 rotor d'excitatrice	16
Fig. I.15 les diodes tournant.....	16
Fig. I.16 schémas d'installation des diodes tournant.....	17
Fig. I.17 schémas de système d'excitation.....	19
Fig. I.18 Salle de commande	20
Fig. I.19 salle de machine.....	20
Fig. II.1:Répartition des usages de la filière ER en Algérie.....	31
Fig. II.2: Carte des vents en Algérie.....	33
Fig. II.3: Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	34
Fig. II. 4 :Chaîne de conversion d'énergie.....	34
Fig. II.5 : Turbines éoliennes en amont et en aval.....	41
Fig. II.6: Turbines à axe vertical.....	42
Fig. II.7 : éléments constituant une éolienne.....	43

Fig. II-8 : Tube de courant autour d'une éolienne.....	47
Fig. II-9 : Coefficient de puissance.....	48
Fig. II-10: Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes.....	48
Fig. II-11 : Flux d'air sur un de pales profile (stall).....	49
Fig. II-12 : Variation de l'angle de calage d'une pale.....	50
Fig. II-13 : Courbe typique de régulation.....	51
Fig. II-14 Caractér typiques de puiss par rapport à la vitesse d'une éolienne.....	54
Fig. II-15:Caractér CP- λ des éolien pour les différentes valeurs de tangage.....	55
Fig. II-16 : Caractér couple-vitesse d'une éolienne pour différentes vitesses de vent.....	57
Fig III- 1 Configuration à bus DC.....	61
Fig III- 2 Configuration à bus à AC.....	62
Fig III- 3 : Courbe de Puissance en Fonction de La Température et de Cos Φ	64
Fig III- 4 Schéma unifilaire de la Centrale TG.....	66
Fig. III -5: Schémad'un Aérogénérateur.....	69
Fig. IV -1: Simulation par logicielle homer.....	74
Fig. IV-2: la consommation annuelle d'énergie électrique.....	75
Fig. IV-3: scaled data daily	75
Fig. IV-4: scaled data two menthe	76
Fig. IV-5: scaled data hourly.....	76
Fig. IV-6: scaled data frequency KW.....	77
Fig. IV-7: scaled data duration cuvre.....	77
Fig. IV-8 scaled data cumulative frequency.....	78
Fig. IV-9 D- map	78
Fig. IV-10 la charge journalier consommée au site d'adrar	79
Fig. IV-11 variation la charge des saisons.....	79
Fig. IV-12: vitesse de vent moyen au periode de fonctionnement.....	80
Fig. IV-13: Variation de puissance active en fonction de vitesse de vent	80
Fig. IV-14: Puissance produit TG centrale kaberten en fonction temperature	81

Liste des tableaux

Tab II. 1 : La répartition de la puissance installée par application	30
Tab II. 2 : Gisement solaire en Algérie.	32
Tab II. 3 échelles Beaufort	39
Tab II. 4 : classification des turbines éoliennes	45
Tab III -1 : plaque signalétique du turbine a gaz.....	63
Tab III -2 : Plaque signalétique de transformateur	65
Tab III -3 : caractéristique d'aérogénérateur centrale Kabertene	69
Tab III - 4 : Plaque Signalétique de Transformateur	70
Tab IV -1 : Coordonnée de site kaberten.....	79
Tab IV -2 : caractère turbine a gaz.....	81

Bibliographique

- [1] A .MEBROUKI et A. DJAAFRI « étude d'un system hybride cas des centrales kaberten » master en physique énergétique
- [2] Mr B. OMARI (promoteur)
- [3] Mr A. TALEBI ingénieur d'études au la société algérienne de production de l'électricité SPE Unité Adrar « chargé de suivi projet ferme éolienne de kaberten 2011-2014 »
- [4] M. HAMAD et M. BAAMER. « Étude technologique d'une turbine a gaz 5001 de la centrale d'Adrar ».
- [5] téléchargement, installation et mise en service le logicielle homer par le site <http://www.homerenergy.com>
- [6] rapport journalier de la production de la centrale TG kaberten
- [7] A . MALKI Ing production SPE Sonelgaz ADRAR
- [8] A. SALMI Ing Etude SKTM Z/K