



Professeur : Mme. ES-SBAI Najia (FST FES)
Professeur : Mr. LAHBABI Mhamed (FST FES)



Rapport de Fin d'Etude
Étude de l'efficacité énergétique au Centre Emplisseur MASSA



REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Mme. DIAB Maria et Mme. ES-SBAI Najia d'avoir accepté de m'encadrer dans mon stage PFE ainsi que pour leurs conseils, leurs disponibilités, leurs patiences tout au long de la période de ce projet de fin d'étude.

Je remercie également Mr. KOUMACHI Zouhair et Mr. MOHCINE Amine, ingénieurs de VIVO ENERGY MAROC pour leurs aides et leurs disponibilités.

Tous mes remerciements à Mr. AZEROUAL Mohamed et tout le corps professoral qui m'on aidée de près ou de loin.

Et en fin, je remercie tout le personnel de la société VIVO ENERGY MAROC, pour leur accueil chaleureux, leur encouragement, et leur aide tout au long de mon stage.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	3
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION GENERALE	1
<u>Chapitre 1 : PRESENTATION DE VIVO ENERGY MAROC ET CONTEXTE GENERAL DU PROJET</u>	3
I. Présentation de VIVO ENERGY MAROC	4
1. Historique et identité de VIVO ENERGY :.....	4
2. Activités de VIVO ENERGY :.....	4
3. Activités GPL de VIVO ENERGY :	5
II. CONTEXTE GENERAL DU PROJET :	6
<u>Chapitre 2: INTEGRATION DES MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE PROJET MASSA CENTRE EEMPLISSEUR</u>	8
I. Mesures d'économie d'énergie appliquées au process.....	9
1. Descriptif des équipements :	9
2. Recommandations pour les équipements :	10
II. Mesures d'économie d'énergie appliquées au niveau d'éclairage.....	14
1. . Mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique dans l'éclairage.....	14
2. La gestion centralisée et la supervision à distance de l'éclairage extérieur :	18
III. Mesures d'économie d'énergie appliquées au niveau des bâtiments :	18
1. Le volet passif du bâtiment :	18
2. Le volet actif du bâtiment :	20
3. Système de gestion énergétique du bâtiment :	20
<u>Chapitre 3 :INSTALLATION DE PRODUCTION D'ENERGIE AUTONOME PV</u>	22
I. Introduction :	23
II. Installation électrique prévue au centre :.....	25
III. Puissance crête de la centrale photovoltaïque.....	25
1. Analyse de quelques courbes de charges des centres existants :	25
3. Implantation des panneaux photovoltaïques et le nombre des panneaux par zone :	27
Conclusion générale.....	29
Bibliographie :	30
ANNEXE:	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : description des dimensions des cigares.....	9
Tableau 2 : Avantage et inconvénients de chaque scénario de l'éclairage.....	16
Tableau 3 : Nombre d'éclairage par zone.....	17
Tableau 4 : différents termes utilisés pour l'installation PV.....	23-24
Tableau 5 : capacités et appel de puissance de différents centres.....	26
Tableau 6 : Les puissances crêtes des panneaux photovoltaïques.....	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan d'ensemble du Centre Emplisseur de Massa – Agadir.....	6
Figure 2 : Les rendements des moteurs électriques à 4 pôles selon IEC 60034-30-1 (2014)	10
Figure 3 : Lampe à incandescence, lampe LED.....	15
Figure 4 : Courbe de charge réelle du centre Mohammadia.....	25
Figure 5 : Courbe de charge réelle du centre Berrechid.....	26
Figure 6 : Plan d'implantation des panneaux photovoltaïques dans les zones 1 et 2	27
Figure 7 : Plan d'implantation des panneaux photovoltaïques dans la zone 3	27

INTRODUCTION GENERALE

La croissance soutenue de la demande en énergie, la dépendance des hydrocarbures et la fluctuation de leurs prix ainsi que les contraintes environnementales, ont incité les pays à explorer les gisements potentiels d'économie d'énergie. L'efficacité énergétique constitue l'une des réponses prometteuses.

Ce concept permet aux consommateurs de satisfaire les mêmes besoins énergétiques avec moins de ressources, moyennant une démarche qui fait appel à la volonté collective des intervenants pour combattre le gaspillage de l'énergie, optimiser l'usage des équipements, améliorer le confort dans les locaux et développer la culture de sobriété dans la consommation de l'énergie. Outre les bénéfices économiques de l'efficacité énergétique, l'impact écologique est énorme : elle constituerait le premier levier en réponse aux enjeux énergétiques et environnementaux à l'échelle mondiale afin de réduire les émissions de CO₂.

En 2009, le Maroc a adopté une stratégie énergétique nationale comme feuille de route pour la transition vers un système énergétique à bas émission du carbone qui concilie le développement économique et social aux objectifs environnementaux.

La nouvelle stratégie énergétique, adoptée en mars 2009, vise à renforcer la sécurité d'approvisionnement et la disponibilité de l'énergie ainsi que son accessibilité généralisée à des coûts raisonnables. Ces objectifs seront atteints par la diversification des sources, le développement du potentiel national en ressources énergétiques notamment renouvelables, la promotion de l'efficacité énergétique et l'intégration plus étroite au système énergétique régional.

La mise en œuvre de cette stratégie sera réalisée par l'approfondissement des réformes du secteur énergétique par la rénovation du dispositif législatif et réglementaire, la mise en place d'une nouvelle gouvernance à travers sa réorganisation et l'instauration de règles de transparence et de concurrence pour assurer une meilleure visibilité aux opérateurs et aux consommateurs.

La stratégie nationale pour l'efficacité énergétique est structurée autour de sept priorités stratégiques réparties en 22 objectifs stratégiques et fait l'objet de contrats-programmes entre les départements concernés et l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique (AMEE).

Elle comprend des mesures à caractère horizontal et d'autres sectorielles touchant les secteurs les plus consommateurs d'énergie, notamment le transport (41%), l'industrie (21%), le bâtiment (33%) et enfin l'agriculture et éclairage public (5%).

Cette stratégie a retenu cinq secteurs où seront déployées les mesures d'efficacité énergétique sectorielles au niveau local et national, à savoir :

1. 20% dans les bâtiments à l'horizon 2030 ;
2. 30% dans les transports à l'horizon 2030 ;
3. 2,5% par an dans l'industrie ;
4. 0,2% par an dans les secteurs de l'agriculture et de la pêche ;

Rappelons les définitions suivantes de la norme ISO 50001 Version 2018 :

Energie : électricité, combustibles, vapeur, chaleur, air comprimé et autres vecteurs similaires.

Usage énergétique : ce qui utilise de l'énergie. Exemple : Ventilation, éclairage, chauffage, refroidissement, transport, stockage de données ainsi que les procédés de production. L'usage énergétique est parfois appelé « utilisation finale de l'énergie ».

Usage énergétique significatif (UES) : usage énergétique représentant une part importante de la consommation énergétique et/ou offrant un potentiel considérable d'amélioration de la performance énergétique. Les usages énergétiques significatifs peuvent être des installations, des systèmes, des procédés ou des équipements.

Certification ISO 50001 : La norme ISO 50001 2011 est une norme internationale d'application volontaire élaborée par L'ISO (Organisation Internationale de normalisation). Elle définit les exigences relatives à l'établissement, la mise en œuvre, le maintien et l'amélioration d'un Système de Management de l'Energie (SMEn) par une organisation.

Les exigences générales relatives à cette certification :

- Un engagement d'amélioration continue de l'efficacité énergétique,
- La désignation d'une personne qualifiée pour le management de l'énergie,
- L'organisation d'un plan de management,
- Une évaluation des principales utilisations de l'énergie,
- La mise en place d'indicateurs et d'objectifs de performance énergétique,
- La mise en place de plan(s) d'action(s),
- Tout le personnel devra suivre une formation lui permettant de connaître les pratiques indispensables à l'amélioration de l'efficacité énergétique,
- Les résultats devront être évalués et communiqués régulièrement à l'ensemble du personnel.

Mon projet de fin d'étude s'intéresse à l'optimisation de la consommation électrique du centre emplisseur au sein de la société VIVO ENERGY MAROC.

Dans un premier temps, je vais décrire la société VIVO ENERGY MAROC et ses activités, ainsi que le nouveau centre emplisseur.

Dans le second chapitre, je traiterai les solutions possibles pour la réduction de la facture énergétique et les émissions du CO2.

L'une des solutions la plus efficace pour optimiser la consommation est l'intégration des énergies renouvelables d'où le troisième chapitre traite la faisabilité de l'alimentation en énergie solaire des installations techniques du centre.



CHAPITRE 1

PRESENTATION DE VIVO ENERGY MAROC ET CONTEXTE GENERAL DU PROJET

Introduction :

Ce chapitre sera dédié à la présentation de la société VIVO ENERGY MAROC où s'est déroulé mon stage. Dans un premier temps, je vais décrire l'identité et les activités. Ensuite, je ferai une description de l'activité GPL. Finalement, je citerai les unités qui composent le centre emplisseur et les principales installations.

I. Présentation de VIVO ENERGY MAROC

1. Historique et identité de VIVO ENERGY :

Vivo Energy est une société de Vitol dont Vitol est l'une des principales sociétés de trading pétrolier au monde. Fondé en 1966, le groupe Vitol opère dans le monde entier et constitue avec Glencore et Gunvor l'une des trois premières sociétés de courtage de pétrole brut au monde.

Vivo Energy opère dans plusieurs pays africains dont : Botswana, Burkina Faso, Cap-Vert, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Île Maurice, Kenya, Madagascar, Mali, Maroc, Namibie, Ouganda, Sénégal et Tunisie.

Shell est l'une des sociétés d'énergie les plus connues du monde et apporte au partenariat de Vivo Energy de l'expérience et une marque connue à l'échelle mondiale.

2. Activités de VIVO ENERGY :

Vivo Energy Maroc est une société de revente, considérée comme un gros revendeur et distributeur des produits pétroliers et lubrifiants.

La vision de Vivo Energy Maroc est d'être, dans le secteur énergétique, l'entreprise la plus respectée en Afrique ; reconnue pour la qualité de ses produits et services et pour sa citoyenneté responsable. Elle a comme objectif, d'assurer de manière durable une haute valeur ajoutée pour toutes les parties prenantes de l'entreprise : actionnaires, personnel, clients, fournisseurs et communauté civile.

Vivo Energy Maroc propose une large gamme de produits pétroliers et de services de qualité aux particuliers, aux entreprises et aux administrations en :

- S'appuyant sur une expertise mondiale en recherche et développement.
- Respectant son engagement en tant que société citoyenne reconnue pour ses principes d'hygiène, sécurité, santé et environnement.

L'activité de Vivo Energy Maroc est subdivisée en trois activités principales :

- Le stockage et la distribution des carburants ;
- Le stockage et la distribution des lubrifiants ;
- Le stockage, le conditionnement et la commercialisation du Gaz Pétrole Liquéfié (GPL).

Nota : Le projet objet de ce rapport concerne principalement l'efficacité énergétique de l'activité GPL au site MASSA (Sud du Maroc – Agadir).

3. Activités GPL de VIVO ENERGY :

Généralités sur l'activité GPL de VIVO ENERGY MAROC :

Vivo Energy est un acteur majeur, sur le marché africain, pour le gaz de pétrole liquéfié (GPL), répondant aux besoins des grands clients commerciaux et des communautés locales, où le GPL est une alternative plus sûre et plus propre aux carburants traditionnels utilisés pour la cuisine et le chauffage. Le GPL est stocké, distribué et livré sous la marque très connue et réputée Butagaz.

Grâce aux nombreux centres d'emplissage, distributeurs, terminaux de stockage et flottes de camions, VIVO ENERGY MAROC offre à ses clients des produits énergétiques dont la matière première est le GPL.

Au Maroc, Butagaz est proposé aux particuliers et aux entreprises. Le GPL est une source économique d'énergie sûre s'il est utilisé correctement. Il est écologique et propre. En fournissant une chaleur instantanée, il permet de gagner du temps. Dans le cadre domestique, Butagaz sert pour la cuisine et le chauffage.

Pour rappel, Vivo Energy Maroc importe le butane et le propane. Le marché du gaz propane est libéralisé depuis 1995, tandis que celui du butane est toujours réglementé à travers la caisse de compensation.

Nouveau Centre Emplisseur MASSA de VEM :

Centre emplisseur de MASSA est situé dans la région d'Agadir au Maroc

Le nouveau centre emplisseur MASSA aura pour fonctions principales :

- La réception et l'envoi de butane par camion ;
- Le stockage de butane dans 5 réservoirs cylindriques horizontaux aériens ;
- L'emplissage en butane de bouteilles de différentes capacités.

Il comprendra les principales installations suivantes :

- 5 réservoirs cylindriques horizontaux aériens de 400 m3 nominal chacun réservés au stockage de butane ;
- 3 lignes d'emplissage de bouteilles de butane (2 de 12 kg et 1 de 3 kg) ;
- 3 postes de déchargement camion dont un poste fait aussi du chargement ;
- Une pomperie GPL (3 pompes + 3 compresseurs) ;
- Une zone de stockage de bouteilles pleines et vides ;
- Une centrale hydraulique ;
- Une pomperie eau incendie ;
- 2 réservoirs eau incendie ;
- Des bâtiments ;
- Des parkings stationnement voitures et attente camions.

Le projet comprendra également un réseau d'utilités nécessaire au bon fonctionnement des installations.

Le projet sera étendu par la suite pour inclure :

- Une ligne d'emplissage de propane P34 ;
- Une ligne d'emplissage de bouteilles de butane de 12 kg ;
- Un réservoir cylindrique aérien de 210 m3 nominal réservé au stockage de propane ;
- Une extension du stockage de butane avec 6 réservoirs cylindriques horizontaux
- Aériens supplémentaires de 400 m3 nominal chacun ;
- Un poste de chargement/déchargement mixte propane/butane

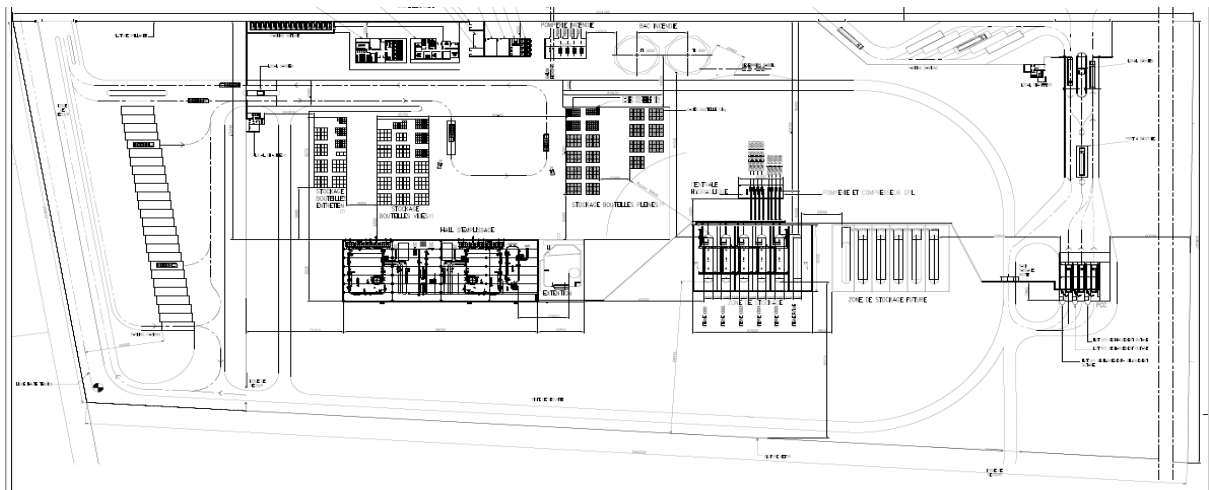


Figure 1 : Plan d'ensemble du Centre Emplisseur de Massa – Agadir

Les activités du centre :

La gestion du dépôt peut être découpée sous la forme de 6 activités suivantes :

- Activité exploitation générale
- Activité déchargement camion vrac
- Activité emplissage bouteilles
- Activité déchargement/ chargement camion conditionnés
- Activité maintenance / requalification bouteilles
- Activité mise en sécurité et DCI
- Activité de chargement camion (Dépannage)

II. CONTEXTE GENERAL DU PROJET :

L'énergie constitue l'un des postes de dépenses les plus onéreux pour les acteurs industriels. Pour maximiser les coûts de fonctionnement et réduire l'empreinte carbone d'une unité industrielle, l'élaboration d'une stratégie d'efficacité énergétique bien pensée est donc essentielle. Cette stratégie consiste à intégrer et mettre en œuvre toutes les solutions techniques permettant

de réduire les consommations d'énergie liées aux bâtiments, aux équipements, aux procédés et aux utilités. Pour les nouveaux projets, il est recommandé de prendre de bonnes décisions d'aménagement, de choix d'équipements et d'introduction des énergies renouvelables dès la phase de conception pour aboutir aux meilleures performances énergétiques lors de l'exploitation.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'accompagnement en efficacité énergétique du projet Massa centre emplisseur de Vivo Energy Maroc. Il s'agit d'examiner les composantes du projet (Bâtiments, équipements, procédés, utilités) au regard des exigences d'efficacité énergétique et prendre les bonnes décisions pour l'aménagement du bâtiment, le choix d'équipements et l'intégration des énergies renouvelables.

Pour le bâtiment, les solutions d'efficacité énergétique doivent être considérées dès la phase de conception des bâtiments. On distingue les solutions dites passives et celles dites actives. Les solutions passives ont pour objectif de diminuer la consommation énergétique des équipements et des matériaux. Elles concernent essentiellement l'architecture et l'équipement du bâtiment, pour lequel l'efficacité consiste d'abord à ne pas subir les variations extérieures de façon exagérée (déperditions ou apports thermiques). De nombreux paramètres doivent être pris en compte avant de construire un bâtiment comme son orientation, qui détermine son exposition à l'énergie solaire, son isolation thermique, son étanchéité et son système de ventilation. On peut aussi agir sur les équipements du bâtiment comme le chauffage, par l'installation de systèmes plus performants et moins émetteurs de gaz à effet de serre comme des pompes à chaleur, ou des systèmes de chauffage à base d'énergies renouvelable capables de produire à la fois de l'énergie électrique et thermique.

Pour réduire durablement les dépenses énergétiques, il convient de coupler les solutions passives à des solutions actives. Ces dernières correspondent aux technologies de pilotage de la consommation permettant d'agir directement sur les comportements (Outils de gestion de l'éclairage, système de comptage / mesure des consommations, systèmes complexes de gestion technique du bâtiment (GTB), affichage en temps réel des consommations ...).

Pour les procédés, les optimisations énergétiques représentent un gisement considérable qui impose de procéder aux choix appropriés des équipements, des utilités et de leurs systèmes de pilotage. L'efficacité énergétique et le rendement des machines deviennent, en effet, des critères à part entière de sélection des fournitures, car leur consommation impacte la facture énergétique durant toute la durée de vie de l'équipement. Il convient d'en faire part aux fournisseurs (dans le cahier des charges) afin qu'ils se distinguent de leurs confrères par une meilleure performance énergétique de leurs équipements.

Notons que les achats sont traités dans le texte de la norme ISO 50001 comme l'un des thèmes majeurs pour le succès de la mise en place du système de management de l'énergie.

Conclusion :

Ce chapitre a été un préambule afin de présenter la société VIVO ENERGY MAROC dont lequel j'ai décrit les différentes activités du centre ainsi que ses différentes unités qui permettent d'assurer les missions de la société.

CHAPITRE 2 :

INTEGRATION DES MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE PROJET MASSA CENTRE EMPLISSEUR

Introduction :

Le présent chapitre traite 3 parties. La première décrit les équipements nécessaires pour les activités du centre et donne des recommandations pour ces derniers. La seconde partie concerne les solutions possibles pour l'éclairage. La dernière partie contient l'étude de l'efficacité au niveau des bâtiments.

I. Mesures d'économie d'énergie appliquées au process

1. Descriptif des équipements :

a) Description du stockage du GPL :

Le centre possède 5 réservoirs horizontaux appelé également cigares.
Le stockage du butane se fait dans des cigares repartis dans une aire étanche de la manière ci-dessous :

Cuvette de rétention N°1 (Phase Initiale)				
N°	Diamètre (m)	Longueur (m)	Volume (m3)	Produit
Cigare V2001	4.4	27.8	400	BUTANE
Cigare V2002	4.4	27.8	400	BUTANE
Cigare V2003	4.4	27.8	400	BUTANE
Cigare V2004	4.4	27.8	400	BUTANE
Cigare V2005	4.4	27.8	400	BUTANE
Cigare V2006(Futur)	4.4	27.8	400	BUTANE

Tableau 1 : description des dimensions des cigares

Chaque cigare sera ainsi équipé

- Une vanne automatique de remplissage
- Une vanne automatique de retour liquide
- Une vanne automatique d'équilibrage gazeux
- Une vanne automatique de soutirage
- Un clapet hydraulique piloté par une centrale commune
- Une vanne automatique et système de purge manuel
- Deux soupapes de surpression avec un robinet de jumelage DUALWAY

La centrale hydraulique permet d'ouvrir ou de fermer individuellement le clapet hydraulique de chaque cigare. Elle est alimentée depuis l'armoire PROCESS et est autonome dans le maintien en pression du réseau hydraulique.

b) Description de la pomperie GPL :

Les pompes ont une double fonction la première étant d'alimenter le hall emplisseur avec du GPL, la seconde étant de pouvoir, occasionnellement, de remplir un camion situé sur le PCC (poste de chargement camion) avec du GPL liquide.

Trois pompes pourront fonctionner en simultanée, la 4ème sera en secours.

Chaque pompe sera pilotée par un variateur électronique. Le variateur permettra de démarrer la pompe suivant une rampe d'accélération et améliorer la consommation énergétique sur la phase de démarrage. Pour le hall emplisseur les pompes travailleront à vitesse fixe. Pour le chargement camion le variateur permettra d'assurer les phases petit débit et grand débit par modification de la consigne de vitesse.

c) **Bilan de puissance :**

Le tableau de l'annexe présente l'étude de la consommation des différents équipements installés.

2. **Recommandations pour les équipements :**

a) **Le choix des moteurs à haut rendement :**

Un moteur électrique est un appareil qui permet de transformer une énergie électrique en énergie mécanique en sa forme motrice. Les 2/3 de l'énergie consommée dans l'industrie sont utilisées par des moteurs électriques.

Le rendement est le ratio puissance de sortie sur puissance d'entrée.

Conformément à la nouvelle norme IEC 60034-30-1 (2014), les rendements des moteurs électriques à la puissance nominale sont répartis en classes de rendement :

- IE4 Rendement super-premium
- IE3 Rendement premium
- IE2 Haut rendement (anciennement Eff1)
- IE1 Rendement standard (anciennement Eff2)

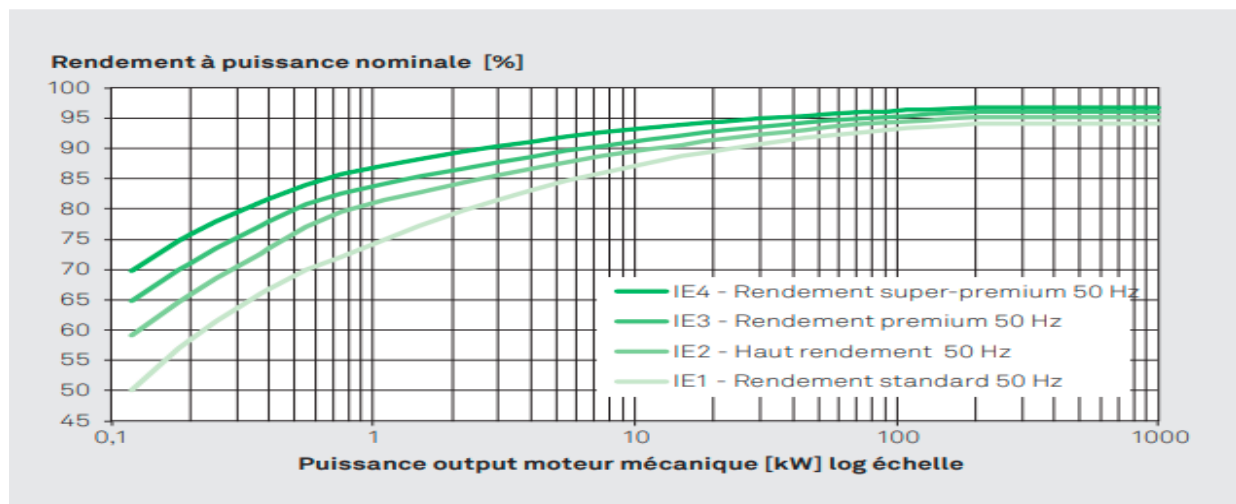


Figure 2 : Les rendements des moteurs électriques à 4 pôles d'après la nouvelle norme IEC 60034-30-1 (2014)

Le remplacement des moteurs à faible rendement existants est très avantageux d'un point de vue énergétique mais aussi d'un point de vue qualité (bruit, longévité, etc).

Un moteur de classe IE4 permet de réduire de 60% les pertes énergétiques en moyenne par rapport à un moteur standard.

L'économie réalisée par la mise en place d'un moteur à haut rendement se calcule selon la formule suivante :

$$E = N \times (P_n \times \%P_c) \times C_e \times \left(\frac{1}{\mu_{Standard}} - \frac{1}{\mu_{Moteur\ haut\ rendement}} \right)$$

Avec :

- N : nombre d'heures d'utilisation du moteur
- P_n : puissance nominale du moteur en kW
- $\%P_c$: puissance à laquelle fonctionne le moteur en pratique (exprimée en % de la puissance nominale)
- C_e : coût de l'électricité en €/kWh
- $\mu_{Standard}$: rendement d'un moteur standard
- $\mu_{Moteur\ haut\ rendement}$: rendement d'un moteur haut rendement

La rentabilité d'un moteur à haut rendement est estimée entre 24 et 36 mois par rapport à un moteur faible rendement.

Dans le cas de l'usine de remplissage de gaz sous pression, la chaîne de production est composée d'actionneurs électriques et pneumatiques. Une grosse partie de la mise en mouvement des bouteilles dans la chaîne de production est réalisée par des moteurs, comme le carrousel de remplissage par exemple.

Les moteurs des compresseurs qui génèrent l'air comprimé sont aussi très importants dans cette chaîne de production, car ils convertissent l'énergie nécessaire aux actionneurs pneumatiques.

b) Les variateurs de vitesse :

Un variateur de vitesse (VEV) est un convertisseur électronique de puissance qui permet de moduler la tension d'alimentation du moteur pour en contrôler la vitesse de rotation ainsi que le couple.

Il est ainsi possible de réduire la vitesse de rotation du moteur afin d'économiser la consommation énergétique.

Des gains importants sont également réalisés au démarrage des moteurs et des gains annexes sont à prendre en compte sur l'allongement de la durée de vie des équipements, la réduction du bruit, la maintenance réduite et la meilleure souplesse dans les process.

Que ce soit pour les pompes centrifuges, les ventilateurs ou les compresseurs, la mise en place d'un VEV permet un réglage du débit par la variation de la vitesse de rotation et non plus par dissipation d'énergie (par solutions de laminage, etc) entraînant des pertes énergétiques élevées.

c) Compteurs d'énergie :

Le compteur est un élément majeur du réseau électrique. En effet, il sert à mesurer la quantité d'électricité utilisée par un foyer. De cette façon, il permet aux fournisseurs d'électricité d'établir une facture sur la base de la consommation réelle des ménages.

Le compteur électrique fournit plusieurs données :

- L'index de consommation, exprimé en kilowattheures (kWh) ;
- Le numéro de matricule ;
- La puissance maximale de transit ;
- Le mode d'alimentation du logement, selon que le courant soit monophasé ou triphasé.

Les compteurs intelligents LINKY : sont des compteurs de nouvelle génération. Ils sont reconnaissables à leur couleur vert fluo et leur forme rectangulaire. Ils possèdent également un écran digital, sur lequel on peut consulter l'index de consommation électrique à l'aide des touches de défilement « + » et « - ».

La grande particularité des compteurs Linky est qu'ils prennent la mesure et transmettent en instantané les données de consommation au fournisseur. Cela se fait grâce à un paramétrage à distance. Ainsi, en tant que client, il n'est plus nécessaire de relever manuellement d'index. Cela étant dit, on peut bien sûr continuer à le faire pour savoir où on en est en terme de consommation.

d) Compteurs d'air comprimé :

L'air comprimé est une source d'énergie extrêmement importante pour les entreprises industrielles; il peut cependant également entraîner des coûts très élevés. Un compteur d'air comprimé peut ainsi nous aider à déterminer notre consommation d'air comprimé... et pas que pour des raisons liées à la protection de l'environnement. Une technique de mesure et de réglage précise nous aide ici à économiser une énergie précieuse afin de réduire nos coûts, mais aussi de préserver l'environnement de manière ciblée. Avec un manomètre, nous avons la possibilité de mesurer l'air comprimé, mais aussi son débit et ainsi de surveiller notre consommation et de détecter la présence de fuites.

Un compteur d'air comprimé présente les atouts suivants :

- Réduction des coûts grâce à des économies d'énergie
- Mesures précises de la consommation d'air comprimé
- Surveillance des fuites et de la consommation
- Manipulation extrêmement aisée et sûre

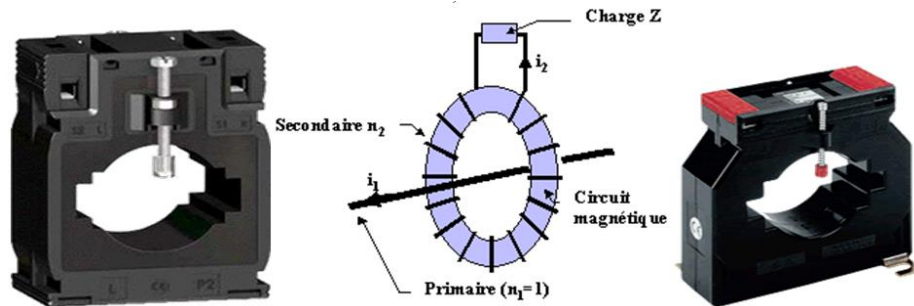
e) Transformateurs d'intensité :

Les courants industriels sont souvent trop importants pour traverser directement les appareils de mesure. Les transformateurs d'intensité (transformateurs de courant) permettent de ramener ces courants forts à des valeurs acceptables par la plupart des appareils, généralement 5 ampères.

De plus le transformateur de courant garantit une bonne isolation galvanique entre son primaire (courant fort) et son secondaire (mesure).

Principe :

L'enroulement primaire comportant n_1 spires, est parcouru par le courant i_1 , l'enroulement secondaire, parcouru par le courant i_2 , débite dans une charge Z le courant i_2 .



On a:

$$n_1 \times i_1 = (n_2 \times i_2) + (n_1 \times i_{10})$$

La précision sur la mesure de i_1 est d'autant meilleure que le courant magnétisant i_{10} est faible.

Précaution de construction :

La diminution du courant magnétisant est obtenue par :

- Une faible résistance de l'enroulement secondaire
- Un excellent couplage magnétique de l'enroulement secondaire (qualité du bobinage)
- L'emploi d'un circuit magnétique à très forte perméabilité

La réalisation de l'enroulement primaire ne pose pas de problèmes particuliers, étant donné qu'il ne comporte que peu de spires (souvent une seule spire).

f) Logiciel de suivi d'énergie :

Un logiciel de gestion énergétique a généralement comme rôle d'analyser les données énergétiques dans le cadre d'un système de mesurage de la performance énergétique.

Un système de mesurage regroupe l'ensemble des dispositifs permettant de mesurer, relever et analyser la performance énergétique d'un site ou d'un organisme.

SIME (Système d'Information de Management de l'Energie). Lorsque les données sont relevées de manière automatisée et exploitées à l'aide d'un logiciel de gestion énergétique, le terme « Système d'information de Management de l'Energie »(SIME) est préféré à celui de « système de mesurage »

II. Mesures d'économie d'énergie appliquées au niveau d'éclairage

La lumière joue un rôle essentiel dans notre vie par sa contribution à la santé des individus, à leur sécurité et à leur dynamisme. Elle améliore les conditions de travail et augmente les performances de travailleurs. Elle participe aussi à l'embellissement des espaces extérieurs et à la valorisation des architectures intérieures. Mais son impact sur l'environnement est important.

A titre d'illustration, dans le bâtiment non résidentiel, l'éclairage peut représenter jusqu'à 40% des consommations électriques. L'enjeu aujourd'hui est de réduire ces consommations tout en sauvegardant le confort requis. Les développements opérés dans le domaine permettent actuellement d'atteindre jusqu'à 70 % d'économies en remplaçant les anciens luminaires par des systèmes modernes plus performants. Dans la plupart des cas, de tels investissements sont rapidement rentables, et ils permettent souvent d'améliorer la qualité de l'éclairage.

Les fonctions de l'éclairage sont essentielles pour l'entreprise à plusieurs titres :

- La sécurité des employés : La lumière doit assurer la qualité de travail des employés et réduire le stress, l'éblouissement et les accidents de travail.
- La productivité : Une distribution optimale de la lumière par rapport à l'environnement qui permet au personnel de travailler plus longtemps et dans de meilleures conditions.
- Les coûts d'exploitation : la capacité à prévoir et à scénariser les usages permettra de faire baisser la facture (maintenance et exploitation) et donc d'améliorer les bénéfices.

1. . Mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique dans l'éclairage

Trois fondements de l'économie de l'énergie en éclairage :

- Utilisation de sources lumineuses et de luminaires efficaces et bien les entretenir.
- Extinction ou gradation de l'éclairage quand on n'en a pas besoin de façon intelligente
- Recours autant que possible à la lumière du jour.
- Dimensionnement et planification adéquats.

L'éclairage LED est retenu car il est :

- Modulable : Accepte beaucoup mieux les allumages fréquents (donc meilleure intégration avec des systèmes de gestion intelligents de la lumière)
- Peu énergivore : Jusqu'à 70 % d'économies par rapport aux lampes traditionnelles
- Excellent rendement : Durée de vie allant jusqu'à 100 000 heures

L'éclairage à base de LED offre la possibilité d'une gestion rationnelle de l'intensité lumineuse en fonction des besoins ; ce qui permet de réduire davantage la consommation.

L'éclairage se compose de sources lumineuses (LED actuellement), de luminaires (contenant les sources et réfléchissant leur flux lumineux) et de systèmes de commande électrique des luminaires (allumage/extinction manuelle/automatique, contrôle d'intensité lumineuse). Tous ces éléments contribuent non seulement à l'efficacité énergétique mais aussi à la qualité et à la sécurité des systèmes d'éclairage.

La modulation des niveaux d'éclairage des luminaires LED permet une gestion « intelligente de l'éclairage » comme :

- La gradation de la lumière artificielle en fonction de la lumière pour ne fournir que le complément nécessaire à atteindre le niveau d'éclairage requis.
- L'asservissement de la lumière dans le bâtiment ou des espaces précis, à la présence de personnel.



Figure 3 : Lampe à incandescence, lampe LED.

Connecté à une gestion technique centralisée, un éclairage peut être capable de renseigner sa consommation instantanée mais aussi son historique et sa durée d'utilisation totale.

Les mesures d'efficacité énergétique citées doivent être considérées pour l'éclairage de tous les espaces du dépôt :

- Conformité aux normes régissant l'éclairage intérieur et extérieur et zones ATEX
 - Généralisation de l'éclairage à base de LED
 - Mise en œuvre de commandes et asservissements de gestion d'énergie : télérupteurs, gradation, détecteurs de mouvement et de présence, asservissement à la lumière naturelle, horloges astronomiques, contrôle au point lumineux, gestion centralisée, surveillance de la consommation d'énergie et du bon fonctionnement des luminaires.
 - Intégration des énergies renouvelables pour satisfaire la consommation de l'éclairage du site.
 - L'introduction de l'éclairage PV autonome
- ➔ Trois scénarios sont comparés pour l'éclairage extérieur des zones du centre éloignées du TGBT (tableau de gestion basse tension) :
1. Scénario d'un éclairage LED porté par des lampadaires solaires autonomes
 2. Scénario d'un éclairage LED alimenté par le réseau du dépôt (Réseau classique)
 3. Scénario d'un éclairage LED alimenté par un réseau électrique intégrant une centrale solaire en autoconsommation (Sans stockage batteries)

Scénario	Avantages	Inconvénients
1	○ Pas besoin de liaison au réseau électrique du site ○ Temps d'installation réduit ○ Fonctionnement indépendant du réseau ○ L'énergie consommée par l'éclairage est celle stockée la journée fournie par le PV. Donc pas de facture à payer.	○ Coût élevé à l'achat ○ Exigence de nettoyage régulier des panneaux PV, notamment en zones polluées ○ Disponibilité de l'énergie tributaire des conditions météorologiques (Décharge de la batterie en cas d'absence prolongée du soleil) ○ Nécessité d'une nacelle pour les opérations de nettoyage ○ Surveillance continue de la batterie et du système de gestion ○ Changement de la batterie tous les 6 à 8 ans
2	○ Fonctionnement sécurisé sur un réseau électrique secouru ○ La maintenance se limite au luminaire, donc moindre que celle du scénario 1 ○ Coût de l'installation réduit par rapport à la solution de lampadaire autonome	○ Nécessité d'un passage de câble et d'un câble entre le poteau d'éclairage et le tableau d'alimentation électrique ○ Temps d'installation plus important que dans le cas du scénario 1 ○ Il faut payer les kWh consommés au prix des heures de pointe (pour 15% de la consommation) et des heures creuses (pour 85% de la consommation)
3	○ Fonctionnement sécurisé sur un réseau électrique secouru intégrant une source d'énergie renouvelable, laquelle est dimensionnée pour stocker dans le réseau la part de la consommation de l'éclairage la nuit. ○ La maintenance se limite au luminaire, donc moindre que celle du scénario 1 ○ Coût de l'installation réduit par rapport à la solution de lampadaire autonome	○ Nécessité d'un passage de câble et d'un câble entre le poteau d'éclairage et le tableau d'alimentation électrique ○ Temps d'installation plus important que dans le cas du scénario 1

Tableau 2 : Avantage et inconvénients de chaque scénario

Etude économique :

Le tableau ci-dessous indique le nombre d'éclairage et la puissance par zone :

	nombre de mâts	nombre de point lumineux/mat	TOTAL ECLAIRAGE	P. unitaire	S/ total
Ligne Nord	15	1	15	LED PHOTOVOLTAIQUE	
ligne Sud	24	1	24		
ligne Est	18	1	18		
ligne Ouest	12	1	12		
Poste de chargement	19	1	19	38 W	722 W
Pomperie	12	1	12	38 W	456 W
Cigares	42	1	42	38 W	1 596 W
Centre Emplisseur	216	1	216	63 W	13 608 W
Centre Emplisseur	5	1	5	150 W	750 W
Local pomperies incendie	9	1	9	38 W	342 W
NOMBRE TOTAL D'ECLAIRAGE			441	P.TOTAL	17 474 W

Tableau 3 : Nombre d'éclairage par zone

On peut calculer les différentes grandeurs telles que le cout énergétique, la durée d'amortissement avec les équations suivantes :

- La consommation :

$$\text{Cons} = P \times h \times N_{\text{lampe}}$$

Avec :

Cons : la consommation d'énergie en (KWh/an) ;

P : puissance d'une lampe en (W) ;

h : horaire de fonctionnement en (h/an) ;

Nlampe : nombre de lampes.

- Le coût énergétique :

$$C = \text{Cons} \times C_{\text{kWh}}$$

Avec :

C : coût énergétique en (DH/an) ;

CkWh : coût du KWh en (DH/KWh).

- L'investissement :

$$\text{Inv} = N_{\text{lampe}} \times \text{Prixlampe}$$

Avec :

Inv : investissement en (DH) ;

Prixlampe : le prix d'une lampe en (DH).

- Temps de retour :

$$\text{Tretour} = \text{Inv} / (\text{Cinst_init} - \text{Cinst_recom})$$

Avec :

Tretour : Temps de retour en (an) ;

Cinst_init : coût annuel total de l'installation initiale en (DH/an) ;

Cinst_recom : coût annuel total de l'installation recommandée en (DH/an).

2. La gestion centralisée et la supervision à distance de l'éclairage extérieur :

Après la généralisation de la LED pour l'éclairage extérieur et améliorer davantage les performances de l'éclairage, il est envisageable de mettre en place un système de télégestion permettant de réaliser des économies supplémentaires d'énergie, de faciliter la maintenance et anticiper les pannes, d'optimiser les coûts opérationnels, tout en minimisant les nuisances lumineuses et en maintenant la sûreté des utilisateurs.

Appareils nécessaires pour assurer l'allumage et l'extinction des lampes :

Deux types d'appareils sont capables d'assurer l'allumage et l'extinction des lampes de façon autonome (horloges ou cellules photoélectriques). Ils peuvent être branchés soit sur un réseau constitué de plusieurs points lumineux (c'est ainsi pour la majorité des installations), soit plus rarement, sur un point lumineux. Dans tous les cas, le circuit d'alimentation (en série pour un réseau) est équipé en tête par un coffret de livraison qui contient les appareils de commande (les cellules photoélectriques ne sont pas nécessairement placées dans un coffret de par leur taille réduite et leur étanchéité), ainsi qu'un compteur d'énergie.

Presque toutes les installations font appel aux cellules photoélectriques car elles commandent l'éclairage en fonction de la luminosité. Les horloges astronomiques fonctionnent également selon la lumière du jour (de façon mathématique) mais restent plus coûteuses. Le fonctionnement d'une cellule photoélectrique est assez simple et relativement fiable. C'est donc la commande automatique la plus simple qui prend le mieux en compte les conditions atmosphériques réelles. Lorsque la luminosité devient insuffisante, le circuit de la cellule photoélectrique laisse passer l'électricité ce qui allume la ou les lampes. Une cellule photoélectrique, afin que celle-ci donne une information la plus juste possible, doit être orientée de sorte à ne pas subir l'effet de sources lumineuses aléatoires, ou d'être perturbée par des ombres. De plus, ces organes doivent être vérifiés et nettoyés régulièrement afin d'empêcher l'accumulation de poussières. Outre ces contraintes, elles peuvent être montées sur tout type de support (console, bride, fixation murale ou sur mât, même support que le luminaire ou non...). Toute cellule photoélectrique doit être située hors de la portée du public, comme tous les autres appareils électriques, qui sont placés dans un coffret de livraison. Un autre point fort des cellules photoélectriques est leur encombrement réduit.

III. Mesures d'économie d'énergie appliquées au niveau des bâtiments :

1. Le volet passif du bâtiment :

Des recommandations pour les fenêtres :

Afin d'assurer une bonne isolation thermique de la fenêtre, il est important de choisir un cadre de fenêtre avec faible coefficient de transfert de chaleur.

Les cadres de fenêtres peuvent être construits à partir de divers matériaux. Les différents matériaux des cadres de fenêtre offrent différents niveaux de résistance thermique, ce qui a une influence variable sur l'efficacité énergétique. Par exemple, les fenêtres en fibre de verre, qu'elles soient

entièrement en fibre de verre ou revêtue, ont des propriétés d'isolation supérieures par rapport aux autres matériaux. Le vinyle, en raison de ses faibles propriétés de transfert de chaleur, est généralement un matériau plus économe en énergie que l'aluminium. Les cadres en bois sont d'excellents isolants, car ils conduisent une faible quantité de chaleur ou de froid dans le bâtiment.

Pour les bâtiments à haute efficacité énergétique, il est crucial d'envisager les options de vitrage et de gaz. Le verre à faible émissivité est indispensable pour maximiser l'efficacité énergétique d'une fenêtre. Les vitrages (ou revêtements) teintés et clairs aident à empêcher le transfert de chaleur, de froid et de lumière du soleil dans le bâtiment. Une unité isolante remplie de gaz, où le gaz invisible est scellé hermétiquement dans l'unité de la fenêtre à l'aide de systèmes d'espacement, constitue également une excellente barrière. Plus il y a de barrières qui séparent l'intérieur du bâtiment de l'extérieur, plus la protection contre les gains ou les pertes de chaleur est forte.

L'isolation :

L'isolation des murs, des combles, l'isolation de toiture ou encore le remplacement des parois vitrées en double vitrage (ou en triple vitrage) sont des travaux qui permettent de conserver la chaleur produite par le système de chauffage du bâtiment. En parallèle, les flux d'air froid en provenance de l'extérieur sont stoppés, maintenant un niveau de température agréable à l'intérieur.

Les différents matériaux isolants, qu'ils soient naturels, minéraux ou synthétiques, possèdent des propriétés plus ou moins efficaces par rapport aux trois types de transmission de chaleur. Pour un bâtiment écologique et respectueux de la santé des employeurs, il est préférable d'opter pour des matériaux isolants d'isolation issus du monde végétal ou animal. Notons qu'une isolation de qualité offre également d'améliorer le confort thermique à l'égard des grandes chaleurs de la saison estivale.

L'ajout de dispositifs tels qu'une ventilation mécanique contrôlée, ou VMC, permet notamment de lutter contre la prolifération de l'humidité, à la source de moisissures donc de problèmes de santé pour les habitants.

Maîtriser les températures :

La présence de thermostats au sein d'un système de chauffage permet d'avoir la pleine maîtrise des températures au sein du bâtiment, donc d'en améliorer le confort thermique. Les émetteurs de chaleur (radiateur ou autre) peuvent être équipés d'un robinet thermostatique qui permet d'adapter la température à chaque pièce selon les besoins de l'occupant.

Les thermostats connectés les plus performants, en étant reliés à une chaudière, permettent de contrôler avec encore davantage de précision les températures pièces par pièce.

2. Le volet actif du bâtiment :

Pompes à chaleur (PAC) :

Une pompe à chaleur est un dispositif de chauffage écologique dont le principe repose sur le différentiel de température entre évaporation et condensation d'un fluide frigorigène. Globalement, l'énergie issue de l'environnement (air extérieur, eau, sol) va faire évaporer le fluide de la pompe à chaleur, qui va être comprimé puis se condensera en relâchant la chaleur qu'il aura accumulée. La PAC utilise donc les calories extérieures qu'elle convertit en chaleur.

Les PACs aérothermiques se divisent en deux groupes :

- Les pompes à chaleur air-air qui captent l'air extérieur ou l'air ambiant pour le transmettre une fois chauffé ou refroidi directement à la pièce
- Les pompes à chaleur air-eau, destinées à l'alimentation du chauffage central.

Les PACs géothermiques, récupérant les ressources contenues dans le sol, sont plus nombreuses :

- Les pompes à chaleur sol-sol, utilisant un condenseur caché dans une dalle en béton et du fluide frigorigène, ont pour fonction de réchauffer directement le sol.
- Les pompes à chaleur sol-eau fonctionnent avec deux échangeurs : un échangeur sol / fluide et un échangeur fluide / eau.
- Les pompes à chaleur eau glycolée-eau sont raccordées à des capteurs remplis d'eau glycolée qui résistent au froid intense.

3. Système de gestion énergétique du bâtiment :

La Gestion Technique du Bâtiment – souvent appelée GTB ou BMS en anglais (Building Management System) - est un système informatique connecté permettant de contrôler et de superviser l'ensemble des installations techniques (ou ensemble des lots) des bâtiments à usage tertiaire. La GTB ou le système de GTB permet ainsi de piloter les installations techniques telles que:

- Les équipements de Chauffage, de Ventilation et de Climatisation (CVC),
- Les installations de plomberie (PLB) : pompes de relevage, cuves...
- La distribution d'électricité,
- Les moyens d'éclairage,
- Les installations de sécurité et de sûreté (vidéo-surveillance, contrôle d'accès)
- Les dispositifs incendie : alarmes, extinction.

Elle permet ainsi d'avoir une vue globale du bâtiment, que ce soit au niveau du confort, de la sécurité ou de la sûreté du bâtiment.

L'installation d'une GTB ou présente 3 atouts majeurs pour la gestion de son bâtiment, qu'il soit tertiaire ou industriel :

1. Anticiper les pannes pour améliorer la maintenance du bâtiment et optimiser la durée de vie des équipements :

La supervision des installations techniques via une GTB permet d'anticiper les pannes et de faciliter l'intervention du technicien. Une bonne gestion des lots techniques permet ainsi d'augmenter la durée de vie des installations.

2. Assurer la sécurité et le confort des équipements :

La GTB assure la sécurité des occupants du bâtiment en mettant en œuvre une véritable politique de gestion des systèmes de sécurité incendie, ou la sûreté du bâtiment via le contrôle d'accès et la surveillance vidéo. Le confort des occupants est optimisé puisque ce système permet une gestion intelligente de l'éclairage, du chauffage, de la climatisation et de la ventilation.

3. Améliorer la performance énergétique du bâtiment et réduire les coûts du fonctionnement :

L'intérêt d'une GTB est aussi d'améliorer la performance énergétique du bâtiment en réalisant des économies d'énergie via :

- La régulation du chauffage, de la ventilation et de la climatisation,
- La commande de l'éclairage, des stores...

Conclusion :

Au terme de ce chapitre j'ai essayé d'étudier quelques propositions et solutions d'amélioration de l'état énergétique des équipements, au niveau d'éclairage ainsi que le bâtiment.

CHAPITRE 3 :

INSTALLATION DE PRODUCTION D'ENERGIE AUTONOME PV

I. Introduction :

Dans le but de réduire la facture énergétique de l'exploitation du site, d'inscrire le projet dans le processus de développement durable et de limitation de gaz à effet de serre, il est envisagé d'équiper le centre MASSA d'une centrale solaire photovoltaïque. La centrale assurera la couverture du maximum possible de l'énergie consommée. A cet effet, les conditions d'implantation des composants de l'installation doivent être étudiées pour optimiser les coûts de l'installation et assurer les conditions d'une production maximale. En conséquence, il est recommandé de prendre en considération l'intégration de l'énergie solaire PV dans toutes les étapes de conception du projet.

Pour simplifier la compréhension des termes utilisés dans le projet de la centrale photovoltaïque, est proposée ci-après quelques définitions liées aux équipements photovoltaïques et à l'installation d'électricité basse tension. En effet, le champ photovoltaïque produit du courant continu ; lequel courant sera transformé en courant alternatif avant couplage avec le réseau normal BT existant sous 50Hz de fréquence.

Panneau Photovoltaïque PV	Module solaire composé de cellules au silicium monocristallin, poly cristallin ou amorphe : ces cellules transforment instantanément le rayonnement solaire incident en courant continu
Mono PERC mono facial	Cellules au silicium monocristallin avec technologie de réflexion à l'arrière de la cellule PV augmentant le rendement (rayonnement albedo non utilisé à l'arrière du panneau PV)
Puissance crête du panneau photovoltaïque WC	Puissance délivrée par le panneau photovoltaïque sous ensoleillement de 1000 W/m ² à 25°C (conditions dites STC)
Courants et tensions du panneau photovoltaïque	Impp et Vmpp : courant DC et tension DC délivrés par le panneau photovoltaïque sous ensoleillement en circuit fermé sur les onduleurs. Ioc et Voc : courant DC et tension DC délivrés par le panneau photovoltaïque sous ensoleillement en circuit ouvert.
Boîte de jonction du panneau photovoltaïque	Boîte de protection électrique des cellules située à l'arrière du panneau photovoltaïque (cas aussi de 2 boîtes)
Rangée de panneaux Photovoltaïques ou string	Ensemble de panneaux photovoltaïques raccordés en série (les tensions s'ajoutent et le courant demeure le même). La tension DC de la rangée est très importante au-delà de 500V !
Câbles DC	Câbles sur isolés de courant continu utilisés entre les panneaux photovoltaïques et les protections électriques dans l'armoire DC avant l'entrée DC vers les onduleurs
Câblage des panneaux photovoltaïques en série	Raccordement en série des panneaux photovoltaïques avec une attention particulière pour éviter la boucle d'induction
Câblage des branches/strings en parallèle	Raccordement en parallèle des rangées en entrée DC /MPPT de l'onduleur

Champ photovoltaïque	Ensemble des rangées/string des panneaux photovoltaïques incluant les supports métalliques, les câblages DC et les raccordements des équipotentialités et de mise à la terre MALT
Cheminements des câbles DC	Circuits de passage des câbles DC au niveau du champ photovoltaïque et circuits entre le champ photovoltaïque et l'armoire électrique DC
Equipotentialités et mise à la terre MALT	Raccordements avec câbles en cuivre : vert jaune sur les panneaux PV et cuivre nu sur les supports métalliques et chemins de câbles vers barrette de terre principal au local TGBT.
Armoire électrique DC	Armoire électrique constituée des protections électriques DC de chaque rangée de panneaux PV ; plus parafoudre DC avec disjoncteur et ensemble de borniers et câblages DC et MALT
Onduleur DC/AC	Appareil transformant instantanément les grandeurs électriques continues reçues du champ photovoltaïque en grandeurs électriques alternatives (tension en 380V et fréquence à 50Hz). L'onduleur est lié au datalogger et la centrale de mesures pour le suivi/communication de la centrale photovoltaïque.
MPPT de l'onduleur	Une dizaine de MPPT (Maximale Power Point Traking) existe dans l'onduleur (exemple cas Huawei 100KW) et ont pour fonction de délivrer le maximum de puissance. 1 parafoudre est installé dans l'onduleur
Centrale de mesure AC	Celle-ci est associée à 3 TC pour la prise en temps réel des grandeurs électriques avec transmission de ces données au datalogger pour la supervision de la Constitué centrale photovoltaïque
Armoire électrique AC et de couplage	Des disjoncteurs de protections électriques des onduleurs, de la centrale de mesures électriques, avec parafoudre plus jeu de barres de couplage solaire/réseau
Point de couplage	Point de raccordement choisi alimenté du réseau normal et sur lequel sera raccordé le câble AC sortie de l'armoire solaire AC.
Système de supervision/ communication	Ensemble constitué par exemple par le datalogger et la centrale de mesures électriques (smart meter) avec les liaisons TBT et la connexion internet ; le tout pour suivre en temps réel la production photovoltaïque avec les historiques journaliers, mensuels et annuels (sans aucune injection sur le réseau extérieur.

Tableau 4 : différents termes utilisés pour l'installation PV

II. Installation électrique prévue au centre :

Le centre emplisseur MASSA disposera au poste MT/BT de :

- 1 cellule MT arrivée type interrupteur
- 1 cellule MT départ type interrupteur
- 1 cellule MT type fusible de protection du transformateur MT/BT de 800KVA
- 1 transformateur MT/BT de puissance 800KVA (22KV/400V).
- 1 tableau de comptage côté BT
- 1 coffret de compensation fixe de 50KVAR
- 1 ensemble d'organes de sécurité (tabouret, fourche, gants ...) et 1 extincteur.
- Un groupe électrogène de 190KVA (SLT type TT) assure une partie secourue du Centre

III. Puissance crête de la centrale photovoltaïque

Comme le Centre n'est pas encore construit, c'est à partir du bilan de puissances d'autres sites existants qu'il est possible de déterminer la puissance crête photovoltaïque optimale du Centre.

1. Analyse de quelques courbes de charges des centres existants :

Dépôt du port de Mohammedia :

La capacité de stockage du dépôt est de l'ordre de **53 500 m³**. La production moyenne annuelle des années **2017-2018-2019-2020** est égale à **285 850 m³**.

La courbe de charge du dépôt relevée lors de l'audit énergétique effectué récemment est présentée ci-dessous :

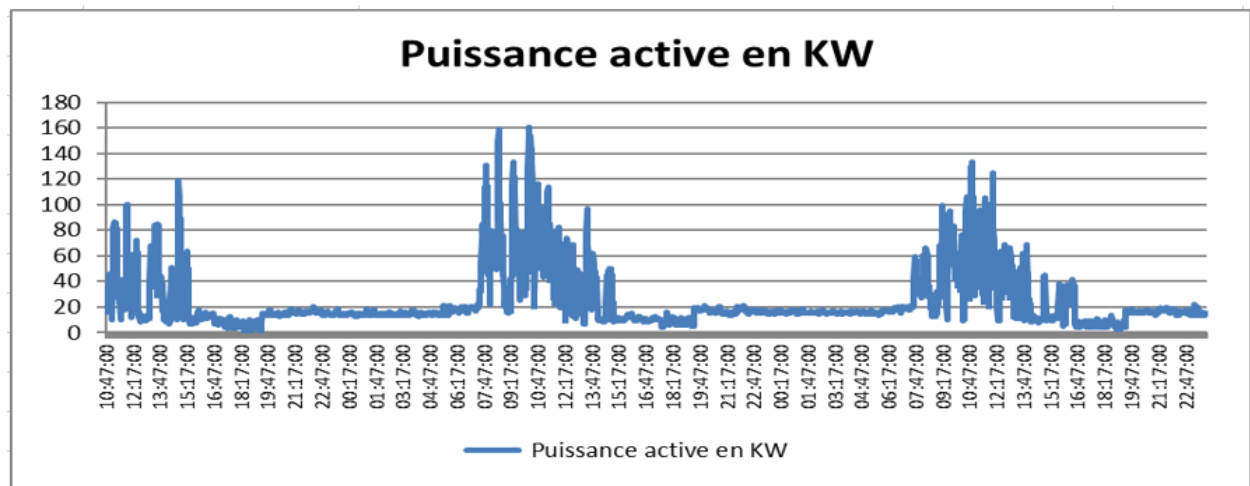


Figure 4 : Courbe de charge réelle du centre Mohammadia

La courbe de charge relevée indique une puissance moyenne appelée durant la journée (période d'ensoleillement) de l'ordre de 60 kW, une puissance qui peut être servie par une centrale photovoltaïque du même ordre de puissance.

Site industriel de Berrechid :

La capacité de stockage du dépôt est de l'ordre de **29 000 m³**. La production moyenne annuelle des années **2018-2019-2020** est égale à **189 700 m³**.

La courbe de charge du dépôt relevée lors de l'audit énergétique effectué récemment est présentée ci-dessous :

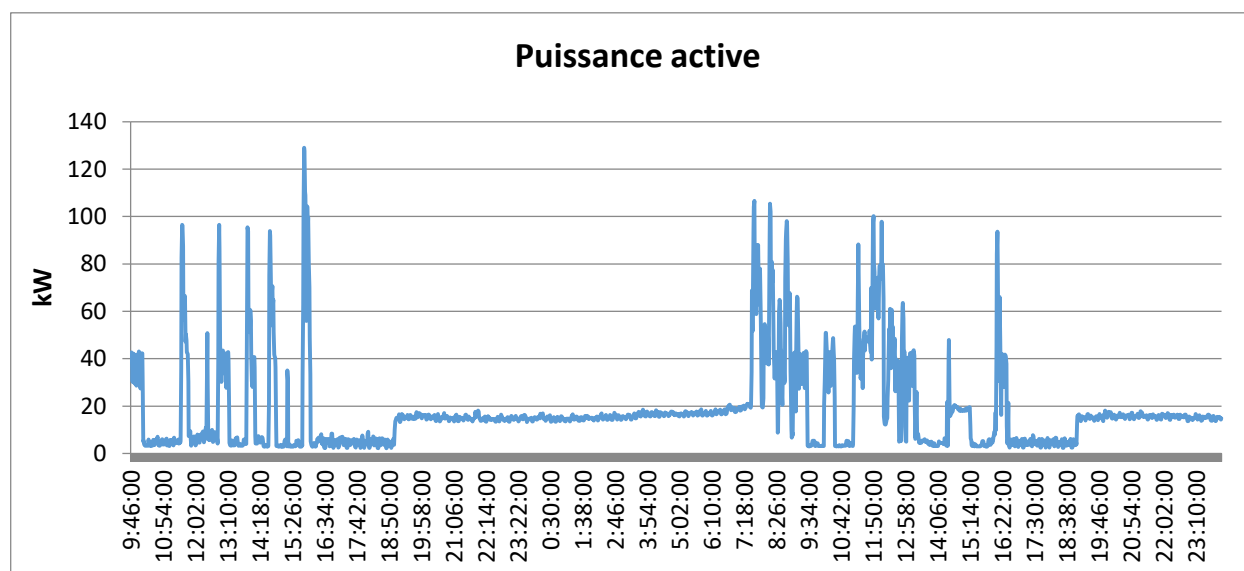


Figure 5 : Courbe de charge réelle du centre Berrechid

La courbe de charge relevée indique une puissance moyenne appelée durant la journée (période d'ensoleillement) de l'ordre de 40 kW, une puissance qui peut être servie par une centrale photovoltaïque du même ordre de puissance.

Synthèse du résultat :

Le tableau ci-dessous présente des données relatives à des centres existants :

	capacité (m3)	production annuelle (m3)	Appel de puissance (kW)	Fct (Prod.a / Capacité)
Mohammadia	53550	285850	60	5,338001867
Berrechid	29000	189700	40	6,54137931
Safi	30000	160000	35	5,333333333
			facteur moyen	5,737571504

Tableau 5 : capacités et appel de puissance de différents centres

D'après ce tableau de synthèse trois indicateurs peuvent être retirés, qui serviront par la suite à prédire la charge moyenne du nouveau dépôt. Les trois indicateurs sont :

- Production annuelle par rapport à la capacité de stockage ;
- La charge moyenne journalière (kW) par rapport à la production annuelle ;
- La charge moyenne journalière (kW) par rapport à la capacité de stockage.

- **Production annuelle / Capacité de stockage**

Ce premier indicateur est en valeur absolue, il indique le nombre de cycle de charge décharge de la capacité totale du dépôt par ans. Il est d'une valeur moyenne de **5.73** pour les trois dépôts.

- **La charge moyenne journalière (kW) / Production annuelle**

Cet indicateur fournit l'appel de puissance moyen journalier par rapport à la production annuelle. D'après les trois échantillons, l'indicateur est stable autour d'une valeur moyenne de **4753 m³ par kW** appelé.

- **La charge moyenne journalière (kW) / Capacité de stockage**

Cet indicateur fournit l'appel de puissance moyen journalier par rapport à la capacité de stockage. D'après les trois échantillons, l'indicateur est de l'ordre de **825 m³ par kW** appelé en moyenne.

- **Nouveau centre emplisseur MASSA**

En absence des prévisions de la production annuelle du nouveau centre, on s'est basé sur la capacité de stockage qui est de **204 530 m³** afin de prédire l'appel moyen journalier. En se basant sur le premier indicateur (PRODUCTION ANNUELLE / CAPACITE DE STOCKAGE) on estime la production annuelle du nouveau centre à **1171956.9 m³** par an (204 530 x 5.73).

Pour une telle production, l'appel de puissance moyen est estimé à **248.94 kW**.

3. Implantation des panneaux photovoltaïques et le nombre des panneaux par zone :

Les panneaux PV pris en considération à ce stade de l'étude pour les implantations et la détermination des puissances crêtes sont les panneaux photovoltaïques SUNPOWER 540 Wc type mono PERC.

ZONES	DESIGNATION	NOMBRE PV	PUISSANCE CRETE KWc
ZONE 1	au sol aire extérieur côté entrée/sortie camions bouteilles gaz	280	151.20
ZONE 2	sur l'ombrière du parking	85	45.90
ZONE 3	au sol face aire de stockage entretien BTS	96	51.84
TOTAL		461	248.94

Tableau 6 : Les puissances crêtes des panneaux photovoltaïques.

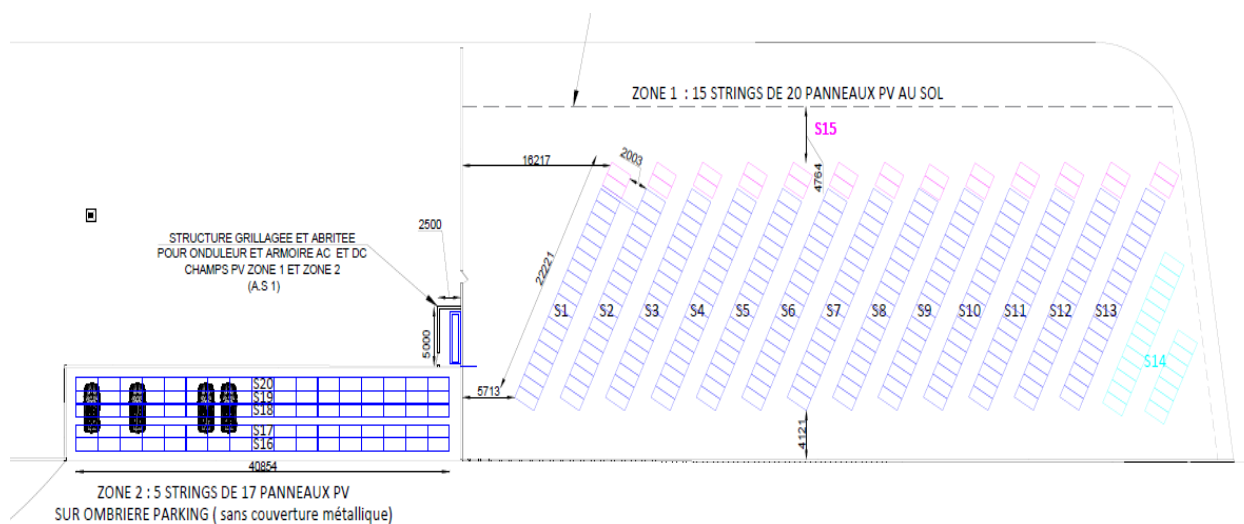


Figure 6 : Plan d'implantation des panneaux photovoltaïques dans les zones 1 et 2 :

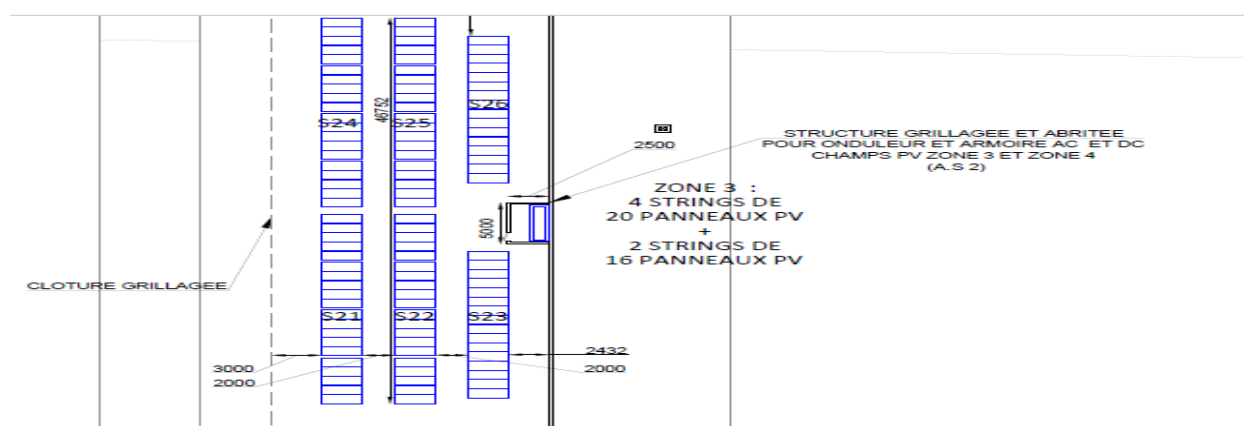


Figure 7 : Plan d'implantation des panneaux photovoltaïques dans la zone 3

Conclusion :

Au terme de ce chapitre, j'ai essayé d'étudier la faisabilité d'alimentation en énergie solaire des installations techniques du centre, ensuite j'ai calculer la puissance crête photovoltaïque optimale pour le centre, et finalement, j'ai donné une proposition pour l'implantation des panneaux.

Conclusion générale

Ce projet de Fin d'Etude a été effectué au sein de la société VIVO ENERGY MAROC, son objectif principal d'aboutir à la réalisation, moyennant un budget optimal, d'un projet énergétiquement efficace, profitant au mieux des énergies renouvelables disponibles sur le site, réduisant au mieux la facture d'énergie et minimisant les CO2 émis dans l'atmosphère.

Dans la première partie du projet nous avons traité les solutions possibles au niveau des équipements, éclairage et bâtiment.

Ensuite, nous avons recommandé la réalisation d'une centrale photovoltaïque en autoconsommation et sans injection sur le réseau électrique extérieur.

Mon stage m'a beaucoup intéressée, j'ai pu mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation, de plus, j'ai appris à quel point une étude sur l'efficacité énergétique est importante pour un projet, particulièrement en exploitant les sources d'énergie renouvelables.

Bibliographie :

1. https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/33/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20l'Efficacit%C3%A9%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20%C3%A0%20l'horizon%202030.pdf
2. https://www.amee.ma/sites/default/files/inline-files/Synthese_Strategie_nationale_dEE.pdf
3. <https://www.topmotors.ch/fr/contenu/normes-prescriptions>
4. <https://sitelec.org/cours/abati/ti.htm>
5. <https://fhe-france.com/pv/lexique-photovoltaique>

Annexe :

[illegible]