



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique



RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**L'optimisation de la consommation
d'énergie électrique au sein du
Centre Hospitalier Universitaire
HASSAN II de Fès**

Réalisé Par :

DCHIYECH Asmae

Encadré par :

Pr E.ABARKAN (FST FES)

Mr. RMICH Said (CHU Hassan II)

Soutenu le 16 Juin 2015 devant le jury

Pr E.ABARKAN (FST FES)

Pr T.LAMHAMDI (FST FES)

Pr T.LAMCHARFI (FST FES)

Dédicace

Je dédie cet humble travail

A la mémoire de mon cher grand père **sidi Abdelmajid DCHIYECH**

A ma très chère famille ;

Aucun mot ne pourrait exprimer ma reconnaissance et ma gratitude pour le soutien et l'amour que vous n'avez cessé de me prodiguer ;

A mes chères sœurs. (**Imane-Meryem-Rajae**)

A mes chers professeurs qui m'ont formé.

A mes très chers amis

Je vous remercie pour votre agréable compagnie.

Remerciements

Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toute personne, dont l'intervention au cours de notre projet, a favorisé son aboutissement.

Je tiens à remercier tous les enseignants qui ont assuré une bonne formation pendant mes années d'études et précisément **Mr.ABARKAN** pour son encadrement durant mon stage, aussi je tiens à remercier **Mr. El MARKHI** pour ses conseils et son soutien.

Je tiens aussi à remercier *Mr.RMICH Said* pour m'avoir donné l'occasion de faire ce stage au sein du **Centre Hospitalier Hassan II de FES**.

Mes vifs remerciements vont également à tout le personnel du **Centre Hospitalier Hassan II de FES** et plus particulièrement *Mr. ZIN ELABIDINE Abdelali le chef du pole d'ingénierie et de maintenance au CHU* pour la qualité d'accueil et les bonnes conditions dont j'ai bénéficié durant ce Stage.

Ainsi qu'à **Mr.SOSSEY Ismail** pour l'aide et le soutien qu'il m'a accordé et sa disponibilité et les précieux conseils et remarques qu'il a pu me prodiguer.

Je saisis aussi l'occasion pour remercier nos professeurs qui m'ont fait part de leurs connaissances professionnelles, et aussi de leurs conseils et leurs disponibilités qui représentent la meilleure preuve de la volonté qu'ils ont pour leur profession.

Grâce à cet accompagnement, j'ai pu réaliser mon projet dans d'excellentes conditions.

Table des matières

Introduction générale.....	6
Chapitre 1 : Présentation Du CHU HASSAN II FES.....	7
1. Introduction générale du CHU	7
2. Fiche technique.....	7
3. L'organigramme du CHU.....	10
4. Plan de masse	10
Chapitre 2 : Etude des installations électriques	11
1. Le groupe électrogène et son mécanisme de fonctionnement :	11
2. Les postes de transformation	12
2.1 Poste de transformation 1 et ses équipements:	12
2.2 Poste de transformation 2 et ses équipements :	13
2.3 Poste de transformation 4 et ses équipements:	14
2.4 Poste de transformation 3 et ses équipements	15
3. Tableau général basse tension (TGBT) :	16
4. Groupe froid et son principe de fonctionnement:	18
5. Centrale de traitement d'air (CTA) et son principe de fonctionnement	19
Chapitre 3 : Bilan sur les factures MT.....	20
1. Mode de facturation MT GENERAL	20
1.1 Les éléments de la facture	20
1.2 Tarif général Moyenne Tension :	21
2. Analyse des factures (2012-2013-2014).....	23
2.1 Tableaux récapitulatifs des consommations	23
2.2 Le graphe d'évolution de la puissance appelée durant les années (2012, 2013,2014)	26
2.3 Analyse du facteur de puissance $\cos \varphi$	26
2.3.1 Conséquence d'un faible facteur de puissance	26
2.3.2 Apport de l'amélioration du facteur de puissance	27
2.3.3 Le graphe d'évolution de $\cos \varphi$ durant les trois années (2012, 2013,2014)	27
3. Optimisation des factures d'électricité	28
3.1 La réduction de la puissance souscrite	28
Chapitre 4 : solutions proposées pour optimiser	31
1. Action sur les transformateurs.....	31
1.1 Tables des mesures	32

1.2	Analyse des données	34
1.2.1	Contrôle de la qualité de l'énergie électrique:	34
1.2.2	Analyse des harmoniques	35
1.3	Minimisation des pertes énergétiques au niveau des transformateurs.....	37
2.	Délestage par le groupe froid	39
2.1.	Définition :	39
2.2.	Principe:.....	40
3.	Répartition des heures de travail :	41
3.1.	Appareil de mesure.....	41
3.2.	Analyse des mesures	41
3.3.	Cas d'étude	42
4.	Optimisation énergétique au niveau d'éclairage extérieure.....	42
5.	Sensibilisation	44
	Conclusion.....	45

Introduction générale

L'électricité est l'une des verrous du développement, elle est définie comme une matière première ou un produit de base.

Pour cela, le droit à l'énergie est un droit fondamental, et qu'à l'instar de l'accès aux soins médicaux, la légitimité de ce droit à l'énergie, devrait figurer parmi les droits fondamentaux de l'homme, qui pose par la suite plusieurs problèmes, notamment la gestion de la consommation d'électricité, l'objectif donc c'est de minimiser autant que possible les coûts relatifs à l'utilisation de cette énergie, ce qui revient à dépenser moins pour un même niveau de performance : moins d'énergie consommés, moins d'investissement, (réduire la consommation d'énergie : kWh, Joules, etc.) ou améliorer la performance à dépense d'énergie égale : plus de temps de fonctionnement utile, plus de productivité,...il s'agit de réduire les coûts de non disponibilité de l'énergie ou des installations.

Vu son importance et son intérêt dans notre vie généralement nous nous sommes intéressés au sujet d'optimisation de la consommation d'énergie nous avons eu l'opportunité, de travailler sur un tel sujet comme projet de fin d'étude pendant deux mois au sein du service technique du Centre Hospitalier Universitaire de Fès.

Notre projet porte sur l'optimisation de la consommation d'énergie électrique au sein du CHU en s'intéressant à plusieurs paramètres principaux comme la puissance souscrite, les pertes au niveau des installations techniques, les types de tarification, et les différents modes de facturations adapté pour le CHU. Selon le cahier de charge suivant :

- Faire une description générale des installations électriques et leurs consommations mensuelles,
- Etudier les factures de consommation électricité Moyenne Tension pour les années 2012, 2013 et 2014,
- Etudier et simuler les solutions possibles pour optimiser la consommation d'électricité.

Cependant, avant de présenter ma réponse au cahier des charges, il est indispensable de faire une petite présentation de l'organisme d'accueil.

Chapitre 1 : Présentation du CHU HASSAN II FES

Dans ce premier chapitre on expose l'organisme d'accueil, il donne un aperçu sur le Centre Hospitalier Universitaire Hassan II, la création, les services disponibles, la capacité litières et le budget.

1. Introduction générale du CHU

Le centre Hospitalier Universitaire Hassan II de Fès est un établissement semi-public de santé a été créé en novembre 2001 et c'est en janvier 2009 que le nouveau complexe hospitalier a été inauguré par SM le Roi Mohammed VI. Cet édifice sanitaire, prévu pour répondre aux besoins de plus de quatre millions d'habitants (Régions Fès Boulomane, Meknès-Tafilalet et Taza-Al Hoceima-Taounate), a pour objectif d'améliorer le taux de couverture médicale de cette population et de décongestionner les structures sanitaires déjà existantes dans ces régions et d'installer un esprit de qualité et une satisfaction des patients.



Figure 1 : Photo du centre hospitalier universitaire Hassan II

2. Fiche technique

Superficie :

1^{ère} Tranche : 8 ha

2^{ème} Tranche : 4.5 ha

La 1ère tranche comprend :

- Hôpital des spécialités
- Hôpital mère et enfant.
- Bloc consultations externes
- Laboratoires
- Locaux et galeries techniques

La 2ème tranche comprend :

- Oncologie
- Médecine Nucléaire.
- Administration.
- Unité de vie.
- Annexe morgue et régies.

Coût global : 1, 200 milliard de DH.

Financement :

- Budget général de l'Etat : 20%
- Fonds Saoudien du Développement : 80% prêt à 2% sur 30 ans

Capacité litière :

- 1 050 lits

Discipline :

Toutes les disciplines sauf psychiatrie, brûlés et rééducation

Structure du budget du CHU Hassan II

Le budget d'exploitation du CHU de Fès s'élève à 645 323 509,8 Dhs

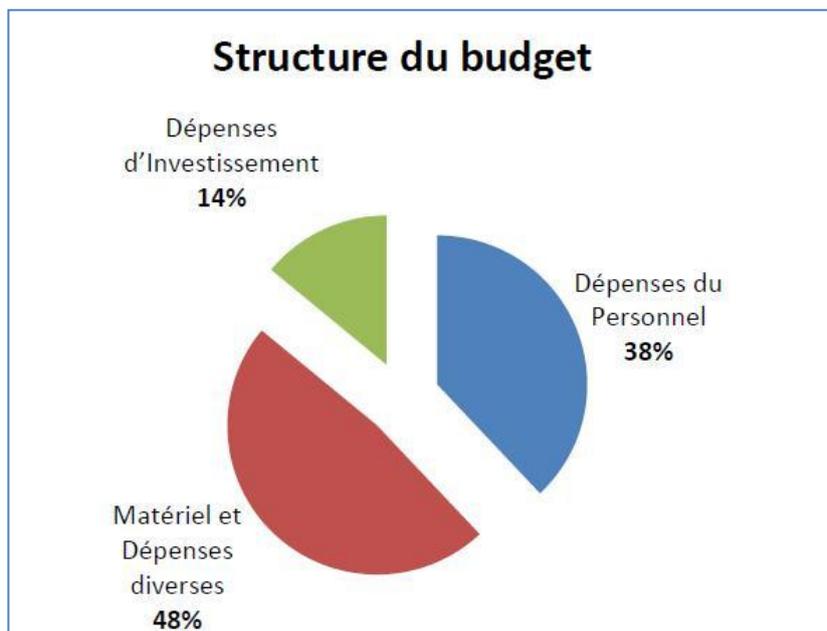


Figure 2 : Répartition du budget

Répartition du personnel :

- 662 personnels médicaux
- 1048 personnels infirmiers
- 308 personnels techniques et administratifs

Architecte :

- ✓ Charafeddine Berrada : Casablanca : Chef de groupement
- ✓ Anas ben souda : Rabat
- ✓ Hassan Assenhaji el Ghazi : Fès

3. L'organigramme du CHU

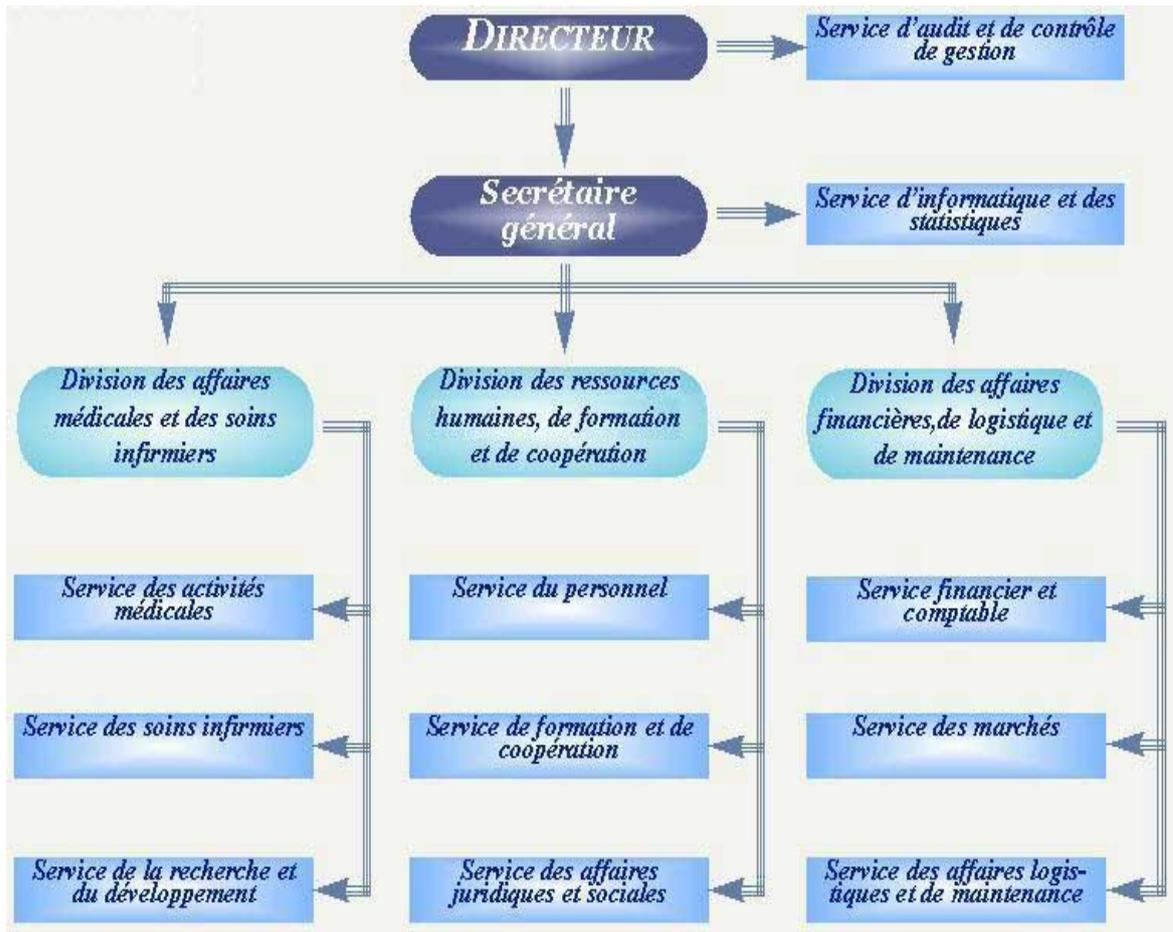


Figure 2 : organigramme général

4. Plan de masse

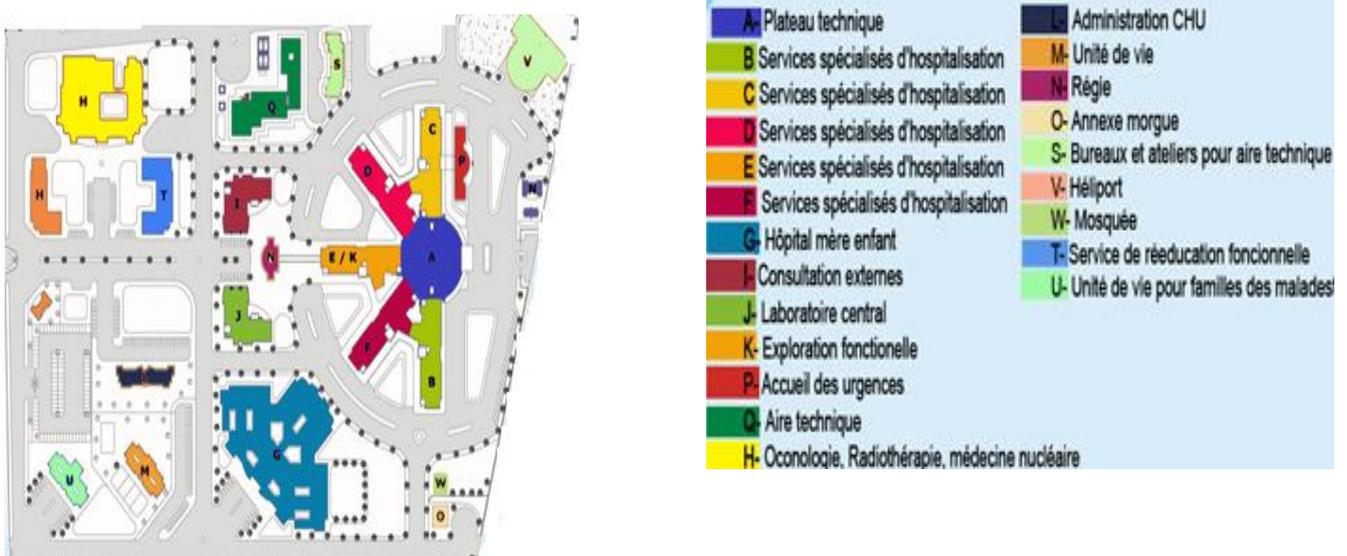


Figure 3 : plan de masse du CHU Hassan II

Chapitre 2 : Etude des installations électriques

1. Le groupe électrogène et son mécanisme de fonctionnement :



Figure 4 : Groupe électrogène

Les deux groupes électrogènes couplés aux réseaux RADEEF démarrent de façon autonome lors d'une coupure de secteur. Les groupes doivent être synchronisés avant de les associer sur le même jeu de barre. Les moteurs thermiques fonctionnent en gasoil entraîne un alternateur, il est mis en service par un démarreur (moteur auxiliaire à courant continu), le démarreur est alimenté automatiquement par une batterie qui est chargée avant la coupure de secteur à travers la source alternative de courant en utilisant des redresseurs pour passer de l'alternatif au continu, la production d'une tension utile à la sortie de l'alternateur a besoin d'un mécanisme capable à faire tourner son axe.

Le combustible passe par un filtre des gouttes d'eau avant l'injection, l'injecteur prend la quantité nécessaire du combustible, la quantité non utilisée est refroidi puis elle retourne vers la cuve. La combustion est réalisée grâce à trois étapes :

- L'injection : l'injection du gasoil.
- L'admission : l'air ambiant est filtré puis il entre dans la chambre de combustion.
- L'inflammation : l'inflammation est nécessaire pour la combustion (création des étincelles).

A cause de la combustion une forte surpression est établie à l'intérieur de la chambre ce qui déplace brutalement le bras. L'axe du moteur commence à tourner, Le moteur est à 4 temps donc 4 chambres sont participées pour aider l'axe à réaliser une tour. la machine est synchrone alors la fréquence de rotation est égale à la fréquence de la sortie de l'alternateur cette sortie est injectée au primaire d'un transformateur de type élévateur et qui possède les

caractéristiques suivantes : tension primaire : 400V tension secondaire : 20KV puissance apparente: 1600KVA.

Remarque : le groupe électrogène est préchauffé lorsqu'il est en repos par une résistance chauffante. Lorsqu'il fonctionne, une grande énergie est développée donc il faut arrêter le préchauffage et déclencher le circuit de refroidissement.

Le schéma ci-dessous montre le mécanisme simplifié de ce fonctionnement

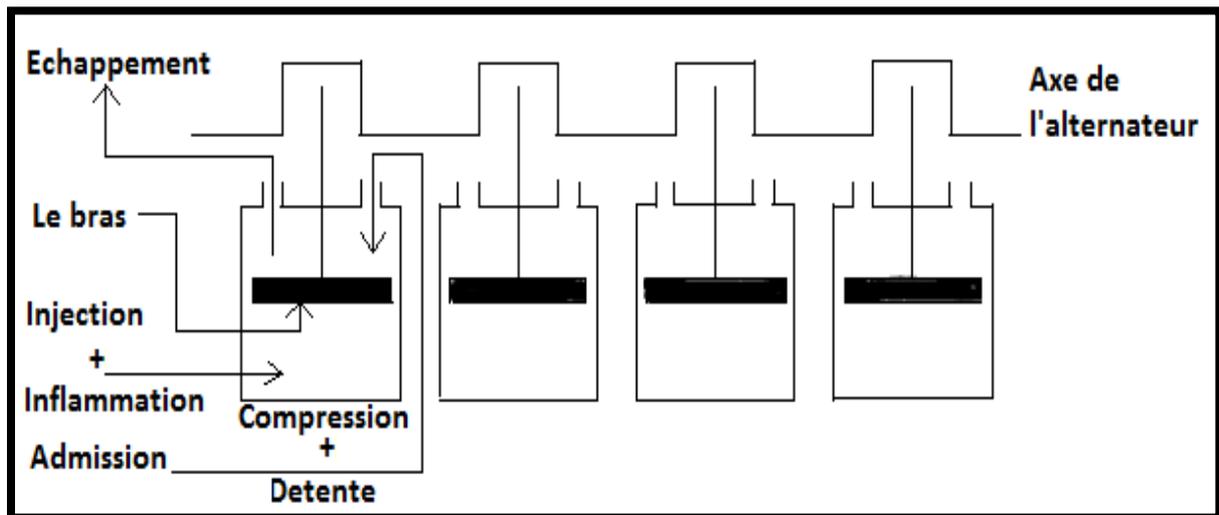


Figure 5 : Schéma simplifié du mécanisme

2. Les postes de transformation

Pour assurer la bonne répartition d'énergie électrique, l'hôpital possède 4 postes transformateurs de type immergés à huile alimentés en boucle sur le réseau HTA.

Le nombre des transformateurs est de l'ordre de 11 transformateurs, avec un bilan de puissance total $P_t=6930\text{KVA}$ (la puissance installée).

Poste 1 : 3 transformateurs de 630 KVA ;

Poste 2 : 2 transformateurs de 630 KVA ;

Poste 3 : 2 transformateurs de 630 KVA ;

Poste 4 : 4 transformateurs de 630 KVA ;

2.1 Poste de transformation 1 et ses équipements:

Il est situé au niveau du sous-sol bâtiment A.

Le poste1 assure l'alimentation en énergie électrique de l'hôpital des spécialités (Bâtiments : A, B, C, D, E et F).

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 1 :

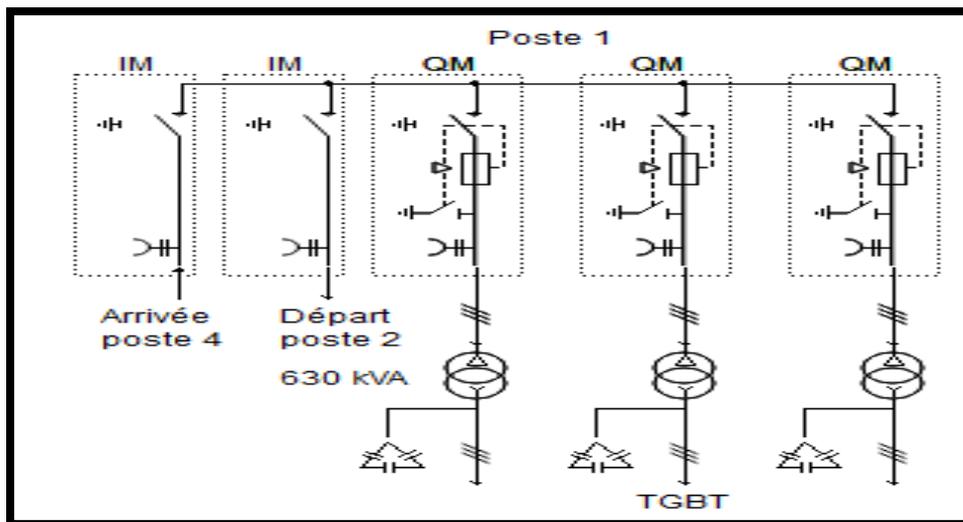


Figure 6 : Schéma unifilaire du poste 1

Les équipements de ce poste :

Tableau 1 : Equipement du poste 1

Désignations	Quantité
Cellule arrivée/départ type IM + relais Vigirex RH 110 MG	2
Cellule de protection transfo type QM + fusible 40A	3
Transformateur de 630 KVA, neutre à la terre	3
TGBT (Compensation intégrée)	1
Chargeur 24V	1
Armoire signalisation M (DGPT2/3TR)	1

2.2 Poste de transformation 2 et ses équipements :

Situé au niveau du sous-sol bâtiment G (Hôpital mère et enfant) assure l'alimentation en énergie électrique pour le bâtiment G.

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 2 :

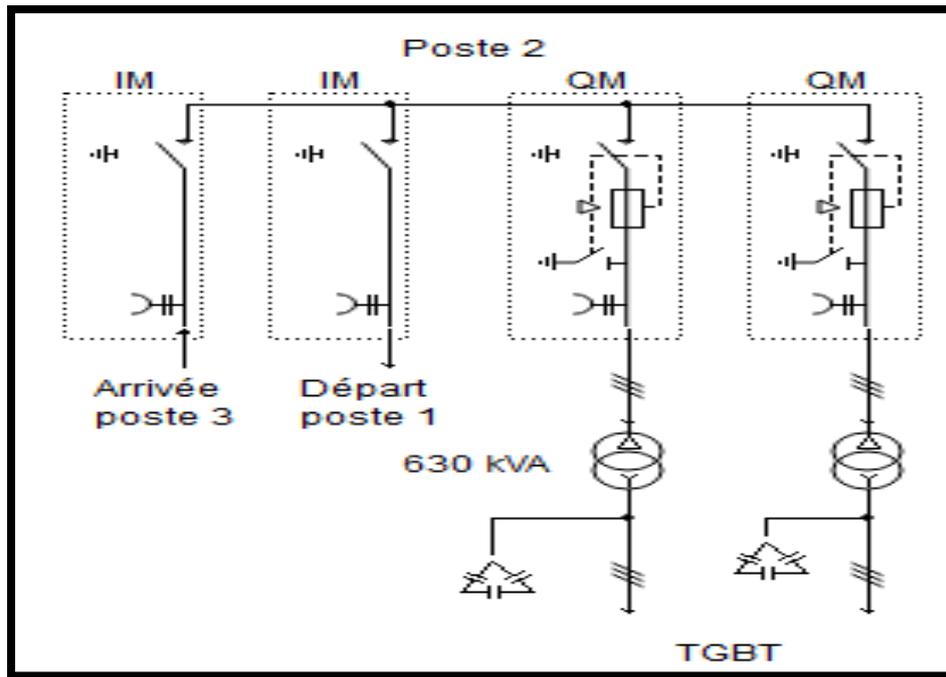


Figure 7 : Schéma unifilaire du poste 2

Les équipements de ce poste :

Tableau 2 : Equipement du poste 2

Désignations	Quantité
Cellules arrivée/départ type IM	2
Cellules de protection transfo type QM avec fusible de 40A	2
TGBT (Compensation intégrée)	1
Chargeur 24V	1
Armoire signalisation DGPT2/ TR2	1
Transfo, neutre à la terre	2

2.3 Poste de transformation 4 et ses équipements:

Situé à côté des locaux techniques (bâtiment T), il est destiné pour l'alimentation de toutes les installations techniques.

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 4 :

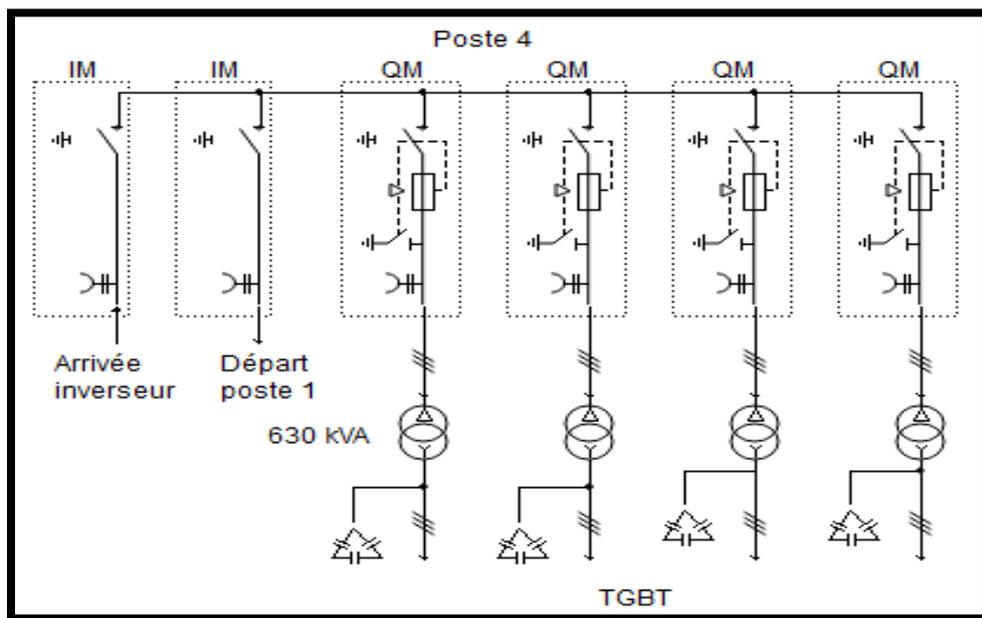


Figure 8 : Schéma unifilaire poste 4

Les équipements de ce poste :

Tableau 3 : Equipement de poste 4

Désignation	Quantité
Cellules arrivée/départ type IM	2
Cellules de protection type QM	4
Transfo, neutre à la terre	4
TGBT (Compensation intégrée)	1
Chargeur 24V	1
Armoire de signalisation DGPT2/TR4	1

2.4 Poste de transformation 3 et ses équipements

Situé près des locaux techniques (bâtiment T), réservé pour alimenter la 2ème tranche (Oncologie, Médecine Nucléaire, Administration, Maison de vie, Internat).

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 3 :

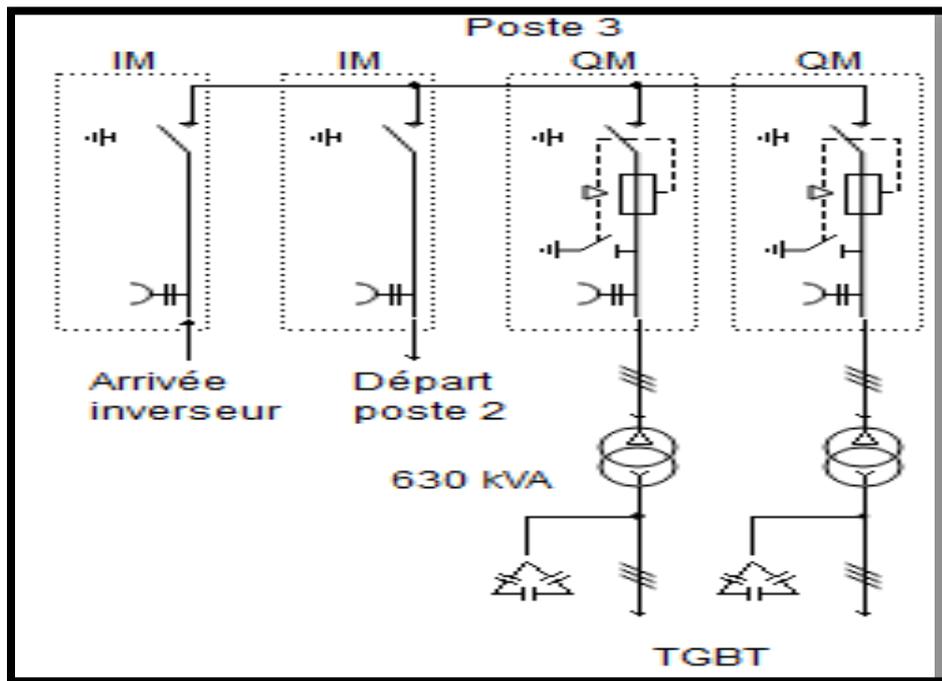


Figure 9 : Schéma unifilaire poste 3

Les équipements de ce poste :

Tableau 4 : Equipement du poste 3

Désignations	Quantité
Cellules Départ /Arrivée type IM	2
Cellules de protection, avec fusible 40A type QM	2
Transfo	2
Armoire de compensation	1
TGBT (compensation intégrée)	1
Armoire de signalisation DGPT2/TR4	1

3. Tableau général basse tension (TGBT) :

L'armoire de distribution de type TGBT (Tableau Général Basse Tension) assure la fonction de distribution électrique alimentant les différents équipements de l'hôpital et pilote le démarrage ou l'arrêt des groupes électrogènes lorsqu'il détecte une absence ou présence de tension du réseau local en un temps très court grâce au système d'inverseurs normal/secours.

Le schéma ci-dessous représente les différents éléments de l'armoire TGBT :

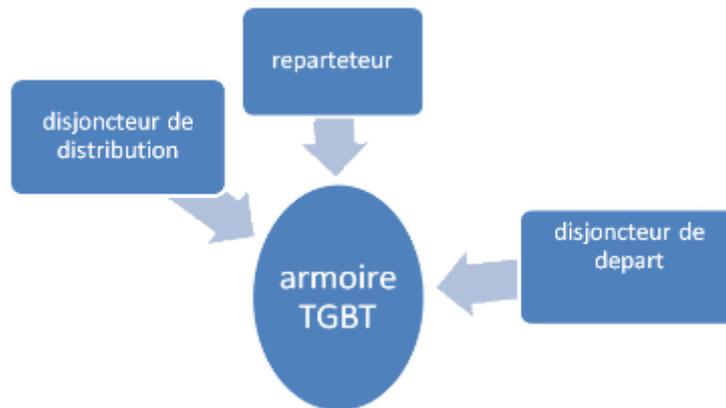


Figure 10 : Schéma synoptique de la distribution

Une panne dans l'armoire TGBT prive l'établissement de santé d'électricité. Il doit donc être protégé contre les foudres compte tenu de sa sensibilité.

Le TGBT est composé de disjoncteurs de commande. Son exploitation et sa maintenance doivent être effectuées avec le minimum de perturbations pour les utilisateurs.



Figure 11 : photo TGBT

4. Groupe froid et son principe de fonctionnement:

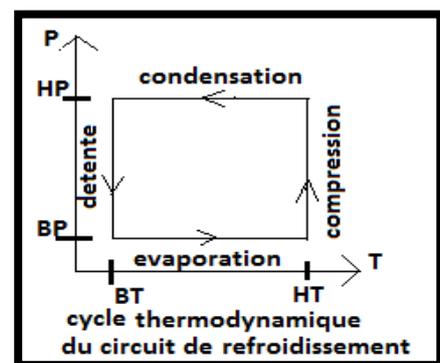
La production du froid pour le besoin de l'hôpital nécessite l'utilisation d'un groupe capable d'extraire la chaleur du milieu à refroidir d'une première vue ce groupe est composé de 24 condenseurs à ventilation forcée, une sortie et une entrée d'eau.

Remarque : au CHU il existe deux groupes froids.



Figure 13 : Groupe froid

L'eau entrée est refroidi grâce au contact séparé avec le liquide frigorigère. Ce contact permet à l'eau de céder sa chaleur par l'évaporateur tout en garantissant l'équilibre thermique avec le liquide frigorigère. L'eau glacée délocalise vers les services à travers un circuit appelé circuit de sortie équipé d'un pressostat. Maintenant le liquide est dans l'état gazeux et il est en basse pression il passe ensuite dans le compresseur qui aspire et refoule toujours le réfrigérant en phase vapeur. Pour élever sa pression ce mécanisme de compression peut produire des saletés donc un séparateur d'huile est nécessaire dans cette étape. Et pour rendre le gaz liquide il doit forcément passer par un condenseur à ventilation forcée, ensuite le liquide frigorigère (haute pression) passe par le filtre d'eau pour séparer les gouttes d'eau produites lors de la condensation du liquide frigorigère. Le liquide n'est réutilisé que s'il est en basse pression d'où le détendeur. L'eau traitée est recyclé afin de garantir un refroidissement continu.



La figure ci-dessous montre le cycle de refroidissement de l'eau dans le groupe froid :

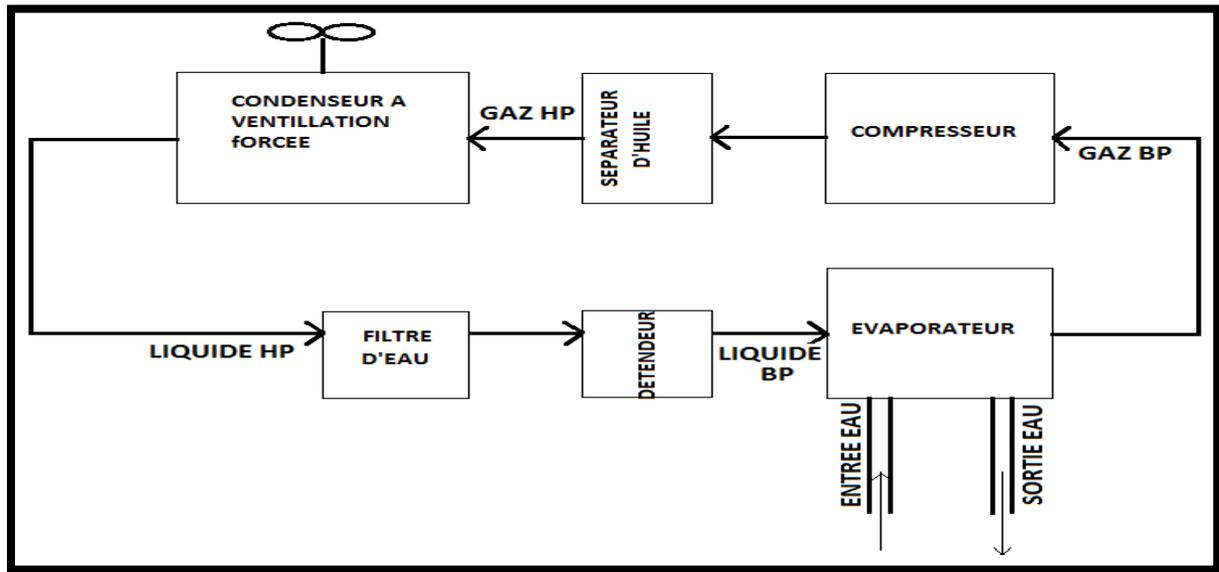


Figure 14 : Cycle de refroidissement de l'eau

5. Centrale de traitement d'air (CTA) et son principe de fonctionnement

La centrale de traitement d'air fait le traitement d'air ambiant, l'air à traiter passe par une grande batterie.



Figure 15 : CTA

L'air neuf est entré à travers les volets d'air, il passe par les filtres puis il se dirige vers les batteries ou les échangeurs thermiques, ces échangeurs permettent d'obtenir la température prescrite de l'air ambiant.

Batterie froide : elle est alimentée en eau froid d'où le refroidissement d'air.

Batterie chaude : elle est alimentée en eau chaud, elle assure le préchauffage de l'air par conduction ou convection en cas de besoin.

Chapitre 3 : Bilan sur les factures MT

Dans ce chapitre on va aborder l'analyse du profil de consommation annuelle de l'énergie électrique des factures de type Moyenne Tension général, de définir quelques notions de base dans la facture, maîtriser les facteurs énergétique et par la suite diminuer les coutes et éviter les pénalités sur le dépassement de la puissance souscrite, en faisant des simulations numériques pour pouvoir définir les valeurs optimales des pics de consommations.

1. Mode de facturation MT GENERAL

La facturation moyenne tension couvre l'ensemble des opérations effectuées, en vue de l'établissement des factures MT correspondantes à une période mensuelle de consommation d'électricité. La facture est basée sur le relevé mensuel des compteurs numériques. Ces compteurs sont programmés pour mémoriser les index anciens et nouveaux.

1.1 Les éléments de la facture

Le montant à facturer à chaque client Moyenne Tension pour ses consommations mensuelles d'électricité, est la somme des redevances calculées en fonction des éléments suivants :

• **La consommation facturée**

• **L'option tarifaire** : MT GENERAL.

• **La puissance souscrite** : une caractéristique du contrat de fourniture d'électricité. Il s'agit d'une indication de puissance maximale qui ne doit pas être franchie.

• **La puissance appelée** : C'est la puissance maximale demandée par le client.

• **Le facteur de puissance** : C'est le quotient de la puissance active consommée par l'installation sur la puissance apparente fournie à l'installation.

• **Les redevances de comptages**

1.2 Tarif général Moyenne Tension :

La tarification de la **RADEEF** est définie dans le cadre de la politique énergétique nationale, elle doit englober toutes les charges d'investissement et d'exploitations relatives à la production de l'électricité .Cette tarification actuelle présente trois postes horaires durant douze mois.

a- Les postes horaires sont définis comme suit :

Le tableau ci-dessous montre les différents postes horaires

Tableau 6 : les postes horaires

Postes Horaires	Hiver Du 01/10 au 31/03	Été Du 01/04 au 30/09
Heures de pointe (HP)	17h à 22h	18 h à 23h
Heures normales (HN)	07h à 17h	07h à 18h
Heures Creuses (HC)	22h à 07h	23h à 07h

b- Tarifs de vente (en DH TTC) :

Le tableau ci-dessous montre les tarifs de vente des différents postes horaires.

Tableau 7 : comparatif des prix de l'électricité par poste horaire

		Du 01/01/2012 au 31/12/2012	Du 01/01/2013 au 31/12/2013	Du 01/01/2014 au 31/07/2014	Du 01/08/2014 au 31/12/2014
Prime Fixe En DH/KVA/An		334,57	334,57	334,57	337,9
Redevances de consommation RC En DH/KWh	Heures de pointes	1,075880	1,075880	1,075880	1,152630
	Heures normales	0,706230	0,706230	0,706230	0,760960
	Heures creuses	0,459570	0,459570	0,459570	0,487540

c-Redevances de Consommation (RC) :

La redevance de consommation est facturée mensuellement comme suit :

$$RC = (\text{Prix HP} \times \text{Cons HP}) + (\text{Prix HN} \times \text{Cons HN}) + (\text{Prix HC} \times \text{Cons HC})$$

Où : -Prix HP: Prix du KWH pendant les heures de pointes ;

-Prix HN: Prix du KWH pendant les heures normales ;

- Prix HC: Prix du KWH pendant les heures creuses ;
- Cons HP: Energie active consommée pendant les heures de pointes ;
- Cons HN: Energie active consommée pendant les heures normales ;
- Cons HC: Energie active consommée pendant les heures creuses ;

d-Redevances de puissance (RP) :

La redevance de puissance (RP) est facturée mensuellement en fonction de la puissance souscrite selon la formule suivante :

$$\mathbf{RP = PF / 12 \times PS}$$

Avec PF : Prime fixe annuelle ;
PS : Puissance souscrite ;

e- Dépassement des puissances souscrites :

La puissance appelée par l'hôpital ne doit pas dépasser la puissance souscrite, au cas de dépassement de cette puissance l'hôpital paye une pénalité.

Si, durant un mois d'année, la puissance maximale appelée (PA) dépasse la valeur de la puissance souscrite (PS), la différence positive des deux puissances nous donne la redevance dite de dépassement de puissance souscrite (RDPS) déterminée comme suit :

$$\mathbf{RDPS = 1,5 \times PF / 12 \times (PA - Ps)}$$

Où : PA : puissance maximale appelée pendant le mois ;

f-Majoration pour facteur de puissance inférieur à 0.8 (Maj. (Cosφ) :

Si au cours d'un mois de facturation, la quantité d'énergie réactive consommée par le client est telle que le facteur de puissance moyen mensuel correspondant est inférieur à 0.80, le montant total des redevances dues par le client au titre de sa consommation mensuelle (Redevances de puissance souscrite, Redevance éventuelle de dépassement de puissance et redevances de consommation) sera majoré de 2% pour chaque centième d'insuffisance du facteur de puissance constaté.

$$\mathbf{Maj. (cos\varphi) = 2 \times (0,8-(cos\varphi)) \times (RC+RP+RDPS)}$$

2. Analyse des factures (2012-2013-2014)

2.1 Tableaux récapitulatifs des consommations

On a ci-dessous les tableaux contenant les consommations des années (2012-2013-2014) selon les postes horaires définis par la RADEEF :

Tableau 8 : récapitulatifs des consommations

2012	Heures Normales (KWh)	Heures Pointe (KWh)	Heures Creuses (KWh)	Total (KWh)	COS φ	Puissance Appelée (KVA)
Janvier	251180	114420	183940	549540	1	1240
Février	250596	113587	179651	543834	1	1220
Mars	251660	112000	180580	544240	1	1560
Avril	308400	126880	182320	617600	1	1520
Mai	344840	137560	190240	672640	1	1660
Juin	475080	191700	265340	932120	0,99	1878,79
Juillet	511580	209960	296640	1018180	0,99	1919,19
Août	504040	218700	297900	1020640	0,98	1938,78
Septembre	369380	147880	209180	726440	0,98	1755,1
Octobre	354440	161780	254580	770800	1	1400
Novembre	222740	104800	150280	477820	1	1180
Décembre	298000	136260	224840	659100	1	1280
Total (kWh)	4141936	2615491	1775527	8532954	-	-
Total (DH)	2918803,37	1211192,57	1926043,43	6056039,37	-	-
% en(KWH)	49%	31%	21%	100%	-	-
% en (DH)	48%	20%	32%	100%	-	-

2013	Heures Normales (KWh)	Heures Pointe (KWh)	Heures Creuses (KWh)	Total (KWh)	COS φ	Puissance Appelée (KVA)
Janvier	241900	114040	181920	537860	1	1140
Février	289640	132400	224940	646980	1	1160
Mars	228740	109180	173720	511640	1	1180,03
Avril	329020	140720	206440	676180	1	1180
Mai	292540	120640	169260	582440	1	1680
Juin	429800	174060	250860	854720	0,95	1747,37
Juillet	401360	173380	237500	812240	0,99	1898,99
Août	525040	227480	324920	1077440	0,98	2061,22
Septembre	354600	149420	207400	711420	0,99	1595,96
Octobre	360420	169220	284040	813680	0,99	1434,34
Novembre	228840	111120	174220	514180	1	1160
Décembre	259600	121400	193620	574620	1	1140,01
Total (kWh)	3941500	2628840	1743060	8313400	-	-
Total (DH)	2783605,53	1208136	1875323,38	5867064,91	-	-
% en(KWH)	47%	32%	21%	100%	-	-
% en (DH)	47%	21%	32%	100%	-	-

2014	Heures Normales (KWh)	Heures Pointe (KWh)	Heures Creuses (KWh)	Total (KWh)	COS φ	Puissance Appelée (KVA)
Janvier	247340	113600	180480	541420	1	1120
Février	227160	101520	162980	491660	1	1060
Mars	247020	113020	183680	543720	1	1040
Avril	279380	112440	162140	553960	1	1260
Mai	336120	138440	199340	673900	1	1400
Juin	313840	130860	186320	631020	1	1280
Juillet	351960	151020	215740	718720	1	1580
Août	385460	165260	218740	769460	0,99	1636,36
Septembre	358900	149840	209900	718640	0,99	1656,57
Octobre	316960	148660	241740	707360	0,99	1414,14
Novembre	240420	113440	181200	535060	1	1140
Décembre	279220	129220	204860	613300	1	1220
Total (kWh)	3583780	2347120	1567320	7498220	-	-
Total (DH)	2617498,88	1108214,56	1740466	5466179,44	-	-
% en(KWH)	48%	31%	21%	100%	-	-
% en (DH)	48%	20%	32%	100%	-	-

L'analyse de ces tableaux nous permet de déduire les conclusions suivantes :

-La consommation moyenne (2012) est de 711079 kWh/mois avec des pics à plus de 1 000000 kWh pendant les mois de juillet et août, ainsi la puissance appelée est en moyenne de 1537KVA.

-La consommation moyenne (2013) est de 692783 kWh/mois avec des pics à plus de 1 000 000 kWh pendant le mois d'août , ainsi La puissance appelée est en moyenne de 1448KVA.

-La consommation moyenne (2014) est de 624852 kWh/mois avec des pics qui ne dépassent pas 800 000 kWh en été, ainsi la puissance appelée est en moyenne de 1317 KVA.

-la puissance souscrite est fixée en 1200 KVA.

Conclusions :

La consommation augmente en mois d'été → du fait de la mise en marche des groupes froids pour la climatisation des bâtiments.

Le taux d'exploitation des trois années des heures normales et le plus élevée par rapport aux heures creuses et pointes mais pour le taux de consommation on remarque un changement au niveau de ces dernières → une mauvaise gestion des heures creuses et pointes.

D'après les valeurs qu'on a pris, on peut dire que celles d'une seule année ne sont pas suffisantes pour avoir une idée claire sur le comportement d'exploitation de la puissance ; ce qui justifie notre choix de faire l'étude sur trois années.

2.2 Le graphe d'évolution de la puissance appelée durant les années (2012, 2013,2014)

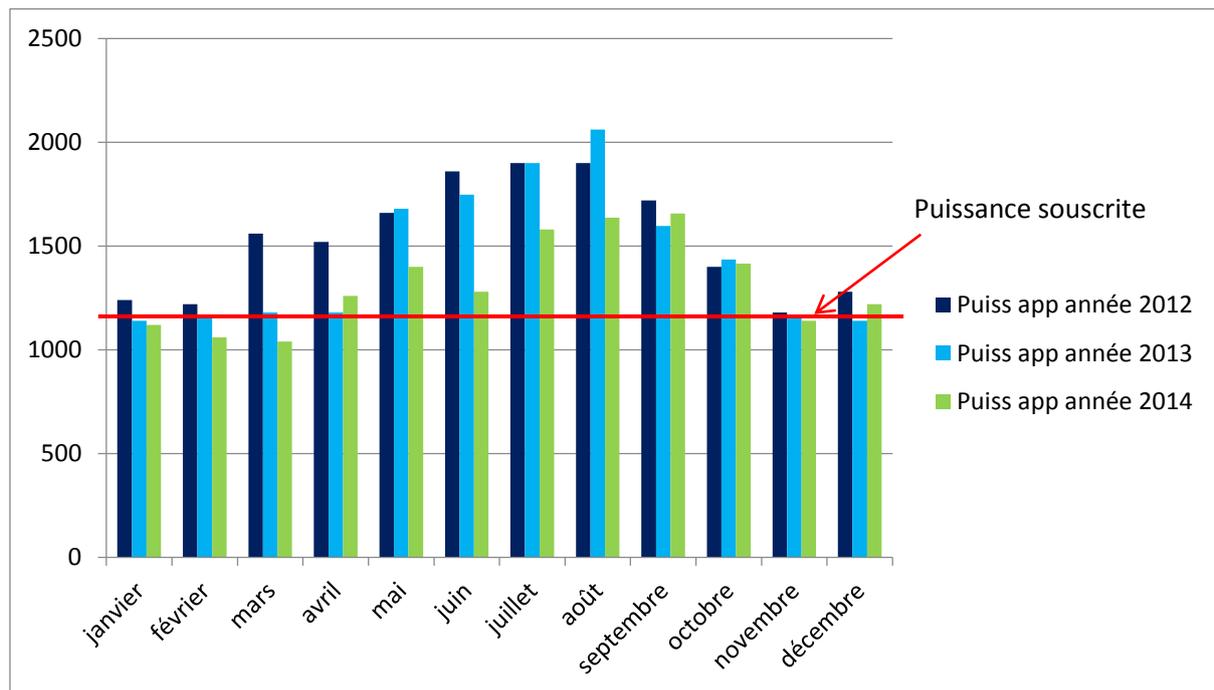


Figure 17: Puissance Appelée(KVA) =f (mois) en (2012, 2013,2014)

-Durant l'année 2012, le CHU a dépassé la puissance souscrite dans toute l'année sauf novembre dans lequel il paye des pénalités.

-Durant l'année 2013, le CHU a dépassé la puissance souscrite dans les mois : mai, juin, juillet, août, septembre et octobre dans lesquels il paye des pénalités.

-Durant l'année 2014, le CHU a dépassé la puissance souscrite dans les mois : avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et décembre dans lesquels il paye des pénalités.

2.3 Analyse du facteur de puissance $\cos \varphi$

Facteur de puissance : $\cos \varphi = P/S$

Avec P : puissance active = $\sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$

U : la tension entre phase et neutre

S : puissance apparente = $\sqrt{3} * U * I$

I : le courant consommé par phase

2.3.1 Conséquence d'un faible facteur de puissance

*Pour le producteur de l'énergie :

- Surdimensionnement des transformateurs, des lignes et des appareils de coupure, etc.
- Réduction de la capacité du réseau électrique.
- Augmentation des pertes en ligne, puisque proportionnelle en carré du courant appelé.

* Pour le consommateur (hôpital)

- Pénalité.
- Investissement plus important pour le transformateur et les câbles.

2.3.2 Apport de l'amélioration du facteur de puissance

*Pour le producteur

- Réduction des pertes en ligne
- Durée de vie des équipements

*Pour l'installation

- Réduction des pertes dans les câbles et les transformateurs
- Optimisation des équipements existants (transformateurs...), soulagement de quelques équipements.
- Investissement approprié en équipement transfo, câble....
- la suppression de la facturation d'énergie réactive

2.3.3 Le graphe d'évolution de $\cos \varphi$ durant les trois années (2012, 2013,2014)

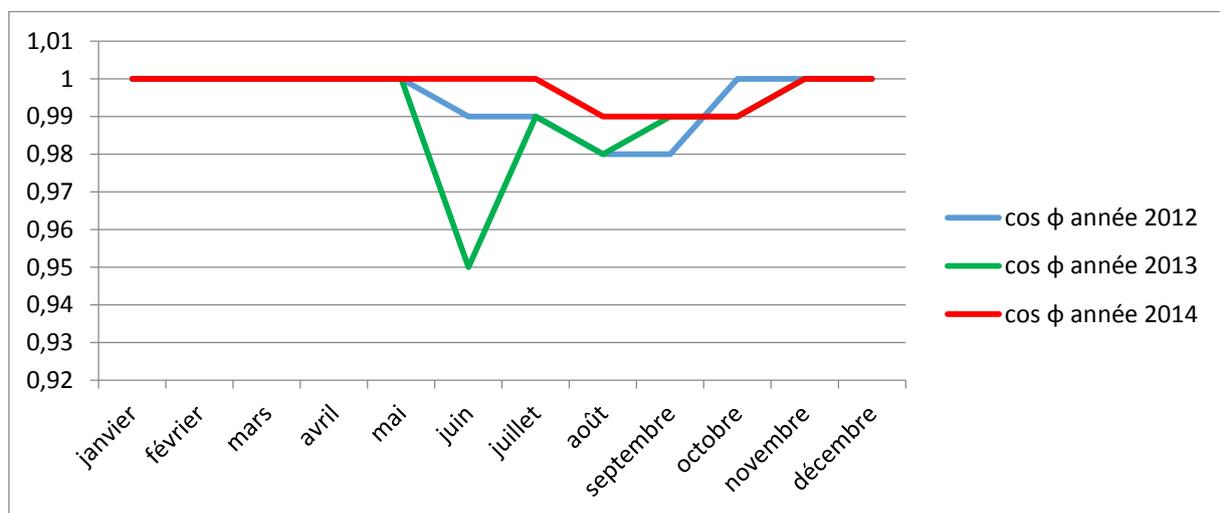


Figure 18 : $\cos \varphi=f$ (mois) en (2012, 2013,2014)

On remarque que le $\cos \varphi$ est très bon ($>0,8$ d'après les normes) et c'est grâce aux batteries condensateurs qui compense l'énergie réactive, donc on n'a pas des pénalités a cause du facteur de puissance, mais c'est préférable de le maintenir à 1 pour éviter l'énergie réactive cumulée.

3. Optimisation des factures d'électricité

Cette partie traite des moyens et des mesures à mettre en œuvre pour obtenir des gains par une gestion des consommations électriques de l'hôpital.

3.1 La réduction de la puissance souscrite

La modification de la puissance souscrite à condition de la garder dans une marge correcte pour éviter les pénalités (dépassement), est une action qui permet de réduire le coût de la facture d'électricité sans investissement.

On a essayé de chercher une nouvelle puissance à souscrire de sorte que les pénalités diminuent.

Mais d'abord il faut savoir que Le distributeur d'énergie électrique **RADEEF**, exige des tarifs de facturation différents selon la consommation de l'abonné :

Pour le CHU, les tarifs sont :

->**27,88 DH** : prix unitaire mensuelle d'un KVA de la puissance apparente souscrite.

->**41.88 DH** : prix unitaire mensuelle d'un KVA de la puissance apparente dans le cas du dépassement de la puissance souscrite.

-> **T.V.A (14%** de la consommation d'énergie).

- > Et des primes fixes.

Donc plus la consommation d'énergie augmente, plus les tarifs augmentent aussi.

Pour obtenir la nouvelle puissance souscrite optimale, on a utilisé un outil dans Excel qui s'appelle **SOLVER**, cet outil a pour but de calculer automatiquement la valeur optimale en entrant les formules concernant chaque paramètre.

Tableau 9 : puissance optimale et gain annuel(DH) pour l'année 2012

PF (DH/KVA/an)	334,57	P.	Actuelle	Optimale
		Souscrite(KVA)	1200	1363,467147
Mois	PA. Max	RDV dép. /m	Rdv.dep/m	Rdv.dep/m
Janvier	1240		1672,85	0
Février	1220		836,425	0
Mars	1560		15055,65	8219,249583
Avril	1520		13382,8	6546,399583
Mai	1660		19237,775	12401,37458
Juin	1879		28396,62875	21560,22833
Juillet	1919		30069,47875	23233,07833
Août	1939		30905,90375	24069,50333
Septembre	1755,1		23214,97588	16378,57546
Octobre	1400		8364,25	1527,849583
Novembre	1180		0	0
Décembre	1280		3345,7	0
Rdv dép. /a(DH)			174482,4371	113936,2588
RDV Totale (DH)			575966,44	570111,4621
Gain annuel (DH)				
5854,975				

Le tableau ci-dessus présente la puissance appelée et les redevances de dépassement de chaque mois de l'année 2012, sachant que la puissance souscrite est : 1200 KVA, d'après le calcul on a trouvé que la puissance **1363KVA** est celle qui va engendrer moins de pénalités, et si on la compare avec 1200KVA elle nous donne un gain de : **5855DH/an**.

Si on généralise cette puissance souscrite optimale pour les années 2013 et 2014 : les pertes seront de **7184 DH /an**.

→ Pour être plus pratique il faut chercher une puissance souscrite optimale valable pour une longue durée (2012, 2013,2014) pour cela voilà le tableau suivant :

Tableau 10 : puissance optimale et gain annuel(DH) pour les années (2012, 2013,2014)

Année	mois	P.A	P.F	P.S. Actuelle 1200			P.S. Optimale 1219,999831		
				rdv fixe	rdv dép.	rdv mens	rdv fixe	rdv dép.	rdv mens
2012	janvier	1240	334,57	33457	1672,85	35129,85	34014,612	836,4320676	34851,044
	février	1220	334,57	33457	836,425	34293,43	34014,612	0,007067556	34014,619
	mars	1560	334,57	33457	15055,65	48512,65	34014,612	14219,23207	48233,844
	avril	1520	334,57	33457	13382,8	46839,8	34014,612	12546,38207	46560,994
	Mai	1660	334,57	33457	19237,775	52694,78	34014,612	18401,35707	52415,969
	Juin	1878,79	334,57	33457	27602,025	61059,03	34014,612	26765,60707	60780,219
	juillet	1919,19	334,57	33457	29274,875	62731,88	34014,612	28438,45707	62453,069
	août	1938,78	334,57	33457	29274,875	62731,88	34014,612	28438,45707	62453,069
	septembre	1755,1	334,57	33457	21747,05	55204,05	34014,612	20910,63207	54925,244
	octobre	1400	334,57	33457	8364,25	41821,25	34014,612	7527,832068	41542,444
	novembre	1180	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	décembre	1280	334,57	33457	3345,7	36802,7	34014,612	2509,282068	36523,894
2013	janvier	1140	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	février	1160	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	mars	1180,03	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	avril	1180	334,57	33457	20074,2	53531,2	34014,612	19237,78207	53252,394
	mai	1680	334,57	33457	22891,69761	56348,7	34014,612	22055,27968	56069,8916
	juin	1747,37	334,57	33457	29232,63554	62689,64	34014,612	28396,21761	62410,8296
	juillet	1898,99	334,57	33457	36017,29693	69474,3	34014,612	35180,87899	69195,4909
	août	2061,22	334,57	33457	16559,54215	50016,54	34014,612	15723,12422	49737,7362
	septembre	1595,96	334,57	33457	9800,391725	43257,39	34014,612	8963,973793	42978,5857
	octobre	1434,34	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	novembre	1160	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	décembre	1140,01	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
2014	janvier	1120	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	février	1060	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	mars	1040	334,57	33457	0	33457	34014,612	0	34014,612
	avril	1260	334,57	33457	2509,275	35966,28	34014,612	1672,857068	35687,469
	mai	1400	334,57	33457	8364,25	41821,25	34014,612	7527,832068	41542,444
	juin	1280	334,57	33457	3345,7	36802,7	34014,612	2509,282068	36523,894
	juillet	1580	334,57	33457	15892,075	49349,08	34014,612	15055,65707	49070,269
	août	1636,36	337,9	33790	18430,7555	52220,76	34353,1619	17586,01264	51939,1745
	septembre	1656,57	337,9	33790	19284,37538	53074,38	34353,1619	18439,63251	52792,7944
	octobre	1414,14	337,9	33790	9044,73825	42834,74	34353,1619	8199,995388	42553,1573
	novembre	1140	337,9	33790	0	33790	34353,1619	0	34353,1619
	décembre	1220	337,9	33790	844,75	34634,75	34353,1619	0,0071379	34353,169
				RDV 3 années	1588203		RDV 3 années	1587360,99	
				Gain annuel					
				280,6559618 DH					

Donc on peut constater d'après ce tableau récapitulatif que la puissance souscrite optimale est de 1220 KVA est très proche de celle choisie par le CHU qui est 1200KVA, et il a un faible gain de 300 DH/an.

Même si cette méthode nous n'as pas donné un gain important mais ça reste une méthode efficace à appliquer tous les trois ans pour vérifier le comportement de la puissance appelée par le CHU afin de réadapter la puissance souscrite à celle optimale.

Chapitre 4 : Solutions proposées pour optimiser

1. Action sur les transformateurs

La charge de l'installation électrique du CHU est répartie sur onze transformateurs

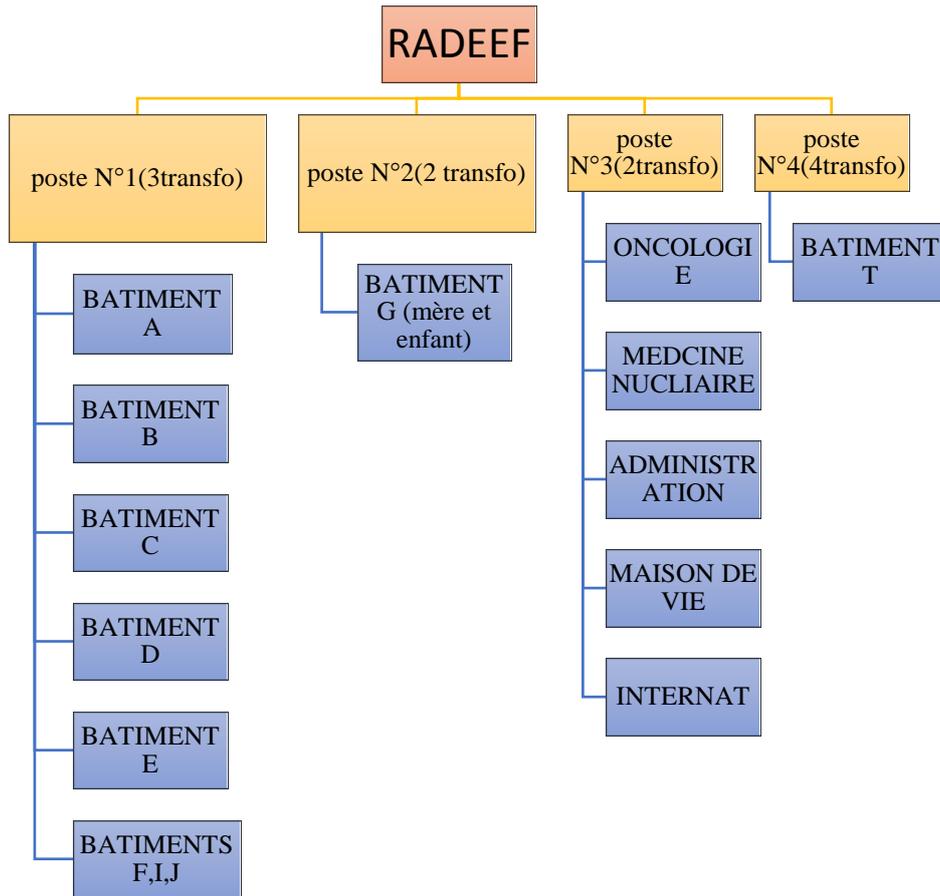
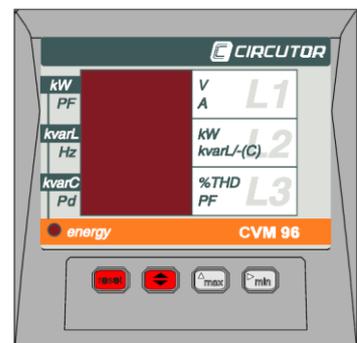


Figure 19 : Répartition des postes transformateurs

Dans cette partie on va étudier le comportement des transformateurs en se basant sur des mesures et des données qu'on a relevé de chaque



poste transformateur durant une heure, on utilise le CVM-96 qui est un instrument de mesure programmable, offrant plusieurs possibilités de fonctionnement sélectionnables dans son

option SET-UP. Il mesure, calcule et affiche tous les principaux paramètres électriques à tout réseau électrique (équilibrée ou non).

1.1 Tables des mesures

Tableau 11 : les mesures au niveau des postes 1,2 et 4 durant une heure

-Pour le poste 1 : (Transformateur 1)

	U			I			P			Q			THD(v)		
	U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	L1	L2	L3
T1;10:30	396,8	394,5	396,2	295,8	279,4	293	66	60	64,8	15,8	19,4	16,8	3,1	2,8	2,6
T1;10:40	397,5	395,4	396,8	294,8	269,4	294,8	66,4	58,2	64,8	16,2	19,2	17,8	3,1	2,8	2,6
T1;10:50	396,8	394,2	395,8	296,6	298,2	310	67,2	64	69	15,8	18,6	18	2,9	2,7	2,5
T1;11:00	400	397,4	398,8	289,8	269,4	306,8	63	57	68,6	18,4	17,6	19	3,1	2,9	2,8
T1;11:10	399,6	396,7	398,4	271,6	270	308,4	61,6	59	69,4	17,8	17,2	19	3	2,7	2,6
T1;11:20	399,8	396,4	398,1	284,6	258,8	313,6	62,4	56,4	69	18	16,8	17,8	3,2	2,7	2,6
T1;11:30	400,1	397,4	399	307,6	285,4	326,2	68,6	62,2	71,6	17,8	19,8	19,6	3,3	3	2,8
MIN	396,8	394,2	395,8	271,6	258,8	293	61,6	56,4	64,8	15,8	16,8	16,8	2,9	2,7	2,5
MAX	400,1	397,4	399	307,6	298,2	326,2	68,6	64	71,6	18,4	19,8	19,6	3,3	3	2,8
MOY	398,7	396	397,6	291,5	275,8	307,5	65,03	59,54	68,17	17,11	18,37	18,29	3,1	2,8	2,643

	THD(A)			COS ϕ			P Tot	Ql	Qc	COS ϕ tot	f
	L1	L2	L3	L1	L2	L3					
T1;10:30	10,1	9,8	8,4	0,97	0,95	0,97	189,4	52	0	0,96	50
T1;10:40	7,2	8,5	7,1	0,97	0,95	0,96	189	53,4	0	0,96	50
T1;10:50	9,3	7,3	7,3	0,97	0,95	0,96	189,2	55,4	0	0,96	50
T1;11:00	8,7	7,6	6,5	0,96	0,96	0,96	198,2	55,2	0	0,96	50
T1;11:10	8,3	8	7,9	0,95	0,95	0,96	192	55	0	0,96	50
T1;11:20	7,9	8,2	6,8	0,96	0,95	0,97	190,4	52,8	0	0,96	50
T1;11:30	8,5	8,3	7,1	0,97	0,95	0,96	207,6	57,2	0	0,96	50
MIN	7,2	7,3	6,5	0,95	0,95	0,96	189	52	0	0,96	
MAX	10,1	9,8	8,4	0,97	0,96	0,97	207,6	57,2	0	0,96	
MOY	8,571	8,243	7,3	0,964	0,951	0,963	193,685714	54,4285714	0	0,96	

-Pour le poste 2 : (Transformateur 1)

	U			I			P			Q			THD(v)		
	U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	L1	L2	L3
T1;10:30	400,2	394,2	396,7	101,3	131,1	94,7	17,1	19	14,1	0	8,8	6,2	3,1	2,6	2,9
T1;10:40	397	394,1	396,1	104,32	132	99	23,4	28,6	21,6	5,8	8	5,8	2,9	2,5	2,6
T1;10:50	401,6	398,8	400,4	103,8	126	95,8	22,4	28,2	21,8	0	8,2	6,4	3,2	3	2,9
T1;11:00	399,4	396,5	398,3	101	129,8	105,6	22,4	30,6	22,4				3,3	2,8	2,7
T1;11:10	404,3	401	403,2	105,8	163,6	101,2	23	30,4	21,4				3,4	2,8	2,9
T1;11:20	402,4	399,8	401,2	103,5	139,4	101							3,1	2,9	2,7
T1;11:30	401,3	398,9	400,3	107,1	130,9	103,3							3,1	3	2,6
MIN	397	394,1	396,1	101	126	94,7	17,1	19	14,1	0	8	5,8	2,9	2,5	2,6
MAX	404,3	401	403,2	107,1	163,6	105,6	23,4	30,6	22,4	5,8	8,8	6,4	3,4	3	2,9
MOY	400,88	397,61	399,45	103,83	136,11	100,08	21,66	27,36	20,26	1,93	8,33	6,13	3,15	2,8	2,75

	THD(A)			COSφ			P_Tot	QL	QC	COSφ_Tot	f
	L1	L2	L3	L1	L2	L3					
T1;10:30	15,8	12,2	16,5	0,95	0,96	0,95	49,8	14,4	0	0,95	50
T1;10:40	20,1	16,1	18,3	0,96	0,95	0,96	76	19,6	0	0,95	50
T1;10:50	16,3	12,7	15,1	0,94	0,95	0,94	72,4	15	0	0,94	50
T1;11:00	19,3	15,3	17,7	0,95	0,95	0,96	75,5		0	0,95	50
T1;11:10	19,1	19,4	16,5	0,96	0,95	0,95	75		0	0,95	50
T1;11:20	19,2	17,2	15,8	0,95	0,96	0,96			0	0,96	50
T1;11:30	19,5	16,3	16,1	0,95	0,95	0,96			0	0,95	50
MIN	15,8	12,2	15,1	0,94	0,95	0,94	49,8	14,4	0	0,94	
MAX	20,1	19,4	18,3	0,96	0,96	0,96	76	19,6	0	0,96	
MOY	18,47	15,6	15,57	0,95	0,95	0,95	69,74	16,33333333	0	0,95	

-Pour le poste 2 : (Transformateur 2)

	U			I			P			Q			THD(v)		
	U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	L1	L2	L3
T2;10:30	398,9	396	398,1	103	130	93,4	23,2	28,6	20,6	5,6	8	5,6	2,9	2,6	2,5
T2;10:40	399,3	396,3	397,9	105	124,2	100,2	23	30,4	24,8	0	8,8	7,6	2,9	2,6	2,5
T2;10:50	401,1	398,1	400	107,6	129,8	103,2	23,8	29	22,2	5,8	8,2	6,4	3	2,6	2,6
T2;11:00	402,8	399,6	401,9	115	136,2	96	24,8	29,6	22				3,1	2,6	2,8
T2;11:10	404,1	401,2	403,2	107	140,8	103,8	23,2	31,4	21,6				3,5	2,9	2,9
T2;11:20	402,4	399,8	401,2	103	139,4	101							3,1	2,9	2,7
T2;11:30	401,3	398,9	400,3	107,1	130,9	101,1							3,1	2,8	2,6
MIN	398,9	396	397,9	103	124,2	93,4	23	28,6	20,6	0	8	5,6	2,9	2,6	2,5
MAX	404,1	401,2	403,2	115	140,8	103,8	24,8	31,4	24,8	5,8	8,8	7,6	3,5	2,9	2,9
MOY	401,41	398,55	400,37	106,81	133,04	99,81	23,6	29,8	22,24	3,8	8,33	6,53	3,08	2,71	2,65

	THD(A)			COSφ			P_Tot	QL	QC	COSφ_Tot	f
	L1	L2	L3	L1	L2	L3					
T2;10:30	14,9	13,2	16,3	0,96	0,95	0,95	76,4	19,4	0	0,96	50
T2;10:40	14,8	13,5	15,2	0,95	0,96	0,95	78	14	0	0,95	50
T2;10:50	18,1	15,1	15,9	0,96	0,95	0,95	77,6	20,4	0	0,96	50
T2;11:00	17,5	14,8	17,3	0,95	0,95	0,95	76,8		0	0,95	50
T2;11:10	17,5	14,8	17,3	0,95	0,95	0,96	76,4		0	0,95	50
T2;11:20	17	15	17,2	0,95	0,96	0,95			0	0,96	50
T2;11:30	19,5	16,3	16,1	0,95	0,96	0,95			0	0,95	50
MIN	14,8	13,2	15,2	0,95	0,95	0,95	76,4	14	0	0,95	
MAX	19,5	16,3	17,3	0,96	0,96	0,96	78	20,4	0	0,96	
MOY	17,04	14,67	16,47	0,95	0,95	0,95	77,04	17,93333333	0	0,954285714	

-Pour le poste 4 : (Transformateur 2)

	U			I			P			Q			THD(v)		
	U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	L1	L2	L3
T2;10:30	400,1	397,8	399,4	186,8	189	187,8	38	38,2	37,8	20,6	21	21,2	2,6	2,4	2,5
T2;10:40	397,8	395,3	397,2	282,4	272,2	275,4	48,4	47,2	48,2	31,2	30,6	30,2	2,6	2,3	2,4
T2;10:50	397,6	395	397	192,4	193,4	192,2	39,6	39,6	39,4	20,8	20,8	20,8	2,6	2,4	2,5
T2;11:00	399	396,7	398,3	249,8	249,8	242,8	48,8	48,4	48	27,4	27,6	27,4	2,8	2,5	2,4
T2;11:10	399,3	396,8	398,5	224,2	223,6	224,6	44,2	43,8	44,4	27	26,6	26,6	2,7	2,5	2,4
T2;11:20	402,6	400,1	401,7	222,4	222,2	220	43,4	43	43,2	27,8	27,8	27,4	2,7	2,4	2,5
T2;11:30	401,1	398,5	399,9	225,4	220,2	224,2	43,4	42,6	43,4	26,2	27,4	27,4	2,7	2,7	2,4
MIN	397,6	395	397	186,8	189	187,8	38	38,2	37,8	20,6	20,8	20,8	2,6	2,3	2,4
MAX	402,6	400,1	401,7	282,4	272,2	275,4	48,8	48,4	48,2	31,2	30,6	30,2	2,8	2,7	2,5
MOY	399,64	397,17	398,85	226,2	224,34	223,85	43,68	43,25	43,48	25,85	25,97	25,85	2,67	2,45	2,44

	THD(A)			COS ϕ			P_Tot	QL	QC	COS ϕ _Tot	f
	L1	L2	L3	L1	L2	L3					
T2;10:30	10,1	9,8	8,4	0,97	0,95	0,97	189,4	52	0	0,96	50
T2;10:40	7,2	8,5	7,1	0,97	0,95	0,96	189	53,4	0	0,96	50
T2;10:50	9,3	7,3	7,3	0,97	0,95	0,96	189,2	55,4	0	0,96	50
T2;11:00	8,7	7,6	6,5	0,96	0,96	0,96	198,2	55,2	0	0,96	50
T2;11:10	8,3	8	7,9	0,95	0,95	0,96	192	55	0	0,96	50
T2;11:20	7,9	8,2	6,8	0,96	0,95	0,97	190,4	52,8	0	0,96	50
T2;11:30	8,5	8,3	7,1	0,97	0,95	0,96	207,6	57,2	0	0,96	50
MIN	7,2	7,3	6,5	0,95	0,95	0,96	189	52	0	0,96	
MAX	10,1	9,8	8,4	0,97	0,96	0,97	207,6	57,2	0	0,96	
MOY	8,57	8,24	7,3	0,96	0,95	0,96	193,68	54,42857143	0	0,96	

-Ces tableaux de mesures représentent des échantillons tirés des postes 1,2 et 4.

-Les cases vides dans les tables indiquent qu'il y a un problème d'affichage dans le CVM-96.

1.2 Analyse des données

1.2.1 Contrôle de la qualité de l'énergie électrique:

Pour faire un contrôle de qualité de l'énergie électrique on a pris en considération quatre éléments électriques, pour lesquels ils existent des normes à respecter :

les éléments		norme à vérifier
Variation de tension		(400 \pm 10%) V
Variation de fréquence		(50 \pm 4%) Hz
Déséquilibre des phases (tension)		\leq 2%
THD	V	\leq 5%
	A	\leq 10%

Tableau 12 : les normes électriques pour chaque élément

Maintenant on va vérifier si les normes sont bien respectées par les transformateurs de chaque poste :

Tableau 13 : vérification des normes au niveau de chaque poste

Poste transformateur	Variation de tension	Variation de fréquence	Déséquilibre des phases De tension	THD		Q	
				V	A	$0 \leq Q \leq 40$	$-40 \leq Q \leq 0$
1	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3	-	-	-	-	-	-
2	1	✓	✓	✓	X	✓	✓
	2	✓	✓	✓	✓	X	✓
3	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
4	1	✓	✓	✓	✓	✓	X
	2	✓	✓	✓	✓	✓	X
	3	✓	✓	✓	✓	✓	X
	4	✓	✓	✓	✓	✓	X

✓ : respecté

X : non respecté

On a calculé le déséquilibre des phases à l'aide d'une application dans Excel : les mesures ne dépassent pas 0,5% ce qui est inférieur 2%

D'après le tableau ci-dessus on peut sortir avec les conclusions suivantes :

- Les postes 1,2 et 4 respectent les normes :-Variation de tension -Variation de fréquence-Déséquilibre des phases → ce qui signifie que la RADEEF a garanti la qualité de l'énergie électrique pour ces trois éléments.
- Le THD de tension respecte la norme exigée tant que celui du courant représente un THD important au niveau du poste 2(transformateur 1 et 2)
- On a pris les puissances réactives indiquées au tableau ci-dessus pour diagnostiquer les batteries de compensation déjà installées aux TGBT → présence d'un problème (**insuffisance des batteries de compensation**) dans le poste 4 pour les quatre transformateurs car $Q > 40 \text{KVA}$.

1.2.2 Analyse des harmoniques

-Problème :

Selon le tableau ci-dessus les importantes charges polluantes qui causent les harmoniques se situent au niveau du poste 2(transformateur 1 et 2).

-Solution :

Les solutions possibles pour atténuer les effets des harmoniques sont de deux natures différentes :

▪ **Adaptation de l'installation du regroupement des charges polluantes**

Pour établir un schéma unifilaire, il convient de séparer les équipements perturbateurs des autres: en pratique, alimenter les charges polluantes et non polluantes par des jeux de barres différents.

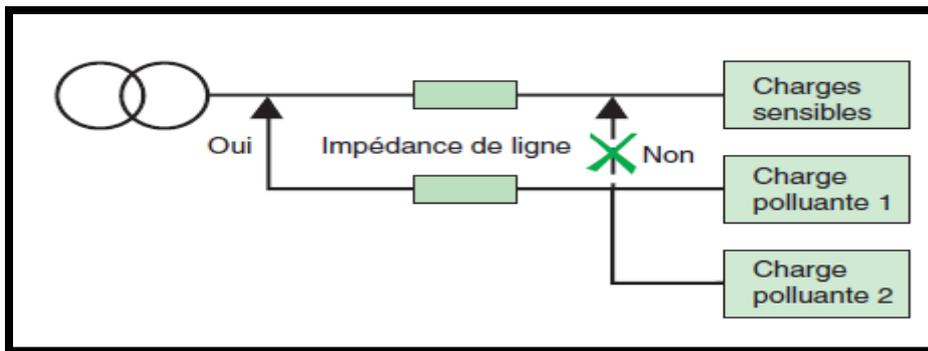


Figure 20 : Regroupement des charges non-linéaires

▪ **Filtrage**

Dans le cas où les actions préventives ci-dessus sont insuffisantes, il est nécessaire d'équiper l'installation polluée de dispositif de filtrage.

-Filtres passifs :

Ils sont constitués de bobines et de condensateurs configurés en circuits résonants accordés sur la fréquence d'un rang d'harmonique à éliminer.

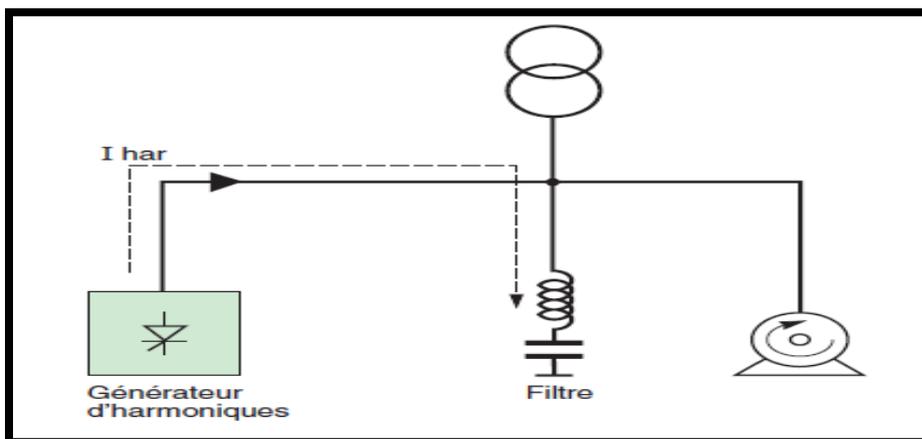


Figure 21 : Principe d'utilisation d'un filtre passif

D'après les mesures qu'on a pris au niveau du poste 2 on a trouvé le THD de courant est 20% donc on peut appliquer un **filtre passif** qui a un intervalle de fonctionnement [10% - 50%].

On propose aussi les **filtres actifs** s'il aura des forts harmoniques dans le futur qui seront valables pour un THD supérieur à 50%.

1.3 Minimisation des pertes énergétiques au niveau des transformateurs

On peut aussi optimiser au niveau des transformateurs en agissant sur les pertes à vide et les pertes en charge.

✚ Les pertes énergétiques (à vide et en charge):

La figure ci-dessous montre la plaque d'un transformateur installé dans le CHU

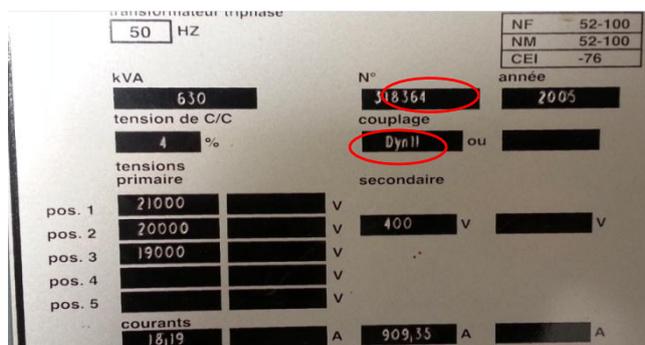


Figure 22 : plaque signalétique du transformateur

D'après la plaque signalétique du transformateur ci-dessus on peut tirer les informations suivantes :

- La puissance assignée du transformateur est de : 630 KVA.
- Pourcentage d'induction est de : 4%.

Ce transformateur est de classe C qui a pour pertes en charge 5400W et pertes à vide 860W.

Puissance évaluée (kVA)	Pertes en charge				Pertes à vide			
	À huile (HD428) jusqu'à 24kV ²			Sec (HD538)	À huile (HD428) jusqu'à 24kV ²			Sec (HD538)
	Liste A	Liste B	Liste C	12kV primaire	Liste A'	Liste B'	Liste C'	12kV primaire
630 / 4 % ³	6500	8400	5400	7300	1300	1030	860	1500
630 / 6 % ³	6750	8700	5600	7600	1200	940	800	1370

Tableau 14 : Pertes d'un transformateur

$$W_{\text{à vide}} = P_{\text{à vide}} * 8760$$

$P_{à\ vide}$: Correspond aux pertes à vide, exprimée en kW. Ce facteur est indiqué dans les spécifications techniques du transformateur dans le tableau ci-dessus
 8760 : correspond au nombre d'heures dans une année.

$$W_{en\ charge} = W_{à\ vide} + P_{en\ charge} * L^2 * 8760$$

$P_{en\ charge}$: Correspond aux pertes en charge, exprimée en kW. Ce facteur est indiqué dans les spécifications techniques du transformateur dans le tableau ci-dessus.

L : correspond à la charge moyenne du transformateur, divisée par la charge maximale.

Le taux de charge de chaque transformateur est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Taux de charge au niveau de chaque transformateur

LES POSTES		TAUX DE CHARGE
Poste 1	Transfo 1	32%
	Transfo 2	31%
	Transfo 3	31%
Poste 2	Transfo 1	12%
	Transfo 2	12%
Poste 4	Transfo 1	23%
	Transfo 2	25%
	Transfo 3	23%
	Transfo 4	24%
Poste 3	Transfo 1	19%
	Transfo 2	19%

Le rendement est maximum pour un taux de charge de 40%, quelque soit la puissance du transformateur. Comme le montre la figure ci-dessus :

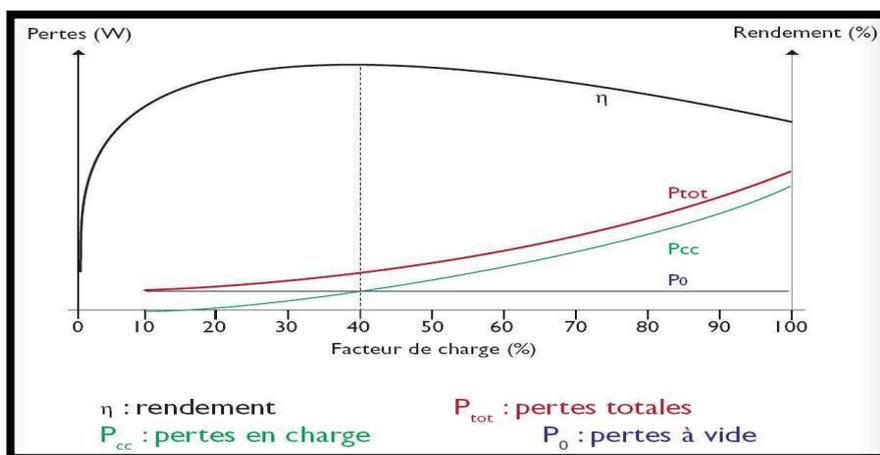


Figure 23 : Allure de rendement en fonction de la charge

Le taux des charge de nos transformateurs n'atteigne pas 40% ce qui nous permet de répartir les charges sur les transformateurs ce qui permet d'éliminer quelques transformateurs au niveau des postes afin de minimiser les pertes et d'augmenter le rendement.

En utilisant l'outil Excel on a calculé le gain au niveau de chaque poste (poste4 par ex) :

Tableau 16 : le gain annuel en éliminant deux transformateurs

	actuelle	nouvelle
cout électricité/heure	0,665063333	0,665063333
charge poste	860	860
nombre transformateur	4	2
charge/transformateur	0,236289702	0,472579404
pertes à vide	30134,4	15067,2
pertes à charge	10564,4635	21128,92701
pertes	40698,8635	36196,12701
couts	27067,32182	24072,71688
	Gain(DH)	2994,604944

$$\text{Cout d'électricité /heure} = (10 \times 0,70623 + 10 \times 0,45957 + 4 \times 1,07588) / 24$$

Pour les quatre postes transformateurs le gain trouvé est :

Tableau 17 : récapitulatif des gains au niveau des transformateurs

	Poste 1		Poste 2		Poste 3		Poste 4	
	actuel	nouveau	actuel	nouveau	actuel	nouveau	actuel	nouveau
Nombre transformateur	3	3	2	1	2	1	4	2
Gain(DH)	Pas de gain		4000		2800		3000	
Gain en énergie (KWh)	0		6074,45		4308,38		4502,73	
Gain total en énergie (KWh)	14885							
Gain total/an	9800 DH							

2. Délestage par le groupe froid

2.1. Définition :

Le délestage consiste à comparer automatiquement et en temps réel la puissance appelée à celle souscrite : il commande le maintien ou la coupure momentanée de certaines lignes afin de respecter des limites établies par avance.

2.2. Principe:

Concernant le délestage dans le CHU l’ordre sera envoyer à partir du poste livraison là où la RADEEF alimente le CHU, au niveau du relais de protection type SEPAM qui a parmi ses multiples fonctions le délestage au cas d’un maximum de puissance appelée où la détection de situation de surcharge.

Le relais de protection SEPAM doit être configuré pour un seuil de délestage de puissance qui est 1200 KVA (34,6A) , pour donner un ordre à distance au Module télécommandé (NZM4-XR) de faire déclencher le disjoncteur du groupe froid 1 qui a pour puissance apparente 675KVA (1000A) ,afin de minimiser la puissance appelée et ne pas tomber au pénalités due au dépassements.



Figure2 : le (NZM4XR)

On a donné cette proposition car le Module télécommandé (NZM4-XR) est disponible dans le CHU, pour le mettre en marche il faut juste envoyer une commande soit par un câblage simple ou bien via un automate programmable pour gérer les deux ordres qui viennent l’un du groupe électrogène et l’autre du relais de protection SEPAM.

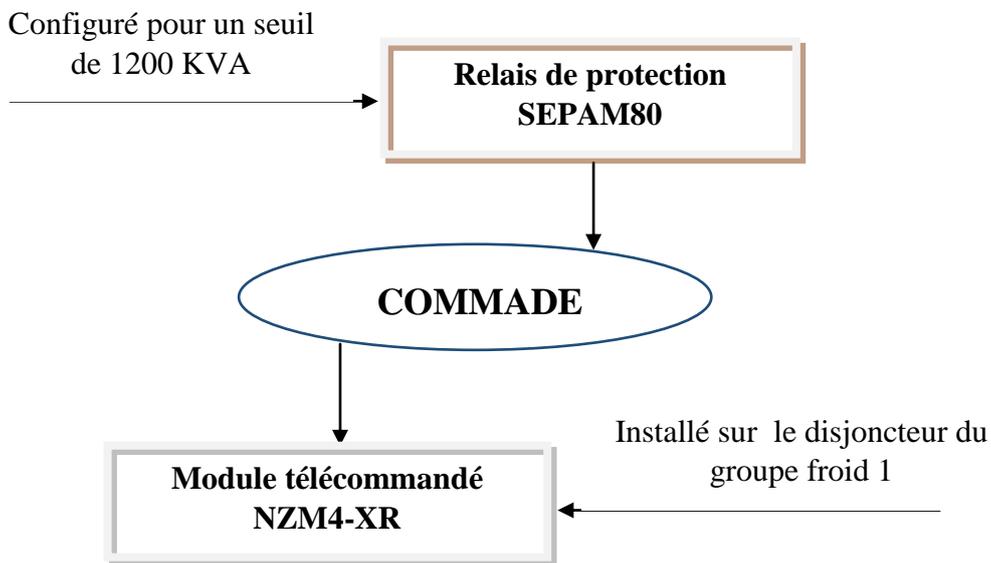


Figure 25 : schéma synoptique proposée de délestage

Si on réalise cette proposition on va gagner les redevances de dépassement des trois années comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 18 : le gain annuel des redevances de dépassement

	2012	2013	2014	Total
Gain (DH)	169 794	134 575	77 715	382 085
Gain (DH)/an	127 361			

3. Répartition des heures de travail :

3.1. Appareil de mesure

Dans cette partie on va étudier le comportement de la charge durant un jour pour cela on a branché au niveau du poste de livraison un enregistreur de puissance monophasé C.A 8220 qui est un analyseur à affichage numérique, qui mesure les valeurs efficaces, et permet d’obtenir une image instantanée des principales caractéristiques d’un réseau monophasé (tension, courant, puissance, harmonique tension/courant, etc.).



Figure 26 : enregistreur de puissance

3.2. Analyse des mesures

La figure ci-dessous montre l’allure de la charge en fonction de temps qu’on a mesuré par l’enregistreur :

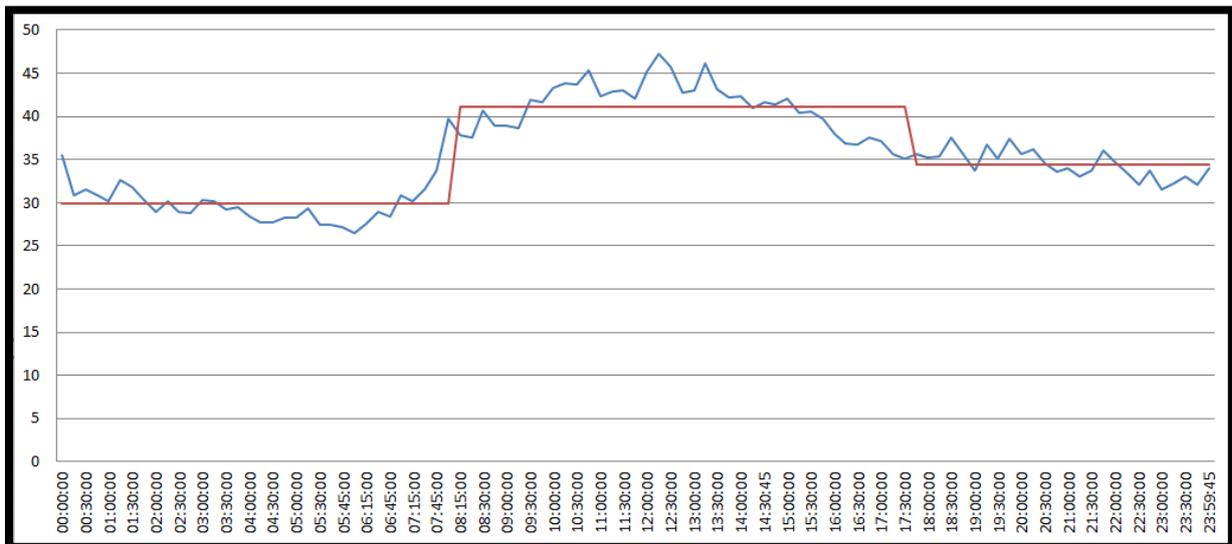


Figure 27 : allure de la charge en fonction de temps

D’après cette allure, on peut constater que la consommation énergétique pendant les heures creuses et pointes sont inférieurs par rapport à celles normales.

Donc on peut consommer une même énergie avec un coût différent par la modification des heures de travail, en décalant des activités dans les heures normales vers celles creuses, mais à condition que ce décalage n'influence pas sur le déroulement du travail.

3.3. Cas d'étude

Prenant en compte les résultats des analyses précédentes on a proposé de décaler les heures de travail "**Buanderie, Arrosage**" du jour vers la nuit.

Tableau 19 : récapitulatif des gains au niveau "**Buanderie, Arrosage**"

	Buanderie	Arrosage
Heures de travail/jour	5	7
cout heures normales (DH/h)	0,706230	0,706230
cout heures creuses (DH/h)	0,459570	0,459570
Charge (A)	200	5,6
Consommation (KVA)	138,6	3,9
facture actuelle (DH/an)	178 585,8	7001,1
Facture nouvelle (DH/an)	116 212,4	4555,9
Gain (DH/an)	62 373,4	2445,2
Gain total (DH/an)	64 818,6	

4. Optimisation énergétique au niveau d'éclairage extérieure

Pour réduire la consommation électrique de l'éclairage artificiel, on cherchera à :

Diminuer la puissance installée : tout en garantissant un éclairage suffisant. Le choix se portera ainsi sur le matériel (lampe, luminaire...) ayant la meilleure efficacité énergétique.

Il existe une grande variété de lampes sur le marché. Elles se différencient par leurs principes de production de lumière qui influencent leurs caractéristiques principales. On choisira une lampe en fonction de ses différentes caractéristiques techniques (l'efficacité lumineuse et la durée de vie moyenne (nombre d'heures d'utilisation)).

Remarque : En ce qui concerne l'efficacité lumineuse, plus le résultat obtenu est élevé, plus la lampe présente un bon rendement lumineux. C'est à dire qu'elle produit beaucoup de lumière pour une puissance faible, et donc pour une faible consommation énergétique.

-On a au niveau de l'éclairage externe du CHU :

- ✓ 711 lampes incandescentes de 70W. (1^{ère} Tranche : 411 ; 2^{ème} Tranche : 300)
- ✓ 18 lampes incandescentes de 150W. (2^{ème} Tranche)

Ces lampes ont pour puissance totale **52,47KW**.

Quelles lampes efficaces pour remplacer les lampes actuelles ?

Tableau 20 : Quelques lampes efficaces pour remplacer les lampes actuelles

Type de lampe	Lampe de remplacement	Efficacité	Prix d'achat
Lampe incandescente classique	Lampe halogène	Gain de 30%	× 3,5
		100W>70W	
		75W>53W	
		60W>42W	
	Lampe fluocompactes	Gain de 75%	× 12
		100W>23W	
Lampe à LED	Lampe à LED	Gain de 75%	× 40
		25W>7W	
		40W>12W	

Le tableau ci-dessus nous donne les différentes lampes de remplacement qu'on peut utiliser.

Cas d'étude :

On propose de remplacer les lampes incandescentes par des lampes fluocompactes ce qui va apporter les changements suivants :

Tableau 21 : calcul de gain (DH/an)

Type de lampe	incandescentes	fluocompactes
Heures de fonctionnement	4heures de pointes de 19h à 23h	
	5heures creuses de 23h à 4h	
Consommation (KW)	$(711*70+18*150)=52,47$	$(711*18+18*23)=13,21$
Consommation énergétique(KWh)	172 363,95	43 394,85
Cout d'achat(DH)	$(711*28+18*33)=20 502$	$(711*336+18*396)=267 354$
Gain (DH/an)	$39,26*(4*1,07588+5*0,45957)* 365$ =94 596,97	

D'après le calcul des couts d'achats on peut dire que le retour d'investissement sera après trois ans d'exploitation.

5. Sensibilisation

La sensibilisation du personnel est une méthode très efficace pour optimiser la consommation de l'énergie électrique à l'aide de plusieurs actions, parmi lesquelles :

- ✚ Fermer les fenêtres lors de la mise en marche des climatiseurs → maintenir la salle de température constante et aussi atteindre la température voulus plus rapidement → ce qui diminue le temps d'utilisation et forcément une économie d'énergie.
- ✚ Sélectionner une température qui n'est pas trop basse par rapport à celle de l'extérieur.
- ✚ Eteindre les lampes lors du quitte des salles et couloirs.

Le gain qu'on peut estimer de ces actions proposées est à l'environ de 1% de la consommation totale des factures, prenant l'année 2014 à titre d'exemple la consommation énergétique est de : 7 498 220 KWh

Tableau21 : gain estimé par an

L'énergie totale KWh	7 498 220
Le gain annuel estimé en KWh	74 982,20
Le gain annuel estimé en DH	49 910,65

Autres actions :

- ✚ Agir sur la vitesse de rotation du moteur (CTA) en utilisant les variateurs de vitesse".
- ✚ L'installation des minuteries pour l'éclairage des couloirs.
- ✚ Exploiter l'énergie solaire pour les faibles consommations.
- ✚ L'utilisation d'un réducteur-régulateur de tension d'éclairage (abaisseur de puissance) Pour les projecteurs réduit la consommation de 30%.

Conclusion

Sans le moindre doute possible, le stage reste le noyau de toute formation qui vise à être efficace et rentable. Le stage représente une préparation au monde du travail, c'est un passage enrichissant qui a l'avantage de prolonger le stagiaire dans la réalité industrielle.

Du reste, mon expérience au centre hospitalier Hassan II de Fès m'a été bénéfique puisqu'elle m'a permis de vivre et de s'acclimater avec l'environnement réel de travail d'exploiter mes connaissances et de les élargir d'avantage.

Ce stage m'a permis aussi de savoir plus sur le comportement de la consommation d'électricité au CHU, étudier les différents paramètres de la facture moyenne tension, et vers la fin, de proposer quelques solutions pour optimiser la consommation d'électricité et améliorer la qualité des différentes installations électriques.

Ce projet a été l'occasion de mettre en pratique la formation théorique que j'ai reçue à la Faculté des Sciences et Technique de Fès, qui s'est révélée adaptée aux compétences souhaitées.

En ce qui concerne les perspectives d'avenir, nous proposons d'étudier le même sujet en s'intéressant plus précisément sur les pertes au niveau de la climatisation.

Bibliographie

- « Introduction à l'efficacité énergétique » magazine ' ELECTRA', Fouad ELKOHEN, janvier /fevrier2014.
- Rapport « Analyse des factures d'électricité de l'hôpital AL GHASSANI » Abdelali ZINE EL ABIDINE, 2004.
- Factures d'électricité Moyenne Tension Général de la RADEEF, 2012-2013-2014.
- Rapport « Harmoniques, causes et effets » David Chapman, copper development association, Juillet 2002.

Webographie

- <http://www.one.ma>
- <http://www.schneider-electric.fr>
- <http://www.radeef.ma>
- <http://www.energieplus-lesite.be>
- <http://www.hqe.guidenr.fr./cible-4-hqe/transformateurs-distribution-efficacite-energetique.php>