



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE**

MEMOIRE DE MASTER

**Présenté par : Rezigui Mohammed Taha Yacine
Attachi Mohammed El-amine**

**DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTROTECHNIQUE
OPTION : Electrotechnique industrielle**

Thème

**Rationalisation et maîtrise de la consommation
d'énergie électrique dans le secteur industriel**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr Djekidel Rabeh	Prof	Président
Mr : Kouidri MohammedAli	MCA	Rapporteur
Mr : Bessedik sid ahmed	Prof	Examineur

Promotion : 2022/2023

Remerciement

Au nom d'Allah, le plus gracieux, le plus miséricordieux :

Tout d'abord, nous remercions DIEU de nous avoir donné le courage, la force et la patience pour réaliser ce modeste travail.

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à Monsieur **Koudri Mohammed Ali** pour l'honneur qu'il nous a fait. En nous guidant, pour son aide précieuse, ses remarques et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous remercions également tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements à la direction de SONELGAZ pour leur accueil. Et leur disponibilité et leur collaboration à l'exécution de cette mission, spécialement à Messieurs **Rahmani Omar** et **Belghouini Taher** qui nous ont apporté leur soutien et leurs encouragements durant la réalisation de ce travail.*

Dédicace

Je remercie le Dieu miséricordieux qui m'a donné le courage et la volonté de faire ce travail.

Je dédie ce travail à mes parents qui ont été la source d'inspiration et de courage, qui ont inséré le sens des responsabilités qui ont tous permis que je réussisse dans mes études, afin que Dieu les bénisse avec une longue vie et une bonne santé.

*A toute ma famille : **Rezigui et Attachi***

*A tous mes collègues et surtout aux étudiants de la 2ème année
Master : Électrotechnique industrielle.*

Pour tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à rendre ce travail possible.

ملخص:

تقدم هذه الأطروحة دراسة عامة حول الإجراءات الفنية والإحصائية لتأسيس تدقيق الطاقة كسياق حالي للاستخدام الرشيد للطاقة. مع زيادة التعريفات، يلعب استهلاك الطاقة دورًا مهمًا بشكل متزايد في تكاليف الإنتاج، خاصة في الصناعة؛ حقلًا في الكهرباء والغاز الطبيعي، يمثلان إجمالي المبيعات والقيمة المضافة، إذا كانت الجوانب مرتبطة في الماضي بتشغيل خط الإنتاج، اهتمنا إلى حد ما بالانشغالات التي تميل إلى القضاء على العوامل الملوثة، وخفض التكاليف بشكل عام في بيئة تنافسية تتميز بقدرة تنافسية قوية للغاية. يصبح تحليل الاستهلاك أمرًا حيويًا من أجل اكتشاف التحسينات المحتملة والوفورات الناتجة مع التوسع في التحسين المستمر لتوافر وقدرة التركيبات، كما تستهدف تقنيات الإدارة الأداء من حيث التنظيم. تحديد ودائع الإنتاجية والبحث عن المزيد التكاليف (القياسات، القياس، التحليل) هي الكلمات الرئيسية التي تتخلل دراسة الطاقة. ويمكننا أيضًا أن نأخذ في الاعتبار الطاقات المتجددة كحل اقتصادي في هذا المجال.

Résumé :

Cette thèse présente une étude générale des procédures techniques et statistiques pour établir l'audit énergétique comme un contexte actuel pour l'utilisation rationnelle de l'énergie. Avec l'augmentation des tarifs, la consommation d'énergie joue un rôle de plus en plus important dans les coûts de production, notamment dans l'industrie ; En plein électricité et gaz naturel, ils représentent des ventes brutes et de la valeur ajoutée, si les aspects liés par le passé au fonctionnement de la chaîne de production nous ont quelque peu préoccupés par des préoccupations qui tendent à éliminer les facteurs polluants, à réduire les coûts en général dans un contexte concurrentiel environnement caractérisé par une très forte compétitivité. L'analyse des consommations devient essentielle pour découvrir les améliorations potentielles et les économies qui en résultent alors que l'expansion continue d'améliorer la disponibilité et la capacité des installations, et que les techniques de gestion ciblent la performance en termes de régulation. Identifier les gisements de productivité et rechercher plus de coûts (mesures, mesures, analyses) sont les mots-clés qui imprègnent l'étude de l'énergie. On peut aussi considérer les énergies renouvelables comme des solutions économiques dans ce domaine.

Abstract:

This thesis presents a general study of the technical and statistical procedures to establish the energy audit as a current context for the rational use of energy. With the increase in tariffs, energy consumption plays an increasingly important role in production costs, particularly in industry; In full electricity and natural gas, they represent gross sales and added value, if the aspects related in the past to the operation of the production chain have somewhat preoccupied us with concerns that tend to eliminate polluting factors, reduce costs in general in a competitive environment characterized by very strong competitiveness. Consumption analysis becomes essential to uncover potential improvements and resulting savings as expansion continues to improve plant availability and capacity, and management techniques target control performance. Identifying productivity deposits and looking for more costs (measurements, measurements, analyses) are the keywords that permeate the study of energy. Renewable energies can also be considered as economic solutions in this field.

Sommaire

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

Chapitre I : Rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique

I.1. Introduction	2
I.2. Rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique en Algérie	2
I.3. Concept de la rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique	3
I.4. Politique algérienne de rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique	3
I.5. Energies renouvelables	4
I.6. Les principales sources d'énergie renouvelables	4
I.7. Efficacité Energétique	11
I.8. Utilisation rationnelle de l'énergie électrique	13
I.9. Conclusion	16

Chapitre II : Système photovoltaïque

II.1. Introduction	18
II.2. L'effet photovoltaïque	18
II.3. La cellule photovoltaïque	19
II.4. Les types des systèmes photovoltaïques	21
II.5. Conclusion	25

Chapitre III : Analyse de la consommation d'énergie électrique et les gains obtenus

III.1. Introduction	27
III.2. Qualité d'énergie électrique	27
III.3. Harmoniques	28
III.4. Distorsion harmonique	28
III.5. Chutes et coupures de tension du réseau	29
III.6. Optimiser l'utilisation de l'énergie électrique	32
III.7. Comptage	38
III.8. Billant de puissance annuelle du site industriel	38
III.9. Tarification	44
III.10. Conclusion	49
Conclusion générale	51

Bibliographie	
---------------	--

Liste des figures

Figure I.1 : Transition énergétique mondiale : les énergies renouvelables représentent l'avenir.	4
Figure I. 2 : Panneaux solaire thermique.	5
Figure I. 3 : Panneaux solaire photovoltaïque.	6
Figure I. 4 : Panneaux solaire thermodynamique.	7
Figure I.5 : Barrage hydraulique.	8
Figure I.6 : Éolienne horizontale.	8
Figure I.7 : Éolienne vertical.	9
Figure I.8 : Énergie biomasse.	10
Figure I.9 : Carte de gradient géothermique du Sud algérien.	11
Figure II - 1 : Représentation schématique d'une cellule solaire	19
Figure II .2. Une cellule photovoltaïque.	19
Figure II - 3 : Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	20
Figure II - 4 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$	21
Figure II - 5 :L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$	21
Figure III.1. Schéma illustration de l'énergie active	32
Figure III.2. Schéma de facture de puissance	33
Figure III.3. Schéma de principe de la compensation	34
Figure III.4. Compensation avec résistance de décharge	35
Figure III.5. Les différents modes de compensation de l'énergie réactive	36
Figure III.6. Évolution de la consommation de l'énergie réactive Kvarh	40
Figure III.7. Évolution de la consommation d'énergie active	40
Figure III.8. Évolution du site industriel heures creuses	41
Figure III.9. Évolution du site industriel heures points	41
Figure III.10. Évolution du site industriel heures pleines	42
Figure III.11. Heures creuses 33% ; heures points 16% ; heures pleines 51%	42
Figure III.12. Évolution de la tangent ϕ	43
Figure III.13. Évolution de PMA	43
Figure III.14. Évolution du montant durant l'année (2020/2021/2022)	44
Figure III.15. Schéma représente le bon choix de tarification	45
Figure III.16. Évolution du montant dans chaque type de tarif	48

Liste des tableaux

Tableau.III.1. Consommation de l'énergie réactive des transformateurs	37
Tableau.III.2. Bilan de puissance du site industriel 2020	38
Tableau.III.3. Bilan de puissance du site industriel 2021	39
Tableau.III.4. Bilan de puissance du site industriel 2022	39
Tableau.III.5. Bilan de puissance du site industriel pendant 29 mois	39
Tableau.III.6. Tarifs de l'énergie active et réactive facture par kWh	45
Tableau.III.7. Prix de la puissance et la redevance fixe	46
Tableau.III.8 Somme d'énergie pendant (29 mois)	46
Tableau.III.9 Analyse tarif E41	46
Tableau.III.10 Analyse tarif E42	47
Tableau.III.11 Analyse tarif E43	47
Tableau.III.12. Analyse tarif E44	47
Tableau.III.13. Calcul de facteur (tarif E41-42-43-44)	48
Tableau.III.14. L'énergie total et le tangent pendant (29 mois)	49
Tableau.III.15. Le gain de la compensation pour ce site industriel	49
Tableau.III.16. Gain totale pour ce site industriel pendant (29 mois)	49

Nomenclature - Symbole – Acronymes

Mtep : Million de tonnes équivalent pétrole

M.D.E : Maîtrise de demande d'électricité

PV : Photovoltaïque

CSP : Énergie solaire concentrée

EnR : Énergies renouvelables

TR : Transformateur

BT : Basse tension

MT : Moyenne tension

HT : Haute tension

(C.E.M) : Compatibilité Électromagnétique

Kvarh : kilovoltampère réactif heure

PMA : Puissance maximum absorbée

PMD : Puissance mise à disposition

Introduction générale

L'énergie est devenue au cours d'un siècle un enjeu économique et stratégique majeure symbole de succès et de développement le progrès économique devrait se mesurer par l'augmentation régulière et illimitée de la production et la consommation de charbon de pétrole et de gaz et d'électricité.

Donc gérer l'énergie c'est mieux exploiter l'énergie disponible réduire sa consommation tout en conservant, le niveau de production, le confort, la continuité de service le secteur industriel représente environ le quart de la consommation énergétique finale du pays.

Pour plus d'efficacité énergétique il est prévu cofinancement des audits énergétiques et études de faisabilité qui permettront à l'entreprise de définir avec précision les solutions technico-économiques les mieux adaptées

En fait, il n'est plus suffisant de connaître les quantités d'énergie produites ou utilisées mais il est impératif de se donner les moyens nécessaires afin de pouvoir déterminer la manière la plus rationnelle dont cette énergie est mise à disposition et utilisée. Les informations mises à disposition, leur fiabilité et les démarches qu'elles entaillent, sont autant de paramètres nécessaires à la réussite de l'étude et à la mise en place des mesures qui seront définies. Cette étude énergétique a permis d'apercevoir un potentiel d'économie d'énergie.

Ce potentiel peut être réparti en trois catégories :

- Tarification et gestion des contrats de fourniture, cette catégorie d'actions est beaucoup plus intéressante car ne nécessitant presque pas d'investissement et dont l'effet est immédiat.

- De type organisationnel Des actions qui nécessitent des investissements plus importants mais dont la rentabilité est avérée. Cette catégorie d'action concerne l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations par l'amélioration du système de comptage et l'installation de nouveaux équipements.

- Afin d'éviter que les ressources économiques du pays ne soient gaspillées dans des systèmes surdimensionnés, il est pratiquement évident qu'il est important que les systèmes photovoltaïques soient dimensionnés en fonction des conditions météorologiques spécifiques de chaque zone.

Chapitre I

Rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique

I.1. Introduction

A l'évidence la maîtrise de l'énergie a été un des facteurs clés qui ont conduit au développement de l'humanité. La recherche de nouvelles sources d'énergie. Toujours plus abondantes et diversifiées.

Les démarches actuelles de réflexion, d'analyse et de débats du type quelle énergie pour demain ?

Sont non seulement légitimes mais indispensables.

Les tensions sur l'offre énergétique au regard des besoins. les craintes vis-à-vis de la sécurité de l'environnement. Les interrogations sur le modèle de développement économique. Le développement durable au niveau de notre planète s'inscrit dans une solidarité à la fois dans l'espace et dans le temps. Il ne peut y avoir de développement durable sans une utilisation saine. Appropriée et à un coût abordable, de l'énergie. Cela signifie qu'il faut : assurer les besoins énergétiques tout en réduisant les impacts environnementaux. Veiller à une gestion prudente et responsable des ressources non renouvelables. ce qui conduit à mettre en place une politique énergétique aux niveaux local, régional, national et international Il faudra donc tenir compte: maîtrises nécessaires des processus de transition entre les technologies d'aujourd'hui et celles de demain; des grandes échelles de temps associées à la conception. La réalisation et l'utilisation des infrastructures énergétiques ; de la nécessité d'une diffusion large de l'information conduisant à une acceptabilité raisonnée par le corps social.

Notons que la maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer dans les différents domaines d'activité le progrès technologique. L'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement, Pour cela la maîtrise de l'énergie fait l'objet de ce chapitre. [1]

I.2. Rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique en Algérie

Il est nécessaire d'avoir une vue globale sur la consommation nationale d'énergie. Cette dernière est orientée essentiellement sur la valorisation des hydrocarbures par le développement des capacités de recherche, d'exploration et de production de cette industrie. L'objectif visé est d'augmenter les exportations des produits des hydrocarbures bruts et leurs Dérivés. Ces produits contribuent à plus de 90% des recettes en devises pour l'Algérie ce qui les classe comme produits hautement stratégiques. Pour leur valorisation sur le plan interne.

Ces produits qui sont le pétrole et le gaz naturel sont utilisés pour améliorer le niveau de vie des populations et approvisionner l'industrie locale en produits énergétiques.

la croissance démographique l'évolution du mode de vie et le développement de l'urbanisation laisse présager une augmentation importante de la consommation d'énergie du secteur «en ménages et autres » qui comprend le secteur résidentiel agricole et les activités tertiaires était de 49%. Par produits. L'électricité vient en première position avec 35% de la consommation totale du secteur, suivie par le gaz naturel avec 25%. [2]

I.3. Concept de rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique

La consommation de l'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires ; à partir de 1850 la révolution Industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie. celle-ci ne cessait ensuite de croître de façon explosive sous l'effet conjoint de l'augmentation de la population mais les dernières hausses des prix du pétrole font réapparaître dans l'opinion publique, de nombreuses questions sur l'avenir énergétique des pays et les solutions à adopter. Par ailleurs l'épuisement inévitable des ressources en énergie fossiles puisque les études montrent que le pétrole sera la première source d'énergie qui s'épuisera vers les années 2040 /2050 dans moins de deux générations. L'uranium et le gaz naturel n'atteindront pas l'année 2075. Le charbon est plus abondant, mais ses ressources utiles ne dépassent pas deux ou trois cents ans. Pour cette raison une nouvelle stratégie ou bien une nouvelle politique rentre en jeu. C'est la maîtrise de l'énergie qui couvre trois aspects essentiels en premier. Elle vise une production efficace et propre de l'énergie par l'utilisation des systèmes qui ont de meilleurs rendements et dont les impacts sur l'environnement sont moindres. La maîtrise de l'énergie est d'éviter le gaspillage, en ne consommant que ce dont on a besoin en utilisant des appareils sobres en énergie et par des comportements qui suppriment les consommations inutiles. [3]

I.4. Politique algérienne de rationalisation et maîtrise de l'énergie électrique

Les études montrent qu'à l'horizon 2020 la production d'énergie primaire en Algérie suffirait à peine à couvrir les besoins du marché national. Afin de préserver et gérer de manière rationnelle ces ressources, le gouvernement algérien a adopté une loi sur la maîtrise de l'énergie ; loi n° 99-09 du 15 Rabiea Elthani 1420 correspondant au 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie P.3 (N°JORA : 051 du 02-08-1999).

L'objectif visé par cette loi est de rationaliser l'usage de l'énergie à la production, à la transformation et à la consommation finale. L'amélioration du cadre de vie par l'introduction de normes d'efficacité énergétique particulièrement dans le bâtiment sous : « Le titre : L'isolation thermique dans les bâtiments neufs » et la protection de l'environnement : sont autant d'éléments de la mise en œuvre de cette loi. Un audit énergétique est obligatoire et périodique pour établir le suivi et le contrôle de la consommation d'énergie des établissements grands consommateurs d'énergie dans les secteurs de l'industrie, transports résidentiels et du tertiaire, pour assurer l'optimisation énergétique de leur fonctionnement. Cette loi permettra non seulement l'économie de l'énergie, elle a aussi pour but de préserver les ressources et les réserves national d'hydrocarbure. Elle vise également à initier des actions pour la recherche. Le développement et l'utilisation des énergies renouvelables tel que: solaire. éolienne. hydraulique. Géothermie et biomasse. [4]

I.5. Energies renouvelables

Les énergies renouvelables sont toutes des énergies issues de l'activité du soleil. Soit sous forme de rayonnement direct (énergie solaire), soit par les cycles renouvelés de l'eau (énergie hydroélectrique), du vent (énergie éolienne) et de la biomasse (bois énergie biogaz). Et de la géothermie. On les oppose aux énergies fossiles qui sont disponibles sous forme de réserves alors que les énergies renouvelables sont des énergies de flux. L'utilisation des énergies renouvelables a prédominé jusqu'à la révolution industrielle au 18ème siècle. Elles ont commencé à être substituées par le charbon puis par l'exploitation intensive du pétrole et du gaz à partir du début du 19ème siècle. Cette tendance s'est poursuivie au 20ème siècle avec l'utilisation accrue des énergies fossiles et l'avènement du nucléaire. Ce n'est qu'à partir de 1973. Après le premier choc pétrolier, que certains pays industrialisés, par souci d'indépendance énergétique et de réduction des consommations, ont commencé à s'intéresser à nouveau aux énergies renouvelables. [5]

I.6. Les principales sources d'énergie renouvelables

1. Energie solaire
2. Energie hydraulique
3. Energie éolienne
4. Energie de la biomasse
5. Energie géothermique



Figure I.1 : Transition énergétique mondiale : Les énergies renouvelables représentent l'avenir.

[6]

I.6.1. Énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie dont la matière première est le soleil. elle est gratuite, inépuisable et en plus, disponible dans le monde entier. Synonyme d'écologie, cette source d'énergie est en plus propre, c'est-à-dire qu'elle n'émet aucun gaz à effet de serre. Depuis la nuit des temps, on utilise l'énergie issue du soleil pour apporter de la chaleur et le maximum de lumière naturelle dans les maisons. Simple, la technique tient compte de l'architecture, l'orientation et les matériaux du bâtiment de manière à ce que celui-ci soit chauffé et éclairé par l'énergie solaire passive.

I.6.1.1. Les différents types d'énergie solaire

Il faut dire que les techniques d'exploitation de l'énergie solaire n'ont cessé de s'améliorer au fil des années. Aujourd'hui, on compte trois types d'énergie solaire catégorisés selon leurs méthodes de production :

❖ L'énergie solaire thermique

Technique consiste à utiliser la chaleur fournie par le soleil comme source de chaleur d'une centrale thermique. Puisque les rayons du soleil frappant naturellement la terre provoque des températures inférieures à 50°C. On doit concentrer les rayons du soleil pour obtenir une température suffisamment élevée pour entraîner une machine thermodynamique généralement une chaudière, qui actionnera ensuite une génératrice qui finalement produira l'électricité. .



Figure I. 2 : Panneaux solaire thermique.

❖ L'énergie solaire photovoltaïque

Si l'énergie solaire thermique est obtenue par la chaleur du soleil, **l'énergie Solaire photovoltaïque** l'est par l'énergie même du rayonnement solaire. Autrement dit, les panneaux photovoltaïques, souvent installés sur le toit, recueillent les photons du soleil et les transforment en électricité. Ces panneaux photovoltaïques sont composés d'une superposition de couches de cellules dont l'une est chargée négativement et l'autre positivement. Dès qu'un photon traverse ces couches, il produit une tension électrique. Il ne reste plus qu'à raccorder un fil à la borne négative et un autre à la borne positive pour exploiter l'électricité produite. En gros, l'énergie solaire photovoltaïque fonctionne comme une pile.



Figure I. 3 : Panneaux solaire photovoltaïque.

❖ L'énergie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique, quant à elle, est produite par des centrales solaires à concentration. Cet équipement est composé de miroirs avec des fluides caloporteurs et d'un générateur d'électricité solaire. Tout comme les panneaux solaires thermiques, ces miroirs transforment l'énergie apportée par le rayonnement solaire en chaleur, mais à une température considérablement plus élevée. Cette dernière peut, d'ailleurs, aller de 250 à 800° en fonction des techniques utilisées. La chaleur ainsi obtenue va, ensuite, être convertie en énergie électrique en activant le turbo-alternateur.



Figure I. 4 : Panneaux solaire thermodynamique.

➤ **Perspective de l'Énergie solaire en Algérie :**

Par sa situation géographique. L'Algérie dispose l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5kw/h sur la totalité du territoire national. Soit près de 1700 (kW/h/m²)/an au Nord et 2263 (kWh/m²)/an au sud.

I.6.2. Énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est renouvelable non polluante. Cette énergie est captée et stockée dans des barrages ensuite elle est transformée, au moyen d'une turbine entraînée par l'eau, qui entraîne un alternateur produisant ainsi de l'électricité. Cette dernière est ensuite envoyée dans le réseau ou elle est vendue. Il existe deux types en utilisant :

- a) **La pression de l'eau dans le cas d'une conduite forcée pour les captages en altitude** (Torrent ou contrebas d'un barrage).
- b) **Le débit de l'eau pour le captage en surface. L'un des avantages de cette source d'énergie est qu'elle est facile à stocker en accumulant des masses d'eaux à l'aide de barrages.**

➤ **Perspective de l'Énergie Hydraulique en Algérie :**

Les quantités globales d'eau tombant sur le territoire Algérien sont importantes et estimée à 65 milliards de m³/an. mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation. Concentration sur des espaces limités, forte évaporation, Évacuation rapide vers la mer, nombre réduit de retenues et de barrages.

On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³ dont environ 2/3 pour les ressources de surface. Actuellement il Ya 48 barrages en exploitations.



Figure I.5 : Barrage hydraulique.

I.6.3. Energie éolienne

L'énergie éolienne utilise la force du vent qui en faisant tourner les pales de l'éolienne. Entraîne un alternateur et produit ainsi de l'électricité. Celle-ci peut être soit stockée dans des batteries. Soit envoyée sur le réseau comme c'est le cas pour le photovoltaïque. La puissance d'une éolienne augmente avec le diamètre des pales et la vitesse du vent. Développement de la technologie les éoliennes modernes sont fiables et silencieuses.

Elles développent des puissances supérieures au mégawatt de plus elles délivrent une énergie électrique à un prix très concurrentiel. Par rapport au nucléaire ou au thermique classique

- **Éolienne à Axe Horizontal**

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus utilisées dans le monde. Probablement pour leur simplicité et leur coût moins élevé. Leur principe de fonctionnement est relativement simple une hélice composée de pâles actionne un alternateur directement relié à l'arbre en rotation pour obtenir un rendement maximal on installe l'éolienne en hauteur là où les vents sont plus forts. Peu importe le type d'éolienne. C'est la surface balayée par les pâles qui détermine la puissance fournie par le vent. C'est pourquoi on utilise généralement peu de pâles mais on allonge la longueur de celles-ci. On peut ainsi atteindre des diamètres de 70-80 m avec des mâts allant jusqu'à 100 m. .



Figure I.6 : Éolienne horizontale.

- **Éolienne à Axe Vertical**

La plus grande éolienne à axe vertical de Cap-Chat dans le monde est de 110 m de hauteur équivalent à un édifice de 30 étages. Il s'agit d'une éolienne à axe vertical de type Darrieus. Ce principe omnidirectionnel à l'avantage de capter les vents d'où qu'ils viennent. Sans nécessiter de mécanisme d'orientation. Par contre l'éolienne est lourde qu'il faut un moteur électrique pour lancer sa rotation car même des vents forts ne suffisent pas à la faire démarrer. Son avantage est sa grande puissance de 4 MW. Ce qui lui permet d'alimenter jusqu'à 800 maisons.[7]



Figure I.7 : Éolienne verticale.

➤ **Perspective d'Énergie Éolienne en Algérie :**

L'Algérie a un régime de vent modéré (2 à 6 m/s) ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur le haut plateau.

I.6.4. Énergie biomasse

La biomasse représente à peu près n'importe quelle matière organique possible (copeaux de bois. plantes. déchets. etc). Le principe de génération d'énergie est quasi-identique à une usine thermique traditionnelle sauf que le combustible est un combustible organique et non du charbon, du pétrole ou du nucléaire. Quand on parle de biomasse. On parle souvent de cogénération. La cogénération implique que de l'électricité et de la chaleur sont produites. Il y a deux façons d'utiliser la biomasse.

Consiste à brûler la substance en y ajoutant 2 ou 3% d'huile lourde. La chaleur produite produit de la vapeur d'eau sous pression dans une chaudière. On utilise ensuite cette vapeur pour faire tourner les génératrices et ainsi produire de l'électricité. Il est ensuite possible de récupérer l'énergie de la vapeur pour chauffer des bâtiments ou toute autre application nécessitant une énergie thermique.

façon d'exploiter la biomasse est de décomposer la matière à l'aide d'enzymes et de bactéries pour produire un gaz semblable au gaz naturel. On utilise ensuite ce gaz pour alimenter des réacteurs qui entraînent des génératrices. On récupère ensuite l'énergie thermique dégagée des réacteurs pour d'autres applications. L'avantage de la biomasse est le très faible taux de pollution. de plus. le fait de récupérer des déchets non utilisés pour en tirer profit est très populaire socialement. Son seul inconvénient majeur est que la chaleur produite doit être consommée localement.



Figure I.8 : Énergie biomasse.

➤ **Perspective de l'Énergie de la Biomasse en Algérie :**

Potentiel de la forêt : le potentiel actuel est évalué à environ 37 M tep (tonnes équivalent Pétrole). Le potentiel récupérable est de l'ordre de 10 % Potentiel énergétique des déchets urbains et agricoles : 5 M de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1.33M tep/an.0

I.6.5. Énergie géothermique

L'énergie géothermique est l'énergie calorifique stockée sous la surface terrestre. Les profondeurs de la terre recèlent d'énormes quantités de chaleur naturelle dont l'origine réside essentiellement dans la désintégration d'éléments radioactifs. Selon les Connaissances actuelles, les températures culminent à 6000°C dans le noyau et atteignent jusqu'à 1300°C environ dans le manteau supérieur du globe terrestre. Le flux géothermique qui parvient à la surface du globe dépasse 40 milliards de KW.

Plus de 99 % de la masse de notre Terre est soumise à des températures dépassant 1000 °C. Seul 01% est plus froid que 100 °C. Le principe de la géothermie consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité.

On distingue quatre types de géothermie :

la haute (>180°C), la moyenne (entre 100 et 180°C), la basse (entre 30 et 100°C) et la très basse Énergie (<30°C). Les sites géothermiques à haute et moyenne température permettent la Production d'électricité. Tandis que la production de chaleur est obtenue à partir des sites géothermiques de basse (utilisation des nappes d'eau chaude du sous-sol profond.) .

➤ **Perspective de l'Énergie Géothermique en Algérie :**

Plus de 200 sources sont répertoriées dans la partie nord de l'Algérie. Un tiers (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra, des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100 m. Zone de Relizane et Mascara ; Zone de Ain Boucif et Sidi Aissa (Sétif) ; Zone de Guelma (Djebel El Onk).

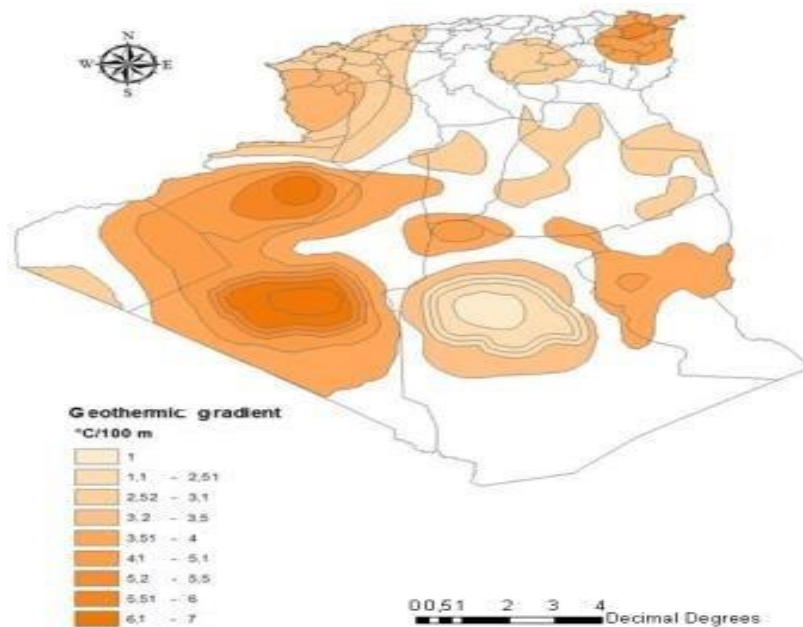


Figure I.9 : Carte de gradient géothermique du Sud algérien.

I.7. Efficacité Énergétique

Le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale. L'objectif de l'efficacité énergétique consiste à produire les mêmes biens ou services, mais en utilisant le moins d'énergie possible. Ce programme contient des actions qui privilégient le recours aux formes d'énergie les mieux adaptées aux différents usages et nécessitant la modification des comportements et l'amélioration des équipements. .[8]

I.7.1. Le plan d'action en rationalisation et matière d'efficacité énergétique

- ❖ **Isolation thermique des bâtiments :** En Algérie. Le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation final Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour ce secteur portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettra de réduire d'environ 40% la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements.
- ❖ **Développement du chauffe-eau solaire :** La pénétration du chauffe-eau solaire (CES) en Algérie reste embryonnaire mais le potentiel est important. Il est prévu, dans ce sens, le développement du chauffe-eau solaire en le substituant progressivement au chauffe-eau traditionnel. L'acquisition d'un chauffe-eau solaire est soutenue par le fonds national pour la maîtrise de l'énergie.
- ❖ **Généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie :** L'objectif assigné à la stratégie d'action est l'interdiction graduelle de la commercialisation des lampes à incandescence (lampes classiques couramment utilisées par les ménages) sur le marché national à l'horizon 2020. En parallèle, il est prévu la mise sur le marché de quelques millions de lampes à basse consommation. Par ailleurs, la production locale des lampes à basse consommation sera encouragée, notamment, par le recours au partenariat entre les producteurs locaux et étrangers.
- ❖ **Introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public :** Le poste éclairage public est l'un des postes les plus énergivores du patrimoine des collectivités locales. Souvent, les responsables de ces collectivités sont très peu informés des possibilités d'amélioration, voire de réduction de la consommation énergétique de ce poste.
- ❖ **Promotion de l'efficacité énergétique dans le site industriel :** Le site industriel Représente environ le quart de la consommation énergétique finale du pays. Pour plus d'efficacité énergétique, il est prévu : Le cofinancement des audits énergétiques et des études de faisabilité qui permettront aux entreprises de définir avec précision les solutions technico-économiques les mieux adaptées pour réduire leur consommation énergétique; Le Cofinancement des surcoûts liés à l'introduction de l'efficacité énergétique pour les projets viables techniquement et économiquement.

❖ Introduction des Principales Techniques de Climatisation Solaire :

L'utilisation de l'énergie solaire pour la climatisation est une application à promouvoir particulièrement au Sud du pays. D'autant que les besoins en froid coïncident la plupart du temps, avec la disponibilité du rayonnement solaire (fonctionnement au fil du soleil). Par ailleurs, le champ de capteurs solaires pourrait aussi servir à la production d'eau chaude sanitaire et au Chauffage des locaux pendant la saison froide. Le rendement global de l'installation est de ce fait très intéressant. d'ici 2013, des études ont été lancées pour s'approprier et maîtriser les Techniques de rafraîchissement solaire et permettront de retenir le système le mieux adapté au Contexte algérien. deux projets pilotes de climatisation par machine à absorption et par machine à adsorption porteront sur la climatisation solaire de bâtiments au sud de pays. [12]

I.8.Utilisation rationnelle de l'énergie électrique

I.8.1. Dans les bâtiments

L'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments pour objectif la satisfaction des Besoins des utilisateurs à confort égale mais à consommation d'énergie moindre. Les fonctions énergétiques dans un bâtiment sont classées de point de vue de leur consommation

En deux catégories :

- Les fonctions générales qui correspondent à 80% de la consommation (chauffage Climatisation. Éclairage et production de l'eau chaude sanitaire) ;
- Les fonctions spécifiques ou auxiliaires (ventilation, énergie mécanique et cuisson, froid.)
- Utilisation des équipements électroniques professionnels ou domestiques Pour cette raison
- Une politique de maîtrise de l'énergie dans ce secteur est nécessaire et doit cibler au préalable les postes les plus énergétivores en l'occurrence l'éclairage, la réfrigération et la climatisation.
- Les expériences internationales démontrent que le gisement d'économie d'énergie est immense.
- Les solutions techniques sont disponibles quant à elles et progressent du point de vue efficacité énergétique, de nouvelles générations de réfrigérateurs permettent de diviser par deux voire par quatre la consommation actuelle puisque le réfrigérateur représente souvent un tiers de la facture Électrique. Un poste qui n'est donc pas à négliger. Quant aux lampes fluo compactes ou bien lampes basse consommation. Déjà mises sur le marché. Elles consomment entre quatre et cinq fois moins d'énergie que les lampes à incandescence. leurs prix d'achat est supérieur à celui des lampes traditionnelles mais la différence de prix est largement amortie par la durée de vie supérieure et la réduction 80% de la facture énergétique. .

- En plus de ces équipements performants un changement des comportements permettrait également d'économiser l'énergie. De petits gestes quotidiens comme l'arrêt des appareils en veille (la télévision, le magnétoscope et le décodeur d'antenne parabolique.) peuvent éviter le gaspillage d'énergie.
- Pour cette raison et dans le cadre de la maîtrise de l'énergie en Algérie. Près de 600 000 foyers algériens ont participé à l'opération " éteindre une seule ampoule inutile" initiée samedi le 29 Novembre 2003 soir à 21 heures par l'entreprise SONELGAZ en direct sur les écrans de la télévision nationale. Un "geste simple" qui a permis dans les cinq minutes qui ont suivi le signal donné à 21h15, de faire baisser la courbe de charge de 24 M w par minute à 6 M w par minute au dispatching national. [9]

❖ Les procédures de minimiser la facture dans les foyers des bâtiments

a) Éclairage

- * N'usez de l'éclairage qu'en cas de nécessité.
- * Adaptez la puissance des lampes d'après les besoins (utilisation des Lampes à Basse Consommation ' LBC' de préférence).
- * Utilisez la lumière du jour lorsque cela est possible.

b) Froid et réfrigération

- * Gardez la portière de votre réfrigérateur fermée d'une façon hermétique et évitez de l'ouvrir constamment et inutilement (consomme de l'énergie à cause des déperditions)
- * Evitez d'y mettre des aliments trop chauds. laissez les refroidir. le thermostat doit être réglé d'une manière à obtenir une température ni excessivement basse ni trop élevée.

c) Chauffage

- * Evitez de surchauffer votre intérieur en limitant la température à 20°C
- * Optez pour le chauffage à gaz au lieu de l'électricité. ce dernier est plus coûteux.
- * Gardez les portes et les fenêtres fermées lors du fonctionnement du chauffage.

d) Climatisation

- * Evitez l'excès de froid. limitez à 6 °C au plus l'écart entre la température extérieure et celle de la pièce climatisée
- * Choisissez votre climatiseur selon le volume de votre habitation.
- * Maintenez les portes et les fenêtres fermées afin de limiter la durée fonctionnement de votre climatiseur d'augmenter sa durée de vie et de conserver la fraîcheur au sein de l'intérieur,

I.8.2. Dans l'industrie

L'une des principales options de la maîtrise de l'énergie de Juillet 1999 est L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le secteur industriel. On adopte que les actions de la Maîtrise de l'énergie dans les entreprises portant généralement sur :

a) Réduction des pertes dans les lignes électriques

Les normes qui définissent les règles d'installation électrique précisent entre autres. Les intensités à ne pas dépasser en régime continu dans les canalisations. Au-delà l'échauffement des conducteurs serait tel que les isolants atteindraient des températures incompatibles avec leur bonne conservation. Mais. si les normes interdisent de franchir ces limites dangereuses, elles ne conseillent pas pour autant de les atteindre car, en réalité. faire fonctionner les canalisations sous ces conditions équivaldrait dans de nombreux cas à un gaspillage d'énergie inadmissible. Ceci serait particulièrement grave dans les cas, aujourd'hui Courants, ou' l'on utilise des câbles protégés par certains isolants modernes possédant une excellente tenue à la chaleur. Dans les canalisations basses tension, il paraît raisonnable: d'une part, d'admettre en fonction des sections des conducteurs. des valeurs de courant telle qu'un juste équilibre soit toujours respecté entre la consommation de cuivre ou d'aluminium et la consommation d'énergie. Et d'autre part, de limiter les chutes de tension, aussi bien pour la force motrice que pour l'éclairage à des valeurs telle que ces chutes de tension ne Correspondent jamais à des pertes d'énergie exagérées même pour les canalisation.

b) Compensation de l'énergie réactive

Réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée). Cette énergie se décompose en deux formes d'énergie : l'énergie active, transformée en énergie mécanique (travail) et en chaleur (Pertes) ; l'énergie réactive. Utilisée pour créer des champs magnétiques. Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs asynchrones, les transformateurs ; les inductances (ballasts de tubes fluorescents) et les convertisseurs statiques (redresseurs). [10]

Dans l'entreprise, la plupart des récepteurs électriques consomment de l'énergie active transformée en énergie thermique, mécanique ou lumineuse et de l'énergie réactive alimentant les circuits magnétiques. L'énergie réactive réduit l'efficacité globale des réseaux de distribution, entraîne un surdimensionnement des installations et implique une augmentation de la facture d'électricité. L'énergie réactive n'est facturée qu'à partir d'un certain seuil correspondant à 50% de l'énergie active consommée. La mise en place d'une installation de compensation permet de supprimer les coûts tout en augmentant les Performances des équipements électriques de l'entreprise. La maîtrise de l'énergie réactive .

Permet :

- ✓ Une augmentation de la puissance disponible ;
- ✓ Une diminution des pertes d'énergie ;
- ✓ Une réduction des chutes de tension ;
- ✓ Une diminution des coûts d'électricité.

I.9. Conclusion

De toutes les formes d'énergie, l'énergie électrique est la plus flexible. alors la part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie continue de croître. La gestion de l'énergie qui doit être notée est l'une des composantes de la gestion de l'énergie Prenez le contrôle total de l'énergie. Le développement de nouvelles technologies apporte Des solutions performantes pour maîtriser cette énergie. Les énergies renouvelables présentent plusieurs avantages :

- Plus les sources sont diversifiées, plus l'indépendance énergétique est assurée.
- Favorise la décentralisation des petites unités de production locales.
- Facile à installer, utiliser et combiner plusieurs sources en même temps.
- Aucune émission de CO2 pour la plupart des méthodes.
- Coût du kWh fixe, faible et stable.
- Les investissements et les rendements sont prévisibles à long terme.

Chapitre II

Système photovoltaïque

II.1. Introduction

Les systèmes photovoltaïques sont conçus autour de la cellule photovoltaïque. Comme une cellule photovoltaïque typique produit moins de 3 watts à environ 0,5 volt dc, les cellules doivent être connectées en série et en parallèle pour produire suffisamment d'énergie pour les applications de forte puissance. Comme les panneaux photovoltaïques ne produisent de l'énergie que lorsqu'ils sont éclairés, les systèmes photovoltaïques utilisent souvent un mécanisme de stockage de l'énergie afin que l'énergie électrique captée puisse être mise à disposition ultérieurement. Le plus souvent, le mécanisme de stockage est constitué de batteries rechargeables, mais il est également possible d'utiliser des mécanismes de stockage plus exotiques. Si le système PV ne produit pas l'énergie adéquate, alors le système aura besoin d'un contrôleur pour faire fonctionner le système de secours. Il est également possible que le système photovoltaïque soit interconnecté au réseau électrique. De tels systèmes peuvent livrer l'énergie PV excédentaire au réseau ou utiliser le réseau comme système de secours en cas de production PV insuffisante. Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et en optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi que les différentes configurations des systèmes Photovoltaïques existé. .[11]

II.2. L'effet photovoltaïque

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité. Cette opération repose sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce mécanisme a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel mais il n'a été expliqué que près d'un siècle plus tard par Albert Einstein, ce qui lui a valu le Prix Nobel de physique en 1921. De façon très schématique, l'effet photovoltaïque permet à certains matériaux d'émettre des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Une cellule photovoltaïque est constituée d'une de ces matériaux, généralement du silicium, et conçue de telle façon que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être exploité, cet assemblage de cellules est appelé module photovoltaïque ou, plus souvent, panneau solaire. .[12]

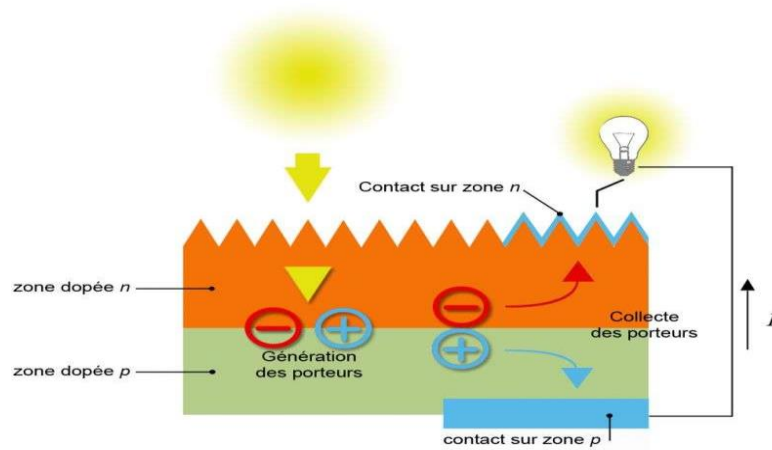


Figure II - 1 : Représentation schématique d'une cellule solaire

II.3. La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, également dénommée cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et dépend du rendement de la cellule. Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à un circuit électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie).

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et séléniure d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée. [13]

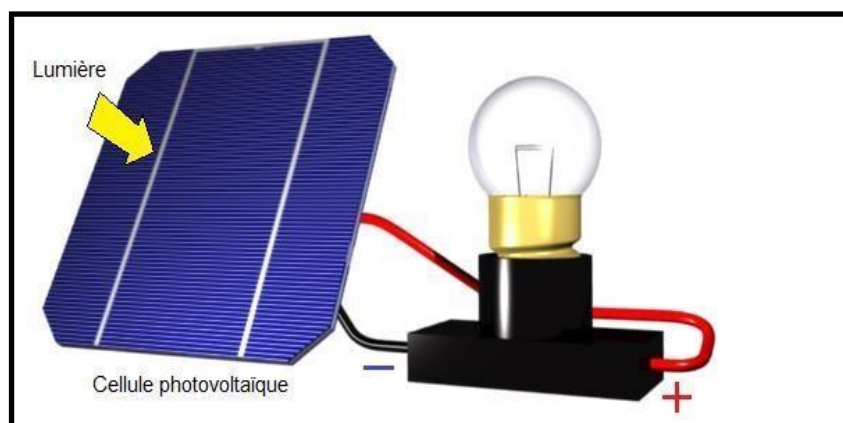


Figure II .2. Une cellule photovoltaïque.

II.3.1. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe :

- Tension à vide V_{oc} : Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Courant court-circuit I_{cc} (I_{sc}) : Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Point de puissance maximal MPP : (en anglais : maximum power point) obtenu pour une tension et un courant optimal : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mp} , I_{mp}).[14]

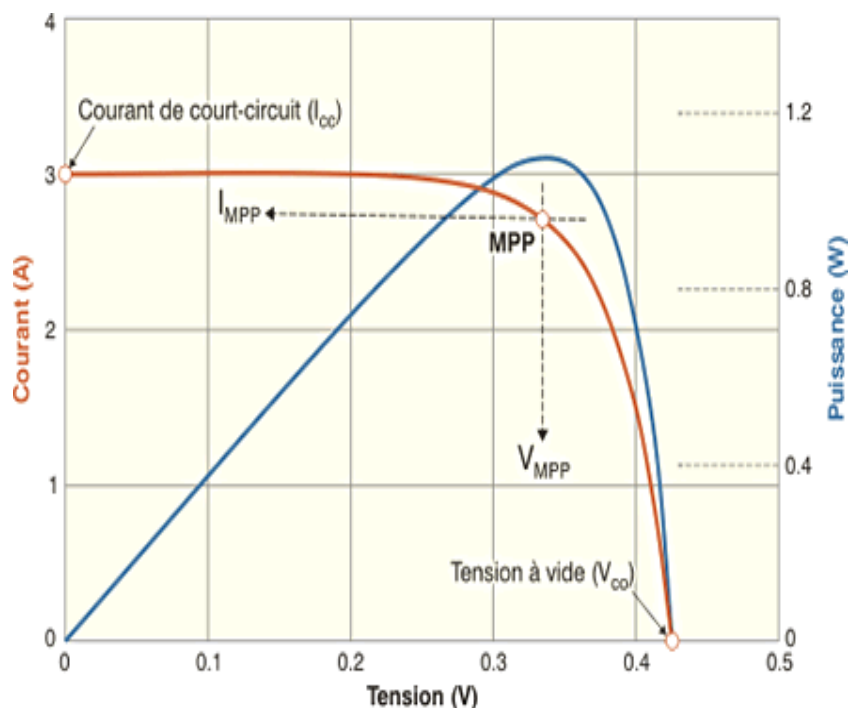


Figure II - 3 : Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque

II.3.2. Influence de l'éclairage et la température sur les courbes $I = f(V)$

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que : la puissance, le courant de court-circuit I_{cc} (I_{sc}) ou la tension en circuit ouvert V_{co} . Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un I_{cc} (I_{sc}) et un V_{co} désirés.

La figure (II-4) montre l'influence de l'éclairage sur la caractéristique $I = f(V)$. À une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairage alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique.

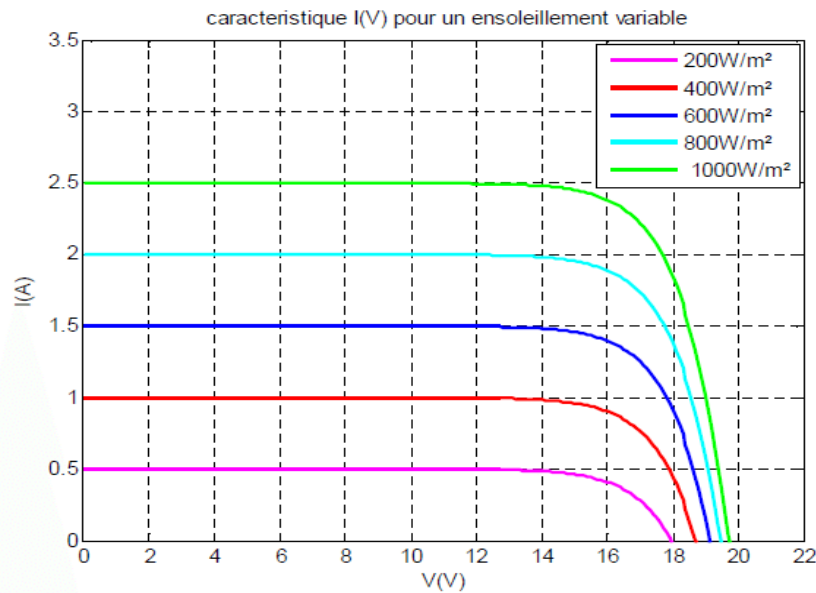


Figure II - 4 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I=f(V)

La figure (II-5) montre l'influence de la température sur la caractéristique I=f(V). Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique I=f(V). Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

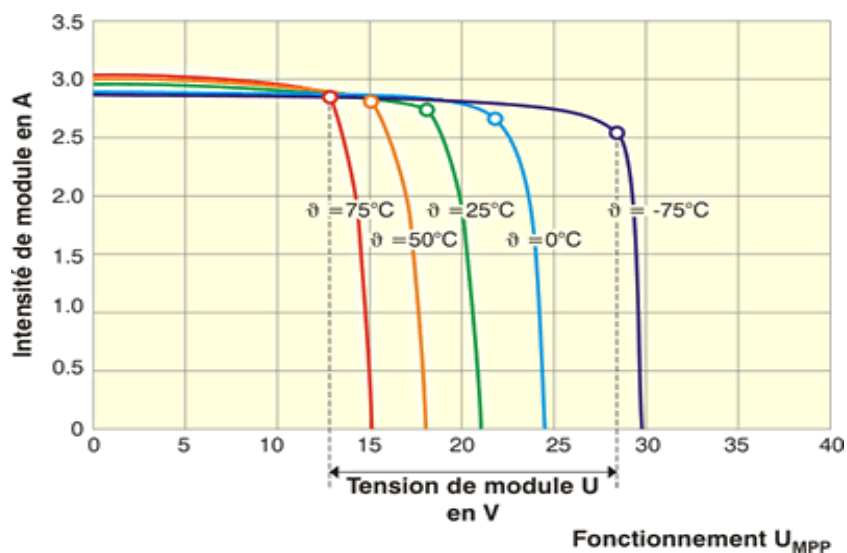


Figure II - 5 :L'influence de la température sur la caractéristique I=f(V)

II.4.Les types des systèmes photovoltaïques

Il existe quatre configurations différentes parmi lesquelles nous pouvons choisir lors de la création d'une installation d'électricité solaire PV. Il s'agit des configurations suivantes : autonome (parfois appelée "hors réseau"), couplée au réseau (On grid), couplée au réseau avec alimentation de secours (également appelée "réseau interactif") et de repli du réseau. [15]

coupure de courant, l'énergie de notre installation solaire est également coupée. Le raccordement au réseau peut fonctionner particulièrement bien dans les climats chauds et ensoleillés, où les pics de demande d'électricité du réseau coïncident souvent avec l'ensoleillement, grâce à la forte demande d'énergie des unités de climatisation. Le système fonctionne également bien lorsque les propriétaires utilisent eux-mêmes la majeure partie de l'électricité. .

II.4.3. Couplée au réseau avec alimentation de site industrie (grid interactive)

Grid-tie with power backup - également connu sous le nom de système interactif, c'est une installation Couplée au réseau avec un banc de batteries. Comme dans le cas du raccordement au réseau, le concept consiste à utiliser l'énergie de notre panneau solaire lorsque le soleil brille et à vendre le surplus aux compagnies d'électricité. Contrairement à un système de connexion au réseau standard, une banque de batteries permet de faire face aux coupures de courant afin que nous puissions continuer à utiliser l'énergie de notre système.

En général, nous installons des "circuits protégés" dans notre bâtiment qui continueront à recevoir du courant pendant une panne de courant. Cela permet de garantir que l'énergie essentielle reste disponible pour les feux de circulation, les régulateurs de réfrigération et de chauffage, par exemple, tandis que l'énergie de secours n'est pas gaspillée pour des éléments essentiels tels que les télévisions et les radios. S'il existe un risque de perte de l'alimentation principale pendant plusieurs jours, il est également possible de concevoir un système permettant d'intégrer d'autres générateurs d'électricité dans un système interactif. Cela permettrait à un système interactif de réseau de fonctionner comme une alimentation électrique ininterrompue très efficace pendant de longues périodes. Le coût d'un système de raccordement au réseau avec alimentation de secours est plus élevé qu'un système de raccordement au réseau standard, en raison du coût supplémentaire des batteries et des contrôleurs de batterie. En règle générale, l'alimentation de secours ajoute de 12 à 20 % aux coûts supplémentaires par rapport à un système de raccordement au réseau standard. Comme pour les systèmes de raccordement au réseau normaux, il est possible de revendre le surplus d'énergie aux sociétés de services publics en certains pays, nous permettant de tirer un revenu de notre système d'énergie solaire. .

II.4.4. Repli sur le réseau

Le repli sur le réseau est un système moins connu qui a beaucoup de sens pour les petits systèmes d'énergie solaire domestique. Avec un système de repli sur le réseau, le panneau solaire produit de l'électricité qui, à son tour, charge un banc de batteries. L'énergie est prélevée de la batterie et passent par un onduleur pour alimenter un ou plusieurs circuits à partir du panneau de distribution de la maison. lorsque les batteries sont à plat, le système revient

automatiquement au réseau électrique. le panneau solaire recharge alors les batteries et le système repasse à l'énergie solaire. Avec un système de repli sur le réseau, nous ne revendons pas l'électricité aux compagnies d'électricité. Toute l'électricité que nous produisons, nous l'utilisons nous-même. Cela signifie que certaines des subventions disponibles pour les installations solaires dans certains pays peuvent ne pas être disponible pour vous. Cela signifie également que vous ne pouvez pas bénéficier de la revente de votre électricité aux compagnies d'électricité. C'est pourquoi le repli sur le réseau est plus judicieux dans les pays où il n'existe pas de tarif de rachat, comme en Inde, ou comme l'Australie qui offrent des incitations financières pour les systèmes raccordés au réseau ou hors réseau. Les systèmes de repli sur réseau offrent la plupart des avantages d'un système interactif de réseau, avec l'avantage supplémentaire que nous utilisons notre propre énergie lorsque nous en avons besoin, plutôt que lorsque le soleil brille. Nous réduisons ainsi notre dépendance à l'égard des approvisionnements en électricité externes pendant les périodes de pointe, ce qui garantit que notre système présente un avantage global pour l'environnement.

En général : les systèmes autonomes et les petits systèmes de repli de réseau fonctionnent à basse tension, généralement entre 12 et 48 volts. Cela s'explique par le fait que les batteries sont des unités à basse tension et que la construction d'un système autonome à basse tension est donc une approche simple, flexible et sûre. Les systèmes de raccordement au réseau sont généralement des installations plus importantes, qui produisent souvent plusieurs kilowatts d'électricité par heure. Comme l'électricité est requise sous forme de courant haute tension, il est plus efficace de connecter plusieurs systèmes solaires pour produire un circuit à haute tension, plutôt que d'utiliser un onduleur pour augmenter la tension. Ce courant continu à haute tension est ensuite converti en courant alternatif par un onduleur adapté.

Les systèmes de connexion au réseau relient plusieurs panneaux photovoltaïques entre eux pour produire une tension de plusieurs centaines de volts avant de les relier à l'onduleur, ou bien ils ont un petit onduleur connecté à chaque panneau solaire pour créer une alimentation haute tension en courant alternatif à partir de chaque panneau. L'avantage de cette haute tension est l'efficacité. Il y a moins de pertes de puissance de faire passer de l'électricité à haute tension et à faible courant par les câbles du champ solaire. Pour les systèmes autonomes basés sur des batteries, la basse tension est la meilleure solution, car les batteries ont tendance à mieux fonctionner en tant que réserves d'énergie à basse tension. Pour les systèmes reliés au réseau où l'énergie n'est pas stockée dans un banc de batteries, les systèmes à haute tension sont la meilleure solution. Aucune des deux approches n'est intrinsèquement "meilleure" : tout dépend du type de système que nous concevons. .

II.5.Conclusion

On a étudié dans ce chapitre le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. Ensuite on a présenté les types des systèmes PV existé donc on peut conclure que :

- L'énergie solaire peut être utilisé de différentes manières et pour de nombreuses applications différentes,
- Les systèmes autonomes sont les plus simples et les plus faciles à comprendre. Ils ont tendance à être des systèmes relativement petits, fournissant de l'énergie là où aucune autre source d'énergie n'est facilement disponible,
- Avec le raccordement au réseau, notre système d'énergie solaire produit de l'électricité qui est ensuite utilisée normalement. tout excédent de production d'électricité est exporté versle réseau,
- Le système de raccordement au réseau avec alimentation de secours (également appelé réseau interactif) nous offre les avantages d'un système de raccordement au réseau, avec l'avantage supplémentaire que l'électricité reste disponible même si l'alimentation de notre région est coupée,
- Les systèmes de repli du réseau ont plus de points communs avec les systèmes autonomes que les systèmes de raccordement au réseau. de par leur conception, ils sont très similaires aux systèmes autonomes.

Chapitre III

Analyse de la consommation d'énergie électrique et les gains obtenus

III.1. Introduction :

La prévision de la consommation d'énergie est une tâche très importante tant pour les consommateurs que pour les producteurs, dans ce chapitre nous analyserons la consommation d'énergie (électricité) pour une période bien définie (de janvier 2020 à mai 2022). On a appris que ces factures « Factures de Consommation d'Electricité » ont été obtenues auprès de la direction de Sonelgaz.)

III.2. Qualité d'énergie électrique

Les critères de qualité de l'électricité sont directement issus de l'observation des Perturbations électromagnétiques des réseaux électriques. On parle de Compatibilité Electromagnétique (C. E. M.) afin de caractériser l'aptitude d'un appareil, d'un dispositif, à fonctionner normalement dans un environnement électromagnétique sans produire lui-même des perturbations nuisibles aux autres appareils ou dispositifs. La (C.E.M) classe ces perturbations selon deux groupes :

Ø basses fréquences (< 9 kHz),

Ø hautes fréquences (> 9 kHz).

De manière générale, les perturbations en électrotechnique appartiennent à la basse fréquence. Les phénomènes observés sont nombreux : creux de tension et coupures, surtensions, fluctuations de la tension (flicker), variations de la fréquence, déséquilibres du système triphasé, harmoniques et inters harmoniques. .[16]

III.2.1. Évaluation de la qualité d'énergie

La qualité de l'énergie électrique intéresse à la fois le fournisseur et le consommateur. Le fournisseur d'énergie électrique à l'obligation de transport et de distribution, qu'il gère, certains paramètres de qualité. La valeur de la fréquence avec les limites de variations admises en différents régimes du fonctionnement et la continuité de l'alimentation des consommateurs avec de l'énergie électrique. Le consommateur d'énergie, à son tour, est intéressé d'avoir une qualité adéquate de l'énergie mais, en même temps, il est impliqué dans le maintien de la qualité par le type de récepteur utilisé et par l'exploitation judicieuse de ceux-ci. Les principales influences négatives produites par les récepteurs des consommateurs concernent la production d'harmoniques de courant et de tension, tout comme le fonctionnement en régies non symétriques, déséquilibrés La qualité de l'énergie électrique aux bornes des récepteurs est évaluée principalement, conformément aux normatifs d'écarts admissibles de la valeur réelle des paramètres des valeurs nominales.

III.3. Harmoniques

les harmoniques : sont des signaux de fréquence multiple de la fréquence industrielle. Ils sont générés par des charges dites non-linéaires. Certains appareils ne présentent pas une impédance constante durant la durée de l'alternance de la sinusoïde de tension à 50 Hz. Ils absorbent alors un courant non sinusoïdal qui se propage dans le réseau et déforme ainsi l'allure de la tension. Une tension ou un courant déformé par rapport à la sinusoïde de référence peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence multiples à celle du fondamental. .

les inter harmoniques : sont des signaux non multiples de la fréquence industrielle. Les variateurs de vitesses pour machines asynchrones, les fours à arcs sont les principaux générateurs d'inter harmonique. .

III.4. Distorsion harmonique

a) Quelques rappels

Un signal périodique de tension ou de courant de forme et de fréquence f quelconques est décomposé en la somme de signaux sinusoïdaux ayant chacun une fréquence dite harmonique, qui est un multiple entier de la fréquence fondamentale f . Ce multiple s'appelle le niveau harmonique. Les composantes harmoniques sont généralement exprimées en pourcentage de la quantité fondamentale correspondante. C'est le taux d'harmoniques. Le taux d'harmoniques en un point du réseau est la somme des perturbations générées par différentes sources d'harmoniques, principalement les équipements électroniques et les charges non linéaires. Les moteurs synchrones et les transformateurs saturés sont également des sources de pollution harmonique. [17]

On peut citer

- ❖ les convertisseurs de puissance,
- ❖ les convertisseurs de fréquence (variateurs de vitesse),
- ❖ les onduleurs,
- ❖ les moteurs asynchrones,
- ❖ les postes à souder,
- ❖ les microordinateurs et imprimantes,
- ❖ et en général tous les appareils commandés par des thyristors ou comportant des alimentations à découpage.

Les réseaux électriques industriels produisent essentiellement des harmoniques de rang Impaire. qui affectent le signal de façon symétrique. Par ailleurs. L'étude des harmoniques S'effectue généralement entre 100 Hz (harmonique de rang 2) et 2500 Hz (harmonique de Rang 50).

Il excite aussi d'autre type d'harmonique tel que:

- Inter harmoniques : sont des signaux de fréquence non multiple de la fréquence fondamentale,
- Infra harmoniques : ce sont des composantes qui sont à des fréquences inférieures à celle du fondamental.

b) Les perturbations engendrées

Pour le taux de distorsion de tension. Un risque d'échec de 5% à 8% est possible. Dépasser Pour qu'ils deviennent une réalité, les courants harmoniques et les perturbations de tension doivent être limités. Le taux de distorsion de tension ne doit pas dépasser 1,6 %.

- ❖ Tensions harmoniques de rangs pairs : $U_{2n} / U_1 \leq 0.6 \%$
- ❖ Tensions harmoniques de rangs impairs : $U_{2n+1} / U_1 \leq 1 \%$

c) Conséquences des harmoniques A

court terme :

- ❖ Déclenchements intempestifs des relais à max de courant,
- ❖ Dysfonctionnement des applications sensibles,
- ❖ Perturbation des systèmes de télécommande et de télécommunication,
- ❖ Vibrations et bruits anormaux (tableaux BT. moteurs. transformateurs),

A long terme :

- ❖ Echauffement des batteries de condensateurs,
- ❖ Echauffement des transformateurs,
- ❖ Echauffement des conducteurs de phase et du neutre en présence des harmoniques 3.

III.5. Chutes et coupures de tension du réseau

Depuis leur démarrage et à différents degrés. à l'instar de continuent de subir des microcoupures et des à-coups de tension réseau malgré les mesures prises par certaines. en matière de protections. Pour en minimiser les effets.

Les minimum tensions (mini U), au niveau de la MT. Telles que préconisées. doivent être réglées à 85 % d'Un et une temporisation de 1 seconde. Certains constructeurs comme Siemens se limitent au seuil critique de décrochage des gros Moteurs à bagues, Il est vrai que des périodes sont plus « calmes » que d'autres mais à voir l'historique Etats des déclenchements par chute de tension le centre accuse encore des Fluctuations de tension réseau entraînant des perturbations et des déclenchements aux conséquences très fâcheuses bien connues des exploitants. À savoir pour rappel

- ❖ risques de dommages aux machines et équipements électriques,
- ❖ arrêts prolongé des installations,
- ❖ Remontée en régime difficile et lente,
- ❖ Durée de vie des réfractaires écourtée,
- ❖ Grandes pertes de production,
- ❖ Mobilisation accentuée tant sur le plan humain que matériel. ...

Bien entendu. toutes ces perturbations. Engendrent un manque à gagner colossal devant faire l'objet d'un audit spécifique plus poussé devant s'appuyer au niveau :

- ❖ MT : sur tous les enregistrements disponibles au niveau des protections " Sepam,etRef ". Après étalonnage des différents réglages - BT : sur un analyseur d'énergie. [18]
- **Important :** Afin de cerner au mieux toutes les perturbations et déclenchements imputables réellement au réseau Sonelgaz. il est recommandé d'installer à l'arrivée HT - 60 KV, un Oscilloperturbographe ou un " Qualimètre " lesquels peuvent enregistrer tous les à-coups et chutes de tension réseau en donnant entre autres paramètres. Principalement leur amplitude et Leur durée. Il faut , dans tous les cas. Vérifier s'il ne s'agit pas de déclenchements qui seraient dus à des réglages mini U très serrés ou carrément inexistant. ce qui se traduirait alors par des décrochages instantanés des moteurs de puissance. En règle générale. il faut associer Sonelgaz. Lors du grand arrêt programmé annuel. à la vérification de toutes les protections MT. Le cas échéant. Procéder à leur étalonnage par contre toutes les vérifications des protections et réglages éventuels au niveau BT sont du ressort de l'équipe d'entretiende la station industriel.

III.5.1. La puissance mise A disposition (PMD) :

C'est la puissance réservée par votre distributeur selon votre demande de raccordement Vous pouvez appeler cette puissance selon vos besoins ;Elle correspond à vos besoins réel (machines – chauffage –éclairage -...etc.) et est exprimée en kW.

Le choix de cette puissance combiné à l'option de tarif retenue, déterminera le montant de votre facture. Vous pouvez la choisir avec l'aide et le conseil du chargé de clientèle de la direction de distribution de la société de distribution dont vous dépendez , parmi les valeurs fixées par décision CREG n° D/11-13/CD du 26 septembre 2013, comme suit :

50 - 80 -120 – 200 - 320 - 500- 650- 800-1000- 1500-2000- 2500-
3000 – 4000 – 4500 -5000 – 7500 – 10000 – 12500 – 15000

Durée de la PMD :

- ✓ La PMD est contractée pour des durées d'au moins
 - 5 ans pour les valeurs inférieures à 10 000 kW
 - 10 ans pour les valeurs égales ou supérieures à 10 000 kW.

III.5.2. Dépassement de la PMD

En cas de dépassement observés de la PMD :

- 1^{er} dépassement : le client est informé officiellement par SONELGAZ
- 2^{ème} dépassement constaté au cours de la période des douze (12) mois qui suit, SONELGAZ se réserve le droit, soit de :
 1. réajuster à la hausse la PMD à une nouvelle valeur, quand le réseau le permet,
 2. demander au client de prendre à ses frais les mesures nécessaires pour limiter la puissance appelée à la PMD.

❖ Qu'est-ce que la puissance maximale absorbée (PMA) ?

C'est le maximum de la puissance absorbée mesurée à des intervalles réguliers dans le mois

- Le secteur est un client moyen consommateur de tension. Il a Signé un contrat avec la Sonelgaz pour un tarif 43 et une PMD de 4000 KW en HT (ces deux paramètre sont signalés dans la facture 2022).

❖ QU'EST CE QUI EST COMPTÉ DANS VOTRE FACTURE ?

- La redevance fixe : frais de gestion (relève, facturation, accueil) et de comptage qui vous sont facturés même si votre consommation est nulle.
- La rémunération de la puissance mise à disposition « PMD » :

part de L'investissement consenti par les sociétés gestionnaires des réseaux de transport et de distribution pour mettre à votre disposition une puissance que vous pouvez appeler à tout moment et qui vous est facturée même si votre consommation est nulle.
- La facturation de la puissance maximale absorbée PMA: Incite le client à étaler sa Consommation et à éviter les appels de puissance sous forme de pointe.
- Les tarifs de l'énergie active : C'est la rémunération de l'électricité soutirée selon les périodes tarifaires de la journée.
- L'énergie réactive : Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs électriques, les lampes à fluorescence, les lampes à décharge, les fours à induction, les fours à arc, les postes à souder, les (autos) transformatrices. Il est conseillé au client une consommation de réactif n'excédant pas 50% de celle de l'énergie active. Le réactif consommé au-delà est facturé au client sous forme de malus et en deçà sa facture est bonifiée.

- Les taxes fixées par l'Etat :

$$\begin{aligned}
 & \text{Montant Mensuel de la facture (DA)} \\
 & = \\
 & \text{Redevance Fixe} \\
 & + \\
 & \text{Tarif de facturation de la PMD} \times \text{Puissance Mise à Disposition} \\
 & + \\
 & \text{Tarif de facturation de la PMA} \times \text{Puissance Maximale Absorbée} \\
 & + \\
 & \text{Somme des (énergie consommée par poste horaire} \times \text{Tarif de l'énergie par poste horaire)} \\
 & + \\
 & \text{Tarif de l'énergie réactive} \times (\text{Energie réactive consommée} - 0,5 \times \text{Energie consommée}) \\
 & + \\
 & \text{Les taxes fixées par l'état}
 \end{aligned}$$

III.6. Optimiser l'utilisation de l'énergie électrique:

Toute machine électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie :

III.6.1. L'énergie active : C'est l'énergie consommée par postes horaires durant un mois de facturation.

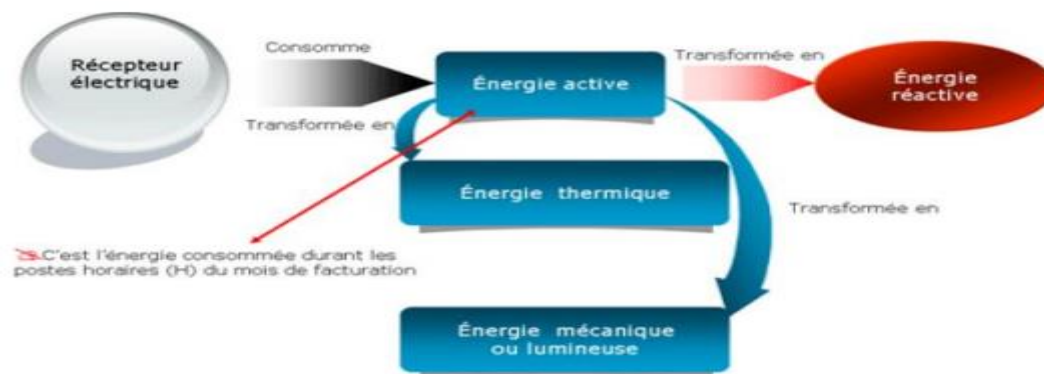


Figure III.1. Schéma illustration de l'énergie active

III.6.2. L'énergie réactive :

Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs électriques, les lampes à fluorescence, les lampes à décharge, les fours à induction, les fours à arc, les postes à souder, les (autos) transformatrices. Il est conseillé au client une consommation de réactif n'excédant pas 50% de celle de l'énergie active. Le réactif consommé au-delà est facturé au client sous forme de malus et en deçà sa facture est bonifiée.

Les principaux consommateurs d'énergie réactive dans l'industrie sont:

- Les moteurs asynchrones ordinaires,
- Les fours à induction et à arc,
- Les machines à souder,
- Les transformateurs,
- Les lampes à fluorescence.

Les prix de l'énergie active s'entendent pour une fourniture normalement accompagnée d'une proportion d'énergie réactive allant jusqu'à 50 % de l'énergie active. Lorsque la consommation d'énergie réactive durant le mois de consommation considéré dépasse la proportion de 50% d'énergie active, l'excédent est facturé au client selon les prix du tarif appliqué sous la forme :

*Majoration si le rapport $\frac{\text{énergie réactive}}{\text{énergie active}} > 50\%$

*Bonification si le rapport $\frac{\text{énergie réactive}}{\text{énergie active}} < 50\%$

III.6.3. Le facteur de puissance

C'est une mesure du rendement électrique d'une installation, c'est le quotient de la Puissance active sur la puissance apparente comme c'est indiqué dans le schéma ci-après :

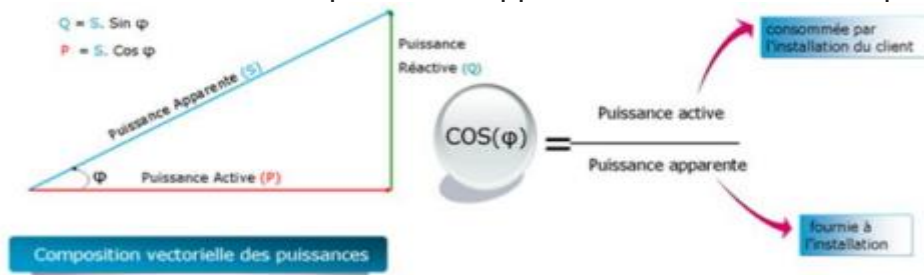


Figure III.2. Schéma de facture de puissance [19]

$$Q = S \cdot \sin(\phi)$$

$$P = S \cdot \cos(\phi)$$

$$\text{Tg}(\phi) = \frac{Q}{P} = \frac{\text{PUISSANCE Réactive (kvar)}}{\text{PUISSANCE ACTIVE (kw)}}$$

$$\text{Tg}(\phi) = \frac{W_r}{W_a} = \frac{\text{énergie réactive consommé (kvarh)}}{\text{énergie active consommé (kwh)}}$$

➤ **Remarque :**

- Un bon rendement correspond à un cos (φ) proche de 1,
- Le cos (φ) peut être consulté à n'importe quel moment au niveau du compteur Électrique,

- La tg (φ) est déterminée à partir de la facture d'électricité.

Sachez que : pour

- Réduire votre facture,
- Conserver vos équipements,
- Réduire les pertes de vos réseaux internes.

III.6.4. Compensation d'énergie réactive

La compensation de l'énergie réactive pour but l'amélioration du facteur de puissance et le bon fonctionnement des installations qui entraînent une réduction de facture énergétique. [20]

1) Avantage de la compensation :

Les avantages qu'elle procure sont multiples :

- Suppression des pénalités ;
- Réduction de la puissance souscrite en « KVA » ;
- Economie d'énergie (pertes Joule) ;
- Augmentation de la puissance active disponible au secondaire du transformateur ;
- Durée de vie des équipements améliorée ;
- Diminution de la chute de tension.

2) Comment compenser une installation :

L'installation d'un condensateur générateur d'énergie réactive est un moyen simple et souple pour l'amélioration du facteur de puissance.

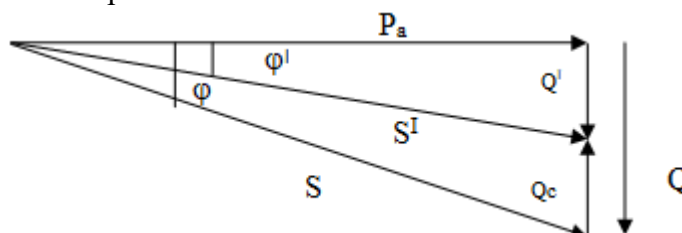


Figure III.3. Schéma de principe de la compensation

La figure ci-dessus illustre le principe de compensation de la puissance réactive Q d'une installation à une valeur plus faible Q' par la mise en œuvre d'une batterie de condensateurs de puissance Q_c , dans le même temps la puissance apparente passe de S à S' .

$$Q_c = P_a * (\operatorname{tg}(\phi) - \operatorname{tg}(\phi'))$$

Avec :

Q_c : Puissance de la batterie de condensateurs en KVA_r ;

P_a : Puissance active de la charge en KW;

$\operatorname{tg}\phi$: Tangente de l'angle de déphasage de l'installation avant compensation ;

$\operatorname{tg}\phi'$: Tangente de l'angle de déphasage après installation de la batterie de Condensateur.

3) Moyen de compensation :

Les condensateurs sont les moyens les plus utilisés dans l'industrie pour la compensation de l'énergie réactive, car ils présentent des avantages par rapport aux autres moyens de compensation, et parmi ces avantages on trouve:

- Une très faible puissance appelée ;
- Une meilleure répartition de la compensation de l'énergie réactive au point où elle est absorbée ;
- Longue durée de fonctionnement et simplicité d'installation ;
- Possibilité de rassemblement ;
- Coût.

Les condensateurs de puissance sont groupés sous forme de batteries triphasées reliées avec l'appareillage de mise en service et de protection. Ils sont généralement placés en parallèle.

4) Résistances de décharges :

- Des précautions seront également prises pour l'appareil de protection des batteries de condensateur car des courants transitoires importants apparaissent à l'enclenchement et au déclenchement des batteries.
- Pour limiter ce phénomène, des résistances de décharge sont installées en parallèle sur la batterie de condensateurs

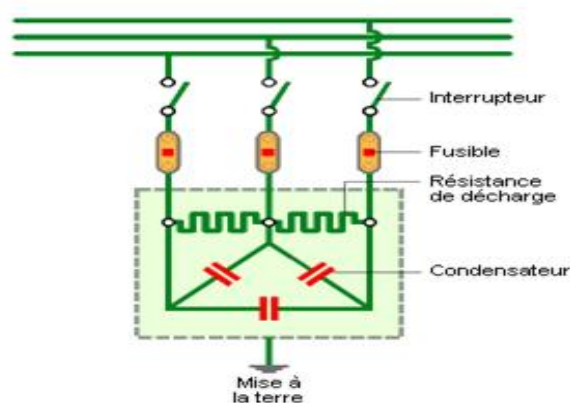


Figure III.4. Compensation avec résistance de décharge

III.6.5. Modes de compensation

La compensation d'une installation peut être réalisée de différents modes (globale, partielle, individuelle).

III.6.5.1. Compensation globale:

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. Elle reste en service de façon permanente pendant la marche normale de l'usine.

Avantage :

- Supprime les pénalités;
- Diminue la puissance apparente;
- Soulage le poste de transformation.

Inconvénients:

- Les pertes par effet Joule (KWh) ;
- Le courant réactif est présent dans l'installation ;
- Surdimensionnement des appareils.

III.6.5.2. Compensation partielle (sectorielle)

La batterie est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier à un groupe de récepteurs. Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les câbles d'alimentation de chaque atelier.

- Avantage :**
- Supprime les pénalités;
 - Soulage le poste de transformation ;
 - Puissance disponible au secondaire du transformateur ;
 - Diminution des pertes dans les câbles qui alimentent les ateliers.

- Inconvénients:**
- Risque de surcompensation dans le cas où il y aurait une variation importante de la charge ;
 - Une compensation partielle est conseillée lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

III.6.5.3. Compensation individuelle (local):

La batterie est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif (notamment moteur). La puissance de la batterie représente environ 25% de la puissance en « KW » du moteur. L'énergie réactive est produite à l'endroit même où elle est consommée et en quantité ajustée aux besoins.

- Avantage:**
- Supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive ;
 - Diminue le dimensionnement des câbles et réduit des pertes par effet Joule;
 - Soulage le poste de transformation;
 - Le courant réactif n'existe pas dans les câbles.

- Inconvénients:** - Coût élevé.

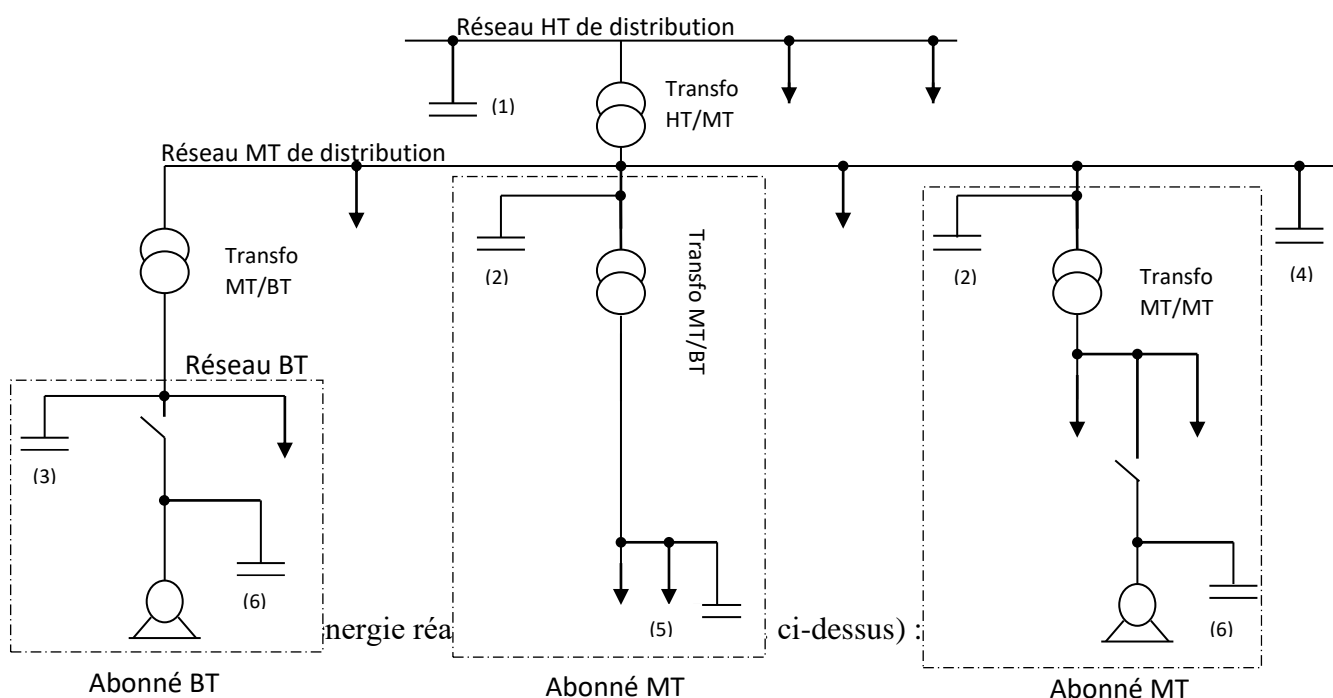


Figure III.5. Les différents modes de compensation de l'énergie

➤ **Soit globale**

Exemple :

- ❑ Batterie HT sur réseau de distribution HT (1) ;
- ❑ Batterie MT pour abonné MT (2) ;
- ❑ Batterie BT régulée ou fixe pour abonné BT (3).

➤ **Soit partielle**

Exemple :

- ❑ Batterie MT sur réseau MT (4) ;
- ❑ Batterie BT par atelier pour abonné MT (5) .

➤ **Soit individuelle**

Exemple :

- ❑ Batterie individuelle par moteur (6).

III.6.6. Compensation aux bornes d'un transformateur :

1) Compensation de l'énergie réactive absorbée par le transformateur seul :

Un transformateur absorbe de l'énergie réactive pour assurer son fonctionnement. Sa compensation est fonction de son courant magnétisant à vide ou en charge.

La compensation de l'énergie réactive du transformateur seul est obtenue en raccordant directement et en permanence aux bornes du secondaire une batterie de condensateurs sans appareil de coupure automatique.

Puissance KVA	Puissance réactive à compenser	
	à vide (Kvar)	à plein charge (Kvar)
100	2,5	6,1
160	3,7	9,6
250	5,3	14,7
315	6,3	18,4
400	7,6	22,9
500	9,5	28,7
630	11,3	35,7
800	20	54,5
1000	23.9	72.4
1250	27.4	94.5
1600	31.9	126.2
2000	37.8	176

Tableau.III.1. Consommation de l'énergie réactive des transformateurs

Exemple : Pour un transformateur 630KVA, il est possible de compenser entre 11.3 et 35.7 KVar

L'énergie réactive que consomme un transformateur n'est pas négligeable (de l'ordre de 5%) ; elle peut être fournie par une batterie de condensateurs

2) Compensation pour accroître la puissance disponible :

La puissance active disponible au secondaire d'un transformateur est d'autant plus élevée que le facteur de puissance de l'installation est plus grand.

Il est par conséquent intéressant, en prévision d'extensions à venir, ou au moment même d'une extension, de relever le facteur de puissance et d'éviter ainsi l'achat d'un nouveau transformateur.

L'installation d'une batterie de condensateurs peut éviter le changement du transformateur lors d'une extension.

III.7. Comptage

Il assure la mesure des quantités d'énergie livrée et la puissance appelée selon les modalités du contrat tarifaire. Comme le cas du centre, le comptage se fait au côté HT. C'est à dire en amont des transformateurs HT/MT Il permet de comptabiliser :

- L'énergie active des trois postes horaires (pleine, de pointe et creuse),
- L'énergie réactive,
- Le Cos (φ),
- La puissance maximale atteinte ou appelée (P.M.A). [21]

III.8. Billant de puissance annuelle du site industriel:

PMD=4000 kVA code tarif : 43 année : 2020/2021/2022

2020	Energie active (KWh)	Energie réactive (Kvarh)	montant (DA)	PMA (KW)	creuse (KW)	pointe (KW)	pleine (kW)	tgφ	tgφ %
janvier	1150899	686321	3541126,94	2010	385581	182437	582881	0,59633469	59,6334691
Février	1010229	613865	3198724,65	2041	332688	164627	512914	0,60764935	60,7649355
mars	1124168	709887	3543497,68	1989	361005	184993	578170	0,63147768	63,1477679
Avril	980883	591084	2947109,64	1943	332178	138067	510638	0,60260398	60,260398
mai	915436	532334	2735626,86	1780	311349	127316	476771	0,5815087	58,1508702
juin	1006078	600732	3127304,91	1904	329419	157931	518728	0,59710281	59,7102809
juillet	1018030	619247	3228701,01	1904	332564	169048	516418	0,60827972	60,8279717
aout	1140744	664434	3598029,64	2104	375535	191893	573316	0,58245671	58,2456712
Septembre	1139178	657964	3586420,23	2224	364336	187447	587395	0,57757787	57,7577868
Octobre	1183127	725755	3829986,2	2584	379199	203564	600364	0,61342104	61,3421044
novembre	1233008	721940	4023196,03	2746	400962	219888	612158	0,58551121	58,5511205
Décembre	1237815	725974	3924897,86	2819	405123	203223	629469	0,58649637	58,6496367
TOTAL	13139595	7849537	53543285,9	26048	4309939	2130434	6699222	0,59753501	59,7535011

Tableau.III.2. Bilan de puissance du site industriel 2020

	Energie active (KWh)	Energie réactive (Kvarh)	montant (DA)	PMA (KW)	creuse (KW)	pointe (KW)	pleine (kW)	tgφ	tgφ %
2021									
janvier	1305407	743343	4024065,4	2132	432710	215118	657579	0,5694339	56,9433901
Février	1540584	851640	4860920,25	3177	492997	262166	785421	0,55280335	55,2803352
mars	1961622	1074298	6058252,59	3211	638478	336616	986528	0,54765801	54,765801
Avril	1087386	623677	3340642,11	3168	370776	151271	565339	0,57355622	57,3556216
mai	1101344	571802	3415903,41	3181	378646	163168	559530	0,51918565	51,918565
juin	1839845	951212	5688894,36	3349	607011	314521	918313	0,5170066	51,7006596
juillet	1303056	693045	4117944,13	3122	463336	220100	619620	0,53186126	53,1861255
aout	1173234	678195	3602625,5	2053	397271	187257	588706	0,57805604	57,805604
septembre	1844391	981928	5607957,04	3203	609690	302241	932460	0,53238603	53,2386029
Octobre	1915407	1065192	5898949,22	3221	643117	325845	946445	0,55611784	55,6117838
novembre	1931701	978991	5817307,57	3300	636637	313261	981803	0,50680255	50,6802554
décembre	1283545	681666	4040741,03	3149	427635	209129	646781	0,53108072	53,1080718
TOTAL	18287522	9894989	68732866.8	36266	6098304	3000693	9188525	0,54299568	54,299568

Tableau.III.3. Bilan de puissance du site industriel 2021

	Energie active (KWh)	Energie réactive (Kvarh)	montant (DA)	PMA (KW)	creuse (KW)	pointe (KW)	pleine (kW)	tgφ	tgφ %
2022									
janvier	1181920	633770	3476653,03	2645	407274	160686	613960	0,53622073	53,6220726
Février	1115990	584717	3381141,07	2029	370657	172135	573198	0,52394466	52,3944659
mars	1625778	857319	4901181,56	3348	551214	251156	823408	0,52732845	52,7328454
Avril	928830	491834	2729555,91	3117	332024	105652	491154	0,52951993	52,9519934
mai	1058933	606724	3367417,49	2332	348473	174842	535618	0,57295787	57,2957874
TOTAL	5911451	3174364	23985280.6	13471	2009642	864471	3037338	0,53799433	53,7994329

Tableau.III.4. Bilan de puissance du site industriel 2022 (5 mois)

Année	Energie active (KWh)	Energie réactive (Kvarh)	montant (DA)	PMA (KW)	creuse (KW)	pointe (KW)	pleine (kW)	tgφ	tgφ %
2020	13139595	7849537	53543285.9	26048	4309939	2130434	6699222	0,59753501	59,7535011
2021	18287522	9894989	68732866.8	36266	6098304	3000693	9188525	0,54299568	54,299568
2022	5911451	3174364	23985280.6	13471	2009642	864471	3037338	0,53799433	53,7994329
TOTAL	37338568	20918890	146261433.59	75785	12417885	5995598	18925085	0,56024886	56,0248856

Tableau.III.5. Bilan de puissance du site industriel pendant 29 mois

III.8.1. Analyse l'énergie réactive en kVARh :

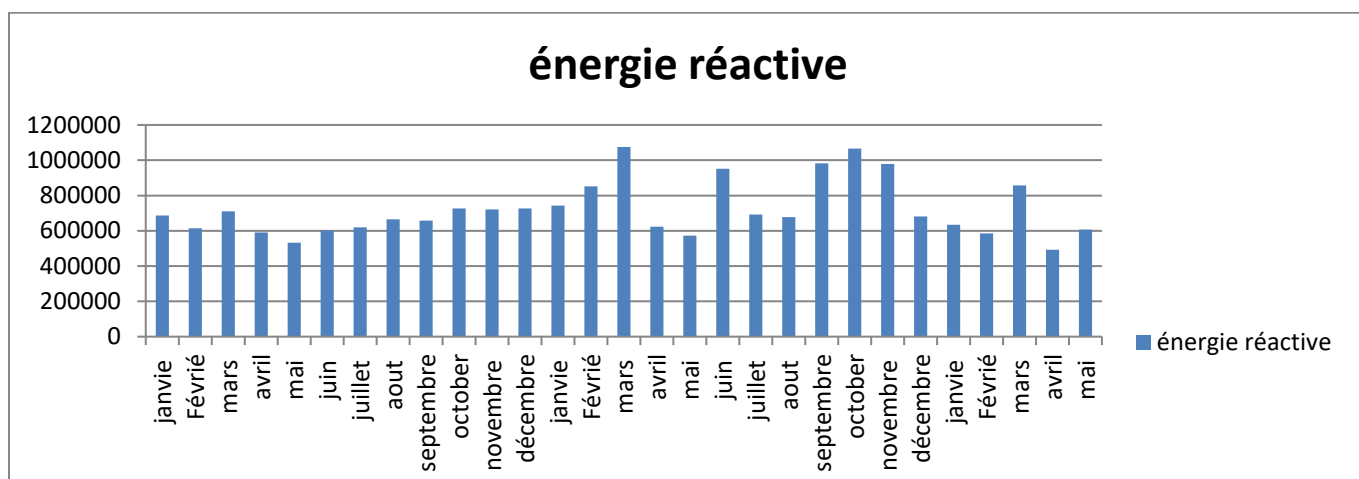


Figure III.6. Évolution de la consommation de l'énergie réactive kVARh

La consommation de l'énergie réactive de la secteur industriel pour cette période (29 mois) est de (20,918,890 Kvarh) avec un valeur maximale de (1,074,298) Kvarh au moins de mars 2022

III.8.2. Analyse de l'énergie active en kWh :

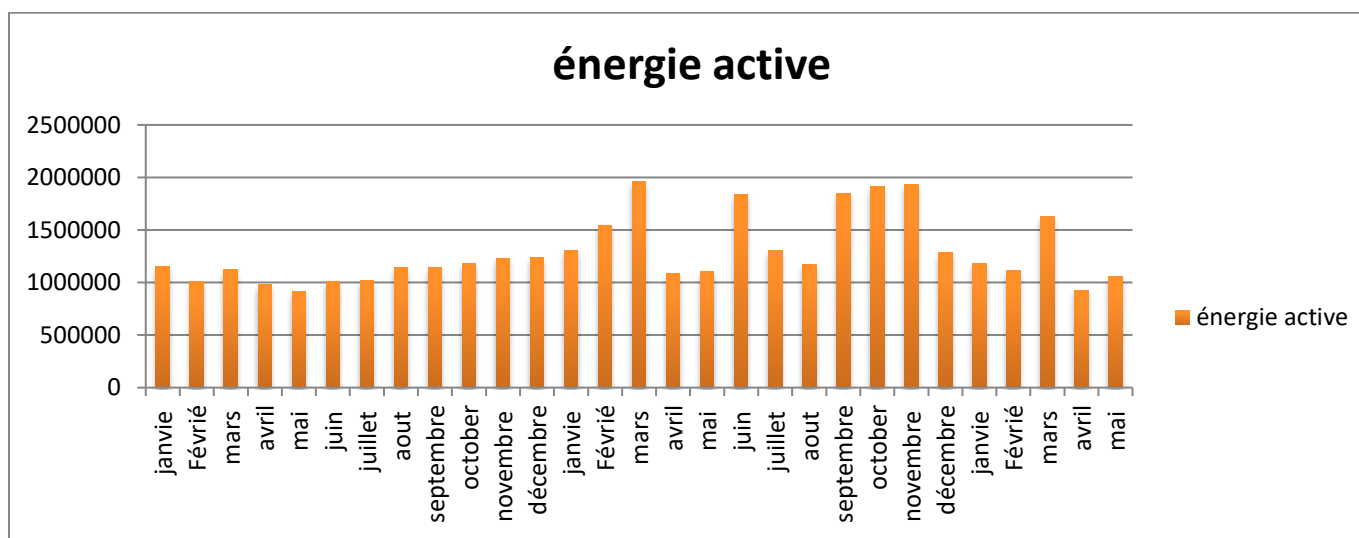


Figure III.7. Évolution de la consommation d'énergie active kWh

On constate la consommation d'électricité dans le site industriel pendant (29 mois) avec une valeur maximale de (1961622 KWh) au moins mars 2021 et une valeur minimale de (915436 KWh) au mois de mai 2020.

III.8.3. Analyse des énergies consommée heures creuses (nuit) :

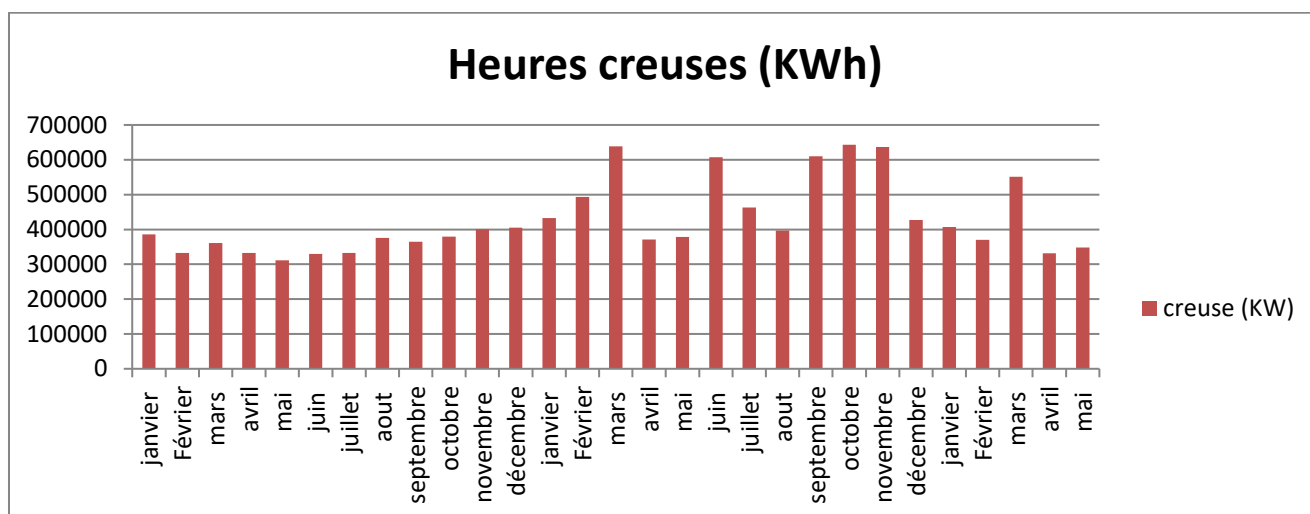


Figure III.8. Évolution du site industriel heures creuses

La consommation d'énergie du secteur industriel dans les heures creuse pour cette période est de (12417885 KWh) avec une consommation maximum de la valeur (643117 KWh) au mois de Octobre 2021 et une valeur minimale de (311349 KWh) au mois Mai 2020.

III.8.4. Analyse des énergies consommée heures pointe :

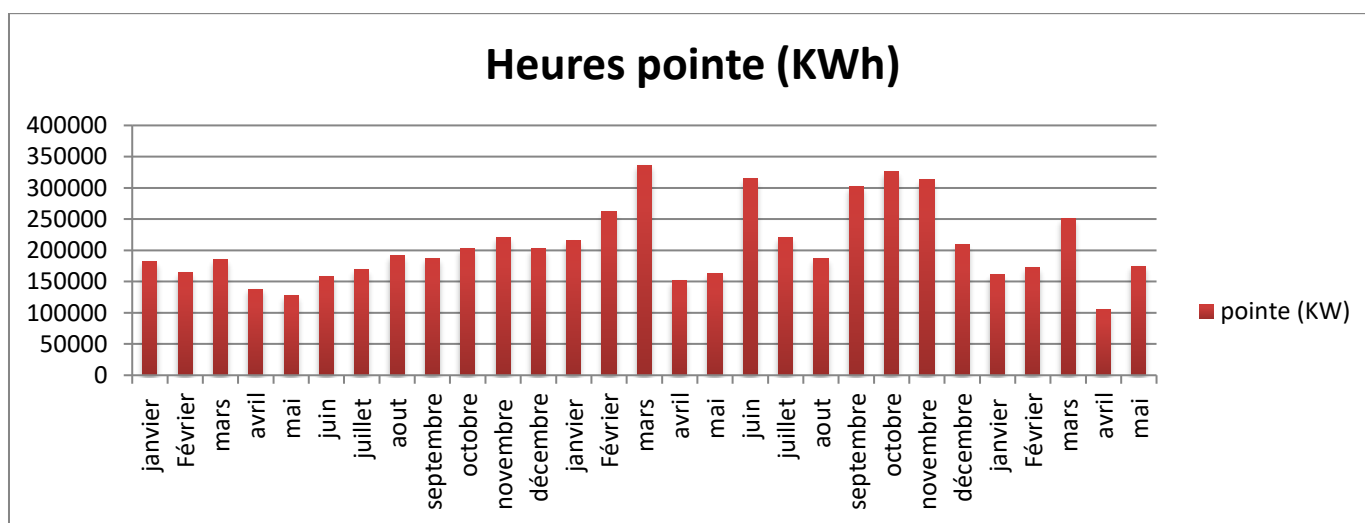


Figure III.9. Évolution du site industriel heures pointe

La consommation d'énergie de la station dans les heures pointes pour cette période est de (5995598 kWh) avec un consommation maximum de la valeur (336616 kWh) au mois de mars 2021 et une valeur minimale de (105652 kWh) au mois d'avril 2020.

III.8.5. Analyse de l'énergie consommée heures pleines (jour) :

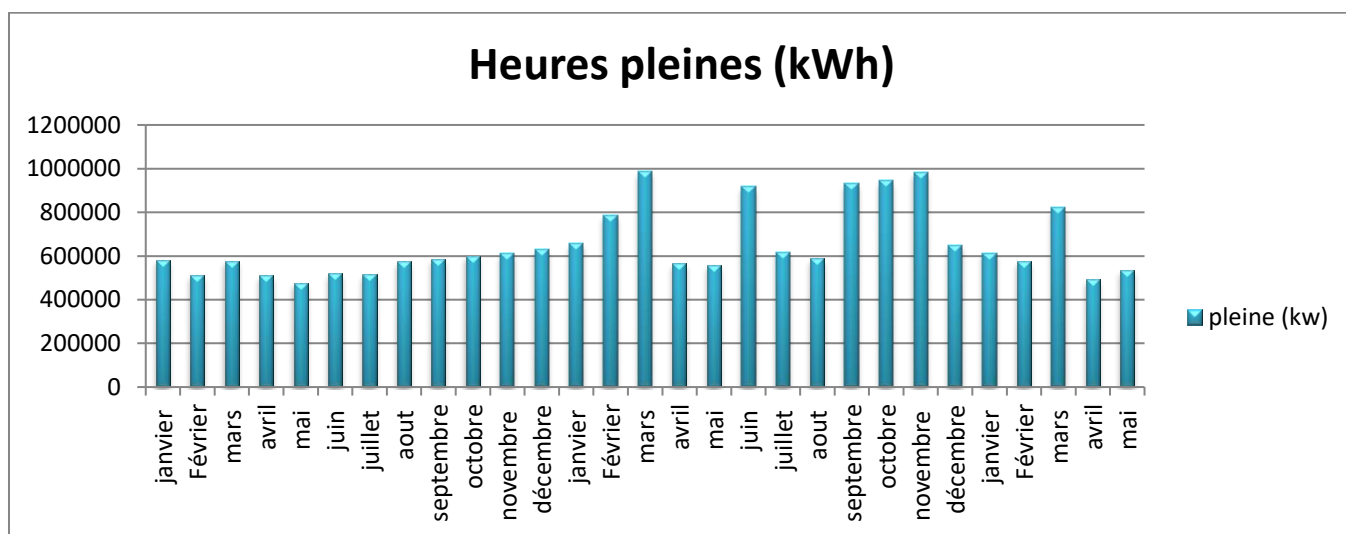


Figure III.10. Évolution du site industriel heures pleines

La consommation d'énergie du secteur industriel dans les heures pleine pour cette période est de (18925085 kWh) .avec une valeur maximale de (986528 kWh) au mois de mars 2021 et une valeur minimale de (476771 kWh) au mois de mai 2020.

III.8.6. Structure de la consommation dans le site industriel :

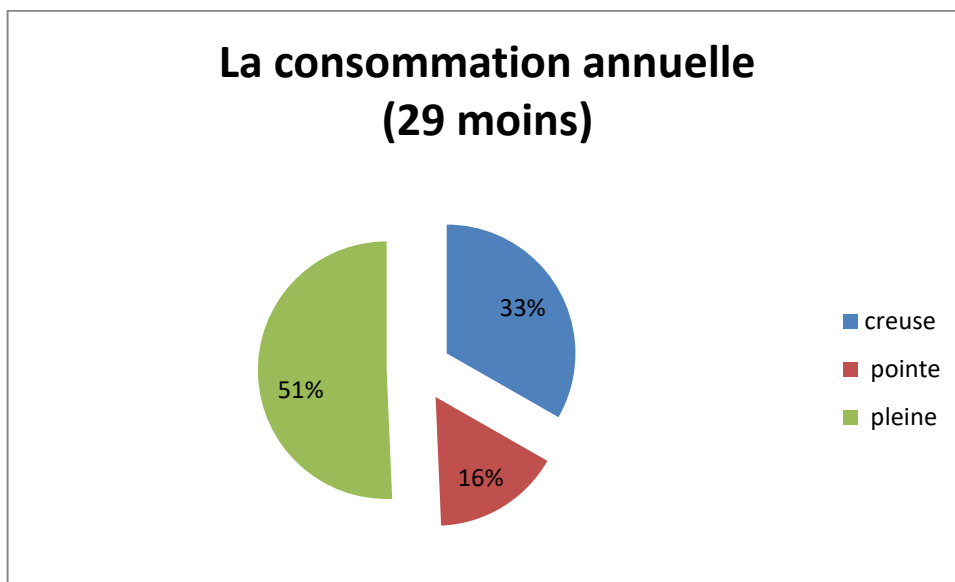


Figure III.11. Heures creuses 33% ; Heures pointe 16% ; Heures pleines 51%

III.8.7. Analyse de la tangente ϕ :

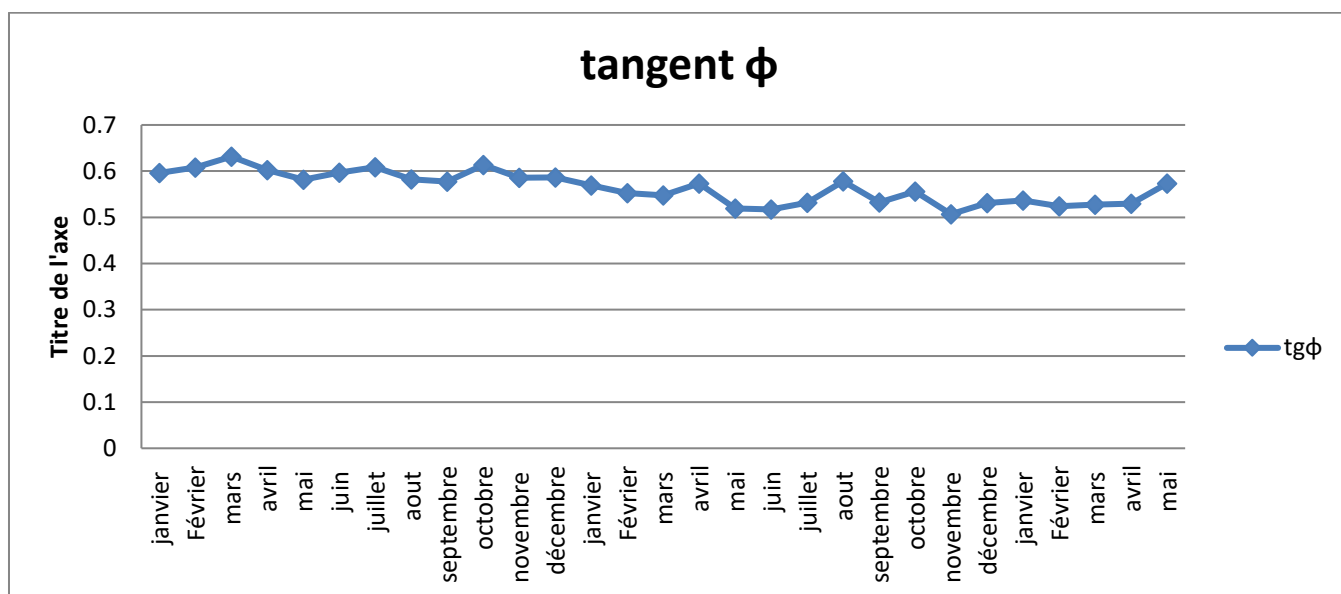


Figure III.12. Évolution de la tangente ϕ

Evolution de la tangente ϕ la valeur maximale de la tangente a été atteinte durant le mois de mars 2020 de (0.63147) avec une valeur minimale durant le mois novembre 2021 de (0.506).

III.8.8. Analyse de la puissance maximale atteinte (PMA) :

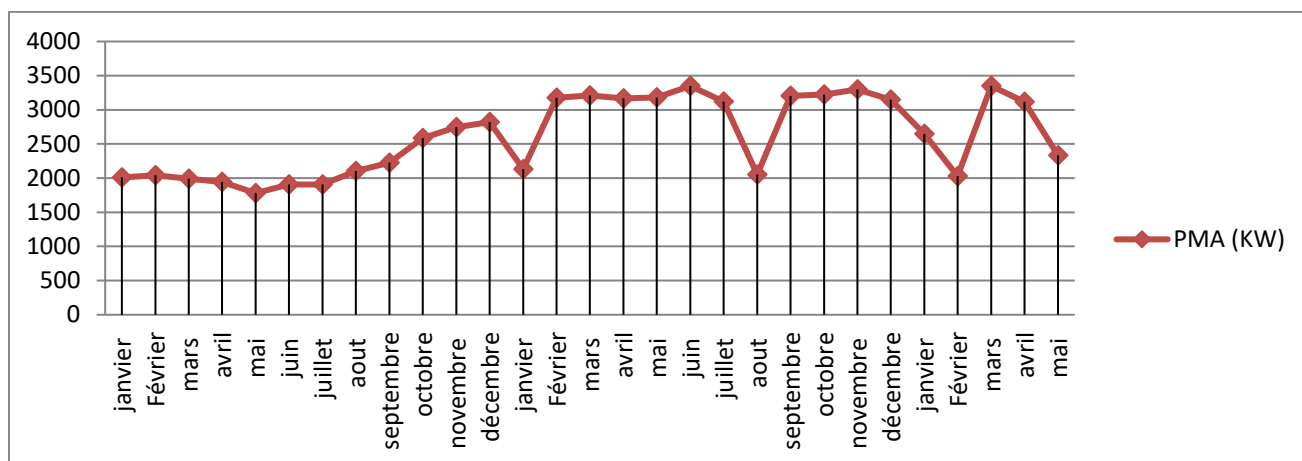


Figure III.13. Évolution de PMA

La PMA moyenne de cette période (29 mois) est de (2613.3 kW) avec une valeur maximale de (3349 kW) au mois de juin 2021. et une valeur minimale de (1780 kW) au mois de mai 2020. ; Sa puissance appelée à la valeur de la PMD (puissance mise à disposition) contractuelle dans notre cas PMD=4000kW.

PMA (période)= 65.33% PMD.

III.8.9. Analyse du montant durant l'année (2020/2021/2022) :

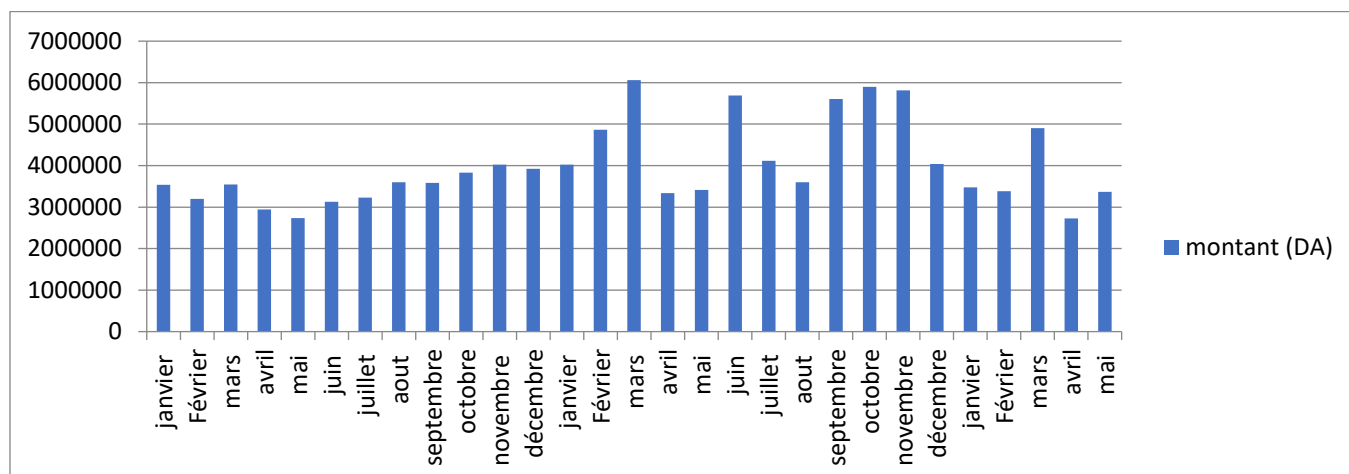


Figure III.14. Évolution du montant durant l'année (2020/2021/2022)

L'évolution du montant durant cette période montre que les valeurs sont aléatoires avec augmentation et baisse ainsi de suite en mars 2021 le montant atteint sa valeur maximum 6058252.59 DA.

III.9. Tarification :

En Algérie. La politique tarifaire relève de l'état. Au lendemain de l'indépendance. sa démarche a été caractérisée par l'utilisation de l'énergie à bon marché pour lancer le processus d'industrialisation du pays et pour contribuer à un meilleur bien-être social. Aujourd'hui, la mise en place de mécanisme d'économie de marché fixe de nouveaux objectifs en matière de tarification : Les tarifs devront couvrir les charges et assurer un seuil minimum d'autofinancement. Ils devront aussi rechercher l'efficacité économique et la rationalisation des comportements à Travers le reflet des coûts réels. L'application de la vérité des prix est déjà effective pour la clientèle haute tension. Les réajustements prévus devraient l'instaurer également pour la moyenne et basse tension. [22]

III.9.1. Principes de tarification

L'ensemble des tarifs du système tarifaire est caractérisé par une unité de structure. Tous les tarifs sont basés sur une seule formule polynôme (Terme Fixe. Facturation de la Puissance. Facturation de l'Energie). Les tarifs ne comportent aucune différenciation régionale. Ils sont établis de manière uniforme sur l'ensemble du territoire national. La tarification actuelle comporte un nombre limité de tarifs (10 pour l'électricité et 6 pour le gaz). L'unité de forme des tarifs et leur nombre réduit concourent à une simplification de la gestion et de la facturation des abonnés. Le système tarifaire offre un choix de plusieurs tarifs pour chaque niveau de tension (énergie par poste horaire. Puissance mise à disposition. Puissance absorbée).

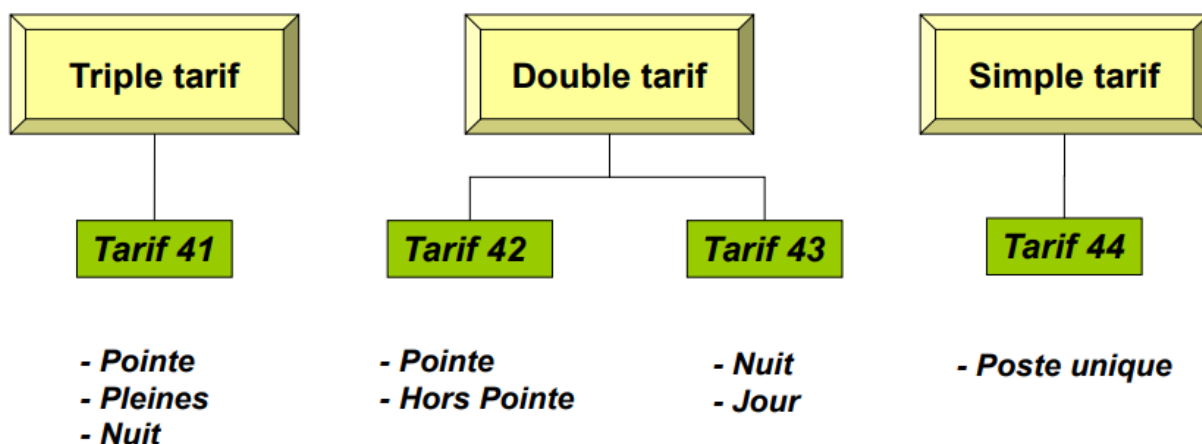


Figure III.15. Schéma représente le bon choix de tarification

Tarif 41	Pointe 17h à 21h	Pleines 6h à 17h et 21h à 22h 30	Nuit 22h 30 à 6h
Active	872,02 cDA	193,76 cDA	102,40 cDA
Réactive	Malus : 45,53 cDA/kVArh		Bonus : 9,11 cDA/kVArh
Tarif 42	Pointe 17h à 21h	Hors Pointe 21h à 17h	
Active	872,02 cDA	180,64 cDA	
Réactive	Malus : 45,53 cDA/kVArh		Bonus : 9,11 cDA/kVArh
Tarif 43	Nuit 22h30 à 6h	Jour 6h à 22h30	
Active	102,40 cDA	428,30 cDA	
Réactive	Malus : 45,53 cDA/kVArh		Bonus : 9,11 cDA/kVArh
Tarif 44	Poste Unique		
Active	375,62 cDA		
Réactive	Malus : 45,53 cDA/kVArh		Bonus : 9,11 cDA/kVArh

Tableau.III.6. Tarifs de l'énergie active et réactive facture par kWh [23]

Tarif 41	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
	25,85 DA/kw/mois	116,15 DA/kw/mois	38 673,35 DA/mois
Tarif 42	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
	38,70 DA/kw/mois	180,58 DA/kw/mois	515,65 DA/mois
Tarif 43	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
	38,70 DA/kw/mois	154,56 DA/kw/mois	515,65 DA/mois
Tarif 44	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
	38,70 DA/kw/mois	180,58 DA/kw/mois	515,65 DA/mois

Tableau.III.7. Prix de la puissance et la redevance fixe.[24]

P active Kw	Q réactive K_{rav}	PMA kVA	Heures creuse kWh	Heures Pointe kWh	Heures pleine kWh	tgφ
37338568	20918890	75785	12417885	5995598	18925085	0.56024

Tableau.III.8. Somme d'énergie pendant (29 mois)

III.9.2. Analyse le meilleur tarif de site industrie :

				à déduire	à ajouter
E41		NUIT	12417885	1,024	12 715 914,24
		PLEINE	18925085	1,9376	36 669 244,70
		POINTE	5995598	8,7202	52 282 813,68
	FACTEUR DE PUISSANCE	0,56			
		majoration/bonification	2249606	0,4553	1024245,61
		PMD	116000	25,85	2 998 600,00
		PMA	75785	116,15	8 802 427,75
		Primes Fixes			1121527,15
		Montant HT			115 614 773,13
		TVA 7 %			8 093 034,12
		Montant TTC			123 707 807,25

Tableau.III.9. Analyse tarif E41

					a deduire	a ajouter	
E42			H,POINTE	31342970	1,864		58 423 296,08
			POINTE	5995598	8,7202		52 282 813,68
			FACTEUR DE PUISSANCE	0,56			
			majoration/bonification	2 249 606,00	0,4533	0	1 019 746,40
			PMD	116000	38,7		4 489 200,00
			PMA	116000	180,58		20 947 280,00
			Primes Fixes				14 953,85
			Montant HT				137 177 290,01
			TVA 7 %				9 602 410,30
			Taxe habitation				200,00
							146779900,31
							0,9070726
		Sout de l' état				13639874,51	
		Montant TTC				133 140 025,80	

Tableau.III.10. Analyse tarif E42

					a deduire	a ajouter	
E43			NUIT	12417885	1,024		12 715 914,24
			JOUR	24920683	4,283		106 735 285,29
			FACTEUR DE PUISSANCE	0,56			
			majoration/bonification	2249606	0,4553	0	1024245,61
			PMD	116000	38,7		4 489 200,00
			PMA	75785	154,56		11 713 329,60
			Primes Fixes				14953,85
			Montant HT				136 692 928,59
			TVA 7 %				9 568 505,00
			Montant TTC				146 261 433,59

Tableau.III.11. Analyse tarif E43

					a deduire	a ajouter	
E44			NUIT	12417885	3,7562		46 644 059,64
			PLEINE	18925085	3,7562		71 086 404,28
			POINTE	5995598	3,7562		22 520 665,21
			FACTEUR DE PUISSANCE	0,56			
			majoration/bonification	2249606	0,4553	0	1024245,612
			PMD	116000	38,7		4 489 200,00
			PMA	75785	180,58		13 685 255,30
			Primes Fixes				14953,85
			Montant HT				159 464 783,88
			TVA 7 %				11 162 534,87
		Montant TTC				170 627 318,76	

Tableau.III.12. Analyse tarif E44

Code tarif	E41	E42	E43	E44
Montant de (29 mois)	123707807.25 DA	133140025.80 DA	146261433.59 DA	170627318.76 DA
Gains (da)	-22553626.3 Meilleur	-13121407.8	Mauvaise tarification	+24365885.2

Tableau.III.13. Calcul de facteur (tarif E41-42-43-44)

III.9.3. Évolution du montant dans chaque type de tarif

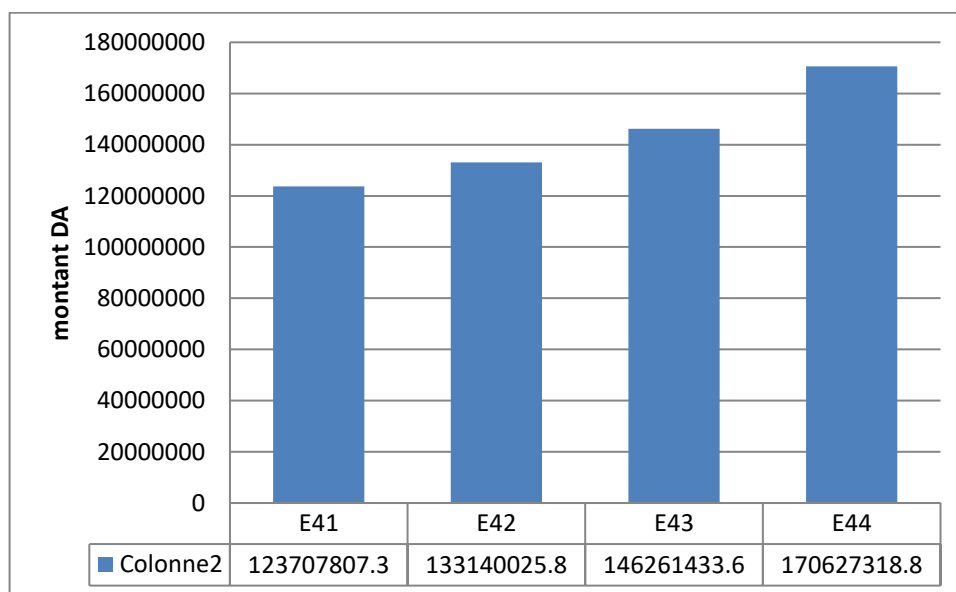


Figure III.16. Évolution du montant dans chaque type de tarif

➤ On constaté Le tarif 41 est de meilleures tarifications

III.9.4. Calcule de la puissance réactive de condensateur à utiliser dans le site industriel

$$P=37338568 \text{ kw}$$

$$Q= 20918890 \text{ kvar}$$

$$Tg \phi= 0.56$$

On a $\frac{Q}{P} > 50\%$ dans ce cas la valeur présent un malus , pour augmenter le facteur de puissance :

$$\text{Cos } \phi=0.98 \text{ c'est-à-dire } Tg (\phi^l)=0.203$$

$$Q_c=37338568*(0.56 - 0.203) = 13329868,8 \text{ kvar}$$

$$C=\frac{P(tg(\phi)-tg(\phi^l))}{3*U*2\pi*f} = \frac{13329868.8}{3*380*2*3.14*50} = 37,238431 \text{ F}$$

Puissance active	Puissance réactive	Tg (ϕ)
37338568 kW	20918890 kvar	0.56

Tableau.III.14. L'énergie total et le tangent pendant (29 mois)

	montant DA
avant compensation(Da)	146261433.59
après compensation (Da)	145252022
Gains (Da)	1009411.94

Tableau.III.15. Le gain de la compensation pour ce site industriel

III.9.5. Généralisé des gains :

- Économie annuelle a réalisé pour le site industriel

	période de 29 mois
code tarif	22553626.3
Compensation	1009412
Gaine total (Da)	23563038,3

Tableau.III.16. Gain totale pour ce site industriel pendant (29 mois)

D'après le tableau on voit que le code tarif, et les batteries de compensation normalisée on était choisi par l'entreprise ont couté presque (23563038.3 da) p an comme une perte dans le facteur de société.

III.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons entamé à l'analyse des paramètres qui peuvent influencer sur le bilan de puissance et l'efficacité énergétique à travers les courbes et les graphes on peut visualiser et diagnostiquer les taux de consommation.

D'après l'analyse des factures d'électricité dans le secteur industriel que l'on vient d'effectuer, on note les remarques et propositions suivantes :

*une transposition de la consommation des heures de pointe vers les heures creuses peut faire économiser l'entreprise. Ainsi, une transposition de 50% permettra une économie.

*le secteur a un facteur de puissance faible et peut-être amélioré si on exploite au mieux les batteries de compensation

*pour le code tarif il est nécessaire à l'entreprise de le changer pour avoir moins de facturation dans le sens d'économiser de l'énergie.

Conclusion générale

Nous avons à semblons opportun d'effectuer un bref rappel sur l'importance des énergies, notamment les énergies renouvelables qui font actuellement l'objet de plusieurs recherches scientifiques à travers le monde. Parmi toutes les formes d'énergie, l'énergie électrique est la forme la plus souple. Ainsi la proportion d'énergie électrique par rapport à l'énergie totale consommée, ne cesse de croître. La gestion de l'énergie, dont il est impératif de se préoccuper est l'une des composantes d'une complète maîtrise de l'énergie. Les nouveaux développements technologiques apportent des solutions très performantes permettant la maîtrise de cette énergie.

Il est donc indispensable de savoir gérer et optimiser les consommations et les dépenses d'énergie, grâce à un programme de maîtrise d'énergie, deux objectifs peuvent être simultanément atteints

- La réduction des coûts de fonctionnement ;
- Le maintien ou l'amélioration du service rendu et du confort.

Nous avons vu au chapitre [1] l'intérêt de la rationalisation et de la maîtrise de l'énergie qui nous permet de dire que cette maîtrise couvre un aspects essentiels : En premier lieu, celui d'éviter le gaspillage. En ne consommant que ce dont on a besoin en utilisant des appareils sobres d'énergie et par des comportements qui suppriment les consommations inutiles.

Nous avons également étudié au chapitre [2] le système photovoltaïque qui permet de réduire la consommation d'énergie électrique. Ensuite, nous avons présenté les types de systèmes PV qui existent à partir desquels nous pouvons conclure ce qui suit :

- L'énergie solaire peut être utilisé de différentes manières et pour de nombreuses applications différentes,
- Les systèmes autonomes sont les plus simples et les plus faciles à comprendre. Ils ont tendance à être des systèmes relativement petits, fournissant de l'énergie là où aucune autre source d'énergie n'est facilement disponible,
- Avec le raccordement au réseau, notre système d'énergie solaire produit de l'électricité qui est ensuite utilisée normalement. Tout excédent de production d'électricité est exporté vers le réseau,

Enfinement nous avons entamé à l'analyse des paramètres qui peuvent influencer sur le bilan de puissance et l'efficacité énergétique à travers les courbes et les graphes on peut visualiser les taux de consommation. D'après l'analyse des factures d'électricité dans ce site industriel que l'on vient d'effectuer, nous obtenons le gain de tarification et de compensation à **20.38%** de la valeur consommée pour une durée de (29 mois), soit **24047872.8 Da** ce qui est une valeur considérable perdue par l'institution, en raison de la mauvaise gestion de l'énergie électrique.

Bibliographie

- [1] : La maîtrise de l'énergie, www.recherche.gouv.fr/mstp/energie_mstp_200401.pdf
- [2] : La maîtrise de l'énergie, http://www.perso.wanadoo.fr/ageden/energie_renouvelable/enr1.htm#1
- [3] : www.vrai-debat.org/IMG/pdf/Document%20Laponche.pdf
- [4] : Cadre législatif- Maîtrise de l'énergie : Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, p.
- [5] : Economie d'énergie, http://www.aprue.org.dz/actualites/maitrise_support.htm#maitrise-04.
- [6] : Les énergies renouvelables Dr Marwan Jarkas
- [7] : Les énergies renouvelables ; la base, la technologie, le potentiel au Sénégal
- [8] : <https://negawatt.org/contexte-et-enjeux>
- [9] : La maîtrise de l'énergie dans les bâtiments, <http://www.ciede.org.ma/siedee/siedee/InfosTechniques/MDE.htm>.
- [10] : LA Maîtrise de L'énergie dans les Industries <http://www.ciede.org.ma/siedee/siedee/InfosTechniques/MDE.htm>
- [11] Les énergies renouvelables Dr Marwan Jarkas
- [12] Les énergies renouvelables ; la base, la technologie, le potentiel au Sénégal
- [13] Photovoltaic systems engineering / Roger Messenger, Jerry Ventre. SECOND EDITION
- [14] F. Chekired, « Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA », mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [15] S. M. Ait-Cheikh, « Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques », Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007
- [16] Michael Boxwell. Solar Electricity Handbook .2012 Edition
- [17]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Harmonique>.
- [18] <https://www.exa-ecs.com/chutes-de-tension-electrique-les-causes-du-phenomene-et-les-solutions>
- [19] La facture de puissance: <https://alpestechnologies.com/fr/search/node/facture%20de%20puissance>
- [20] https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/4_compensation_nrij_reactive.pdf
- [21] Comptage et compteur électrique : https://www.researchgate.net/publication/323228392_Comptage_et_Compteurs_Electrique
- [22] la tarification : <https://creg.dz/tarification/>
- [23] : Formules tarifaires, www.sonelgaz.dz/Français/contenu.html
- [24] PRIX de Kwh en Algérie : <https://algerie-electricite.com/faq/prix-kwh>