



Université Saâd Dahlab, Blida-1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire Présenté
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER En Energie renouvelable
Option : Conversion Thermique

Par
HAFIANE Aymen

Thème :

*Etude de faisabilité d'un système
thermique solaire pour le préchauffage
des groupes électrogènes*

Encadré par :

Dr. GAMA Amor

(URAER Ghardaïa/CDER)

Soutenu le 21/10/2021 devant le jury composé par :

Monsieur MERZOUK Mustapha	Professeur	USDB	Président
Monsieur LAFRI Djamal	MCB	USDB	Examineur
Madame CHAOUCHI Samira	MAA	USDB	Examineur
Monsieur KACI Karim	MAA	USDB	Co-promoteur

Octobre 2021

Résumé

Le but de ce travail consiste à une étude de faisabilité d'une installation d'un système thermique solaire pour le préchauffage des groupes électrogènes avant que la réserve tournante de la centrale hybride (PV/Diesel) ne soit épuisée.

Un capteur solaire plan a été choisi pour le préchauffage du système à une température de consigne de 78 °C, le dimensionnement a été réalisé par la méthode de F-CHART, nous avons obtenu une surface de captation de 14 m² avec 7 capteurs en séries

La simulation du système été réalisé par le logiciel TRNSYS .Les résultats obtenus sont satisfaisant et encourageant en terme économique et écologique, le temps de retour du cout d'investissement est de 17 jours, on a constaté qu'on peut réduire le taux très important des émissions des gaz polluants.

Mot clé : - capteurs thermique plan - les centrales hybrides (PV/Diesel) - un groupe électrogène - le préchauffage - une étude de faisabilité.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة جدوى تركيب نظام حراري شمسي للتسخين المسبق لمولدات الكهرباء قبل استنفاد احتياطي الدوران في محطات الطاقة الهجينة.(PV / Diesel)

تم اختيار مجمّع شمسي مسطح للتسخين المسبق للنظام إلى درجة حرارة محددة تبلغ 78 درجة مئوية، وتم إجراء التحميم بطريقة F-CHART، وحصلنا على سطح تجميع مساحته 14 متراً مربعاً مع 7 مجمعات متسلسلة

تم تنفيذ محاكاة النظام بواسطة برنامج TRNSYS، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها مرضية ومشجعة من الناحية الاقتصادية والبيئية، ووقت العائد لتكلفة الاستثمار هو 17 يوماً، وقد وجد أنه يمكن تقليل المعدل المهم جداً لانبعاثات الغازات الملوثة.

الكلمة المفتاحية: - لواقط حرارية مسطحة - محطات توليد الطاقة الهجينة (Diesel / PV) - مولدات الكهرباء - التسخين المسبق - دراسة جدوى.

Abstract

The aim of this work is to study the feasibility of installing a solar thermal system for preheating generators before the rotating reserve of the hybrid plant (PV / Diesel) is exhausted.

A flat solar collector was chosen for the preheating of the system to a set temperature of 78 ° C, the sizing was carried out by the F-CHART method, and we obtained a collection surface of 14 m² with seven collectors in series

The simulation of the system was carried out by the software TRNSYS. The results obtained are satisfactory and encouraging in economic and ecological terms, the return time of the investment cost is 17 days, it was found that the rate could be reduced very important emissions of polluting gases.

Key word: - flat thermal sensors - hybrid power plants (PV / Diesel) - a generator set - preheating - a feasibility study.

Dédicace

*À mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont
été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours,*

À mes frères

À toute ma famille

À tous mes enseignants

À mon encadreur

À tous mes amis et mes collègues

À Toute la famille du département des Energies

renouvelables

Je dédie ce modeste travail

Aymen

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur **GAMA Amor**. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je tiens également à remercier monsieur **KACI Karim** pour son aide précieuse.

Je remercie aussi tous **les membres du jury** d'avoir accepté de lire Ce manuscrit et apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de ce mémoire.

Je remercie beaucoup tous les enseignants qui m'ont enseigné durant mon parcours académique, mention spéciale aux enseignants de **spécialité conversion thermique**.

Je n'oublie pas non plus de remercier ma chère famille, mes très parents, qui ont toujours été là pour moi, et mes frère **Hicham, Houssame** et **Yacine** pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie tous mes amis et mes collègues de promotion 2020 - 2021 de département d'énergie renouvelable qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Nomenclature

U_c : Coefficient des pertes globale	$(W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1})$
Δt : Nombre total des secondes dans le mois.	(Secondes)
T_a : Température mensuelle moyenne ambiante	($^{\circ}C$)
T_u : Température désirée d'utilisation	($^{\circ}C$)
T_{res} : Température de réseau	($^{\circ}C$)
B_m : Besoins mensuels en eau chaude	(litre)
H_t : Irradiation incidente mensuelle	(J/m^2)
N : Nombre de jours dans le mois.	
N_m : Nombre de mois.	
$(\tau\alpha)$: Facteur de transmittance-absorbance mensuel.	
B_{es} : Besoins journaliers en eau chaude	(litre)
C_p : Capacité calorifique de l'eau	$(J.Kg^{-1}.K^{-1})$
Fr : Facteur de conductance.	
A_c : Surface du capteur	(m^2)

Acronymes

GES : Gaz à effet de serre.
PV : Photovoltaïque.
GE : Groupe électrogène.
SH : Système hybride.
GD : Générateur diesel.
CA : Courant alternatif.
CC : Courant continu.
AC : Alternative current.
DC : Direct current.
AVR : Automatic voltage regulator.
ESP: Production énergie secours.
PRP : Production régime permanent.
EJP : Effacement des jours de pointe.

Sommaire

Résumé	
Dédicace	
Remerciement	
Nomenclature	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE 1 : LES CENTRALES SOLAIRES HYBRIDES (PV/DIESEL)	13
1 INTRODUCTION	14
2 DEFINITION DES SYSTEMES HYBRIDES	14
3 CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES	14
3.1 LES REGIMES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME HYBRIDE:	14
3.2 LA STRUCTURE DU SYSTEME HYBRIDE:.....	15
3.3 MODE DE FONCTIONNEMENT:	15
4 ETUDE DE DIFFERENTES STRUCTURES DU SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE	15
4.1 CONFIGURATION A BUS DC	16
4.2 CONFIGURATION A BUS A AC.....	17
5 INTERET DES SYSTEMES HYBRIDES.....	17
6 DIMENSIONNEMENT ET COMPLEXITE.....	18
7 PROBLEMATIQUE DU STOCKAGE DE L'ENERGIE	18
8 LES SYSTEMES HYBRIDES PV/GE SANS STOCKAGE	18
9 ANALYSE ECONOMIQUE.....	19
10 ANALYSE DE L'ASPECT SOCIAL.....	19
11 LE PROBLEME DES CENTRALES HYBRIDES	20
11.1 LA RESERVE TOURNANTE :	20
12 L'ETAT DE L'ART:	20
13 CONCLUSION	23
CHAPITRE 2 : LES GROUPES ELECTROGENES	24
1 INTRODUCTION	25
2 CONSTITUTION D'UN GROUPE ELECTROGENE.....	25
3 LE GROUPE ELECTROGENE ET LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	26
4 AUTONOMIE.....	26
5 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT	27
6 LES EQUILIBRES FONDAMENTAUX.....	28
6.1 LA FREQUENCE :	28
6.2 LA TENSION :	28
7 UTILISATION DES GROUPES ELECTROGENES.....	28

8	DIFFERENTS MODES DE PRODUCTION OU D'UTILISATION SONT A CONSIDERER.	29
8.1	MODE DE PRODUCTION DE POINTE	29
8.2	MODE DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE AUTONOME.....	29
8.3	MODE DE PRODUCTION DE SECOURS	29
8.4	MODE DE PRODUCTION DE SECOURS INVERSE	29
9	LES TECHNOLOGIES DES GROUPES ELECTROGENES	29
9.1	VENTILATION	30
9.2	PRECHAUFFAGE	30
10	CONCLUSION	31
CHAPITRE 3 : LE COLLECTEUR SOLAIRE DE PRECHAUFFAGE		32
1	INTRODUCTION	33
2	CAPTEUR SOLAIRE PLAN	33
2.1	DEFINITION :	33
2.2	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	33
2.3	COMPOSANTES D'UN CAPTEUR PLAN :	35
2.3.1	<i>L'absorbeur :</i>	<i>35</i>
2.3.2	<i>Le fluide caloporteur :</i>	<i>36</i>
2.3.3	<i>La couverture transparente :</i>	<i>37</i>
2.3.4	<i>L'isolation thermique :</i>	<i>37</i>
2.3.5	<i>Le coffre ou la cadre :</i>	<i>38</i>
2.4	CLASSIFICATIONS :	38
2.4.1	<i>Le fluide de travail utilisé.....</i>	<i>38</i>
2.4.2	<i>L'orientation des capteurs : Les capteurs solaires peuvent être:.....</i>	<i>38</i>
2.4.3	<i>Le type des composants :</i>	<i>39</i>
2.5	LE RACCORDEMENT DES CAPTEURS.....	40
3	CONCLUSION	42
CHAPITRE 4 : INTEGRATION DU SYSTEME SOLAIRE POUR LE PRECHAUFFAGE DE GROUPE ELECTROGENE		43
1	INTRODUCTION	44
2	LA SOLUTION PROPOSEE.....	44
3	LE SCHEMA DU SYSTEME.....	44
4	L'ORGANIGRAMME DE LA DEMARCHE DU SYSTEME.....	45
5	ETUDE DE LA FAISABILITE DE LA SOLUTION	46
5.1	DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PRECHAUFFAGE	47
5.1.1	<i>La méthode de F-CHART.....</i>	<i>47</i>
5.1.2	<i>Présentation de TRNSYS.....</i>	<i>49</i>
5.1.3	<i>Présentation du site.....</i>	<i>49</i>
5.1.4	<i>Le dimensionnement.....</i>	<i>51</i>
5.1.5	<i>Simulation du système.....</i>	<i>51</i>
5.2	ETUDE ECONOMIQUE	52
5.2.1	<i>Le cout de l'installation.....</i>	<i>52</i>
5.2.2	<i>Le coût de la solution applique.....</i>	<i>52</i>
5.2.3	<i>Résultat de l'analyse économique</i>	<i>52</i>
5.3	IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	53
6	CONCLUSION	53
CONCLUSION GENERALE		54

Liste des figures

Chapitre 1

FIGURE 1- 1 : CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES.....	15
FIGURE 1- 2 : CONFIGURATION À BUS DC.....	16
FIGURE 1- 3 : CONFIGURATION À BUS À AC	17
FIGURE 1- 4 : SYSTEME HYBRIDE SANS STOCKAGE.....	18
FIGURE 1- 5 : MOTEUR DIESEL ET L'INJECTION DE CARBURANT DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION	21
FIGURE 1- 6 : GROUPES ELECTROGENES DE L'ENTREPRISE « DANVEST ENERGY A/S ».....	21
FIGURE 1- 7 : UNITE DE PRECHAUFFAGE ELECTRIQUE DE L'ENTREPRISE « ZOPPAS INDUSTRIES ».....	22
FIGURE 1- 8 : UN SYSTEME DE POMPE A CHALEUR DE L'ENTREPRISE « ASPIRATION ENERGY »	22

Chapitre 2

FIGURE 2-1 : CONSTITUTION DU GROUPE ELECTROGENE	25
FIGURE 2-2 : UN GROUPE ELECTROGENE DIESEL (AKSA)	26
FIGURE 2-3 : SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UN GROUPE ELECTROGENE. [31].....	27
FIGURE 2-4 : UN CIRCULATEUR D'EAU.....	31

Chapitre 3

FIGURE 3-1 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN.....	34
FIGURE 3-2 : SCHEMATISATION DE PRINCIPE DE CAPTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE.....	34
FIGURE 3-3 : COMPOSANTS D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN	35
FIGURE 3-4 : MONTAGE SERIE.....	40
FIGURE 3-5 : MONTAGE PARALLELE.	40
FIGURE 3-6 : MONTAGE DE 2 RANGEES DES CAPTEURS EN SERIE.	41
FIGURE 3-7 : MONTAGE DE 2 RANGEES DES CAPTEURS EN PARALLELE.	41

Chapitre 4

FIGURE 4-1 : SCHEMA EXPLICATIF DU SYSTEME DE PRECHAUFFAGE DE GROUPE ELECTROGENE (FACE 1).	44
FIGURE 4-2 : SCHEMA EXPLICATIF DU SYSTEME DE PRECHAUFFAGE DE GROUPE ELECTROGENE (FACE 2).	45
FIGURE 4-3 : L'ORGANIGRAMME DE DEMARCHE DU SYSTEME.	46
FIGURE 4-4 : INTERFACE DU LOGICIEL TRNSYS	49
FIGURE 4-5 : L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE	50
FIGURE 4-6 : L'IRRADIATIONS MOYENNES GLOBALE JOURNALIERES	50
FIGURE 4-7 : L'EVOLUTION DE TEMPERATURE DE SORTIR DE CHAMP DES CAPTEURS.	51

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Matériaux utilisés comme absorbeurs.....	36
Tableau 4-1 : Les caractéristiques du capteur.....	51
Tableau 4-2 : Le champ des capteurs.....	51
Tableau 4-3 : Les différents paramètres économique du système.....	52
Tableau 4-4 : La consommation du groupe électrogène.....	52
Tableau 4-5 : La quantité de gaz réduire à partir de système solaire.....	53

Introduction Générale

L'énergie est un des moteurs de l'économie mondiale. La croissance des pays développés s'est fondée depuis 150 ans sur un modèle énergivore, apparu avec la révolution industrielle du charbon et de l'acier, puis étendu à l'échelle de la planète avec la diffusion de l'électricité et des produits pétroliers.

Mais ce modèle n'est pas durable et deux contraintes imposent sa transformation:

- La tension sur les prix des énergies fossiles et la diminution de leurs stocks;
- La déstabilisation du climat qui nécessite de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES).

La solution est, outre le fait que chacun prenne conscience de ce problème majeur et réagisse dans son comportement quotidien par les principes de la maîtrise d'énergie et du développement durable, de développer d'autres alternatives dans le renouvelable.

Dans les centrales hybrides (PV/Diesel) il impose un grand problème à cause de l'injection des groupes électrogènes au réseau électrique, parce qu'elles ont besoin d'un préchauffage avant de diminuer la réserve tournant.

C'est pour ça on pose une solution pour préchauffé le groupe électrogène à partir d'un système à concentration solaire pour réduire les pertes de coûts de gasoil et de maintenance des groupes électrogènes de secours qui sont marche tout le temps, ce système il faut intégrer le dans le groupe électrogène.

Pour savoir comment intégrer ce système, et quel système solaire est le mieux à adapté pour le groupe électrogène, il est nécessaire de réaliser ce qu'on appelle couramment une étude de préfaisabilité à le système solaire que nous avons choisi.

Ce présent rapport fait objet d'une méthodologie de l'étude technico-économique, et environnemental.

L'étude est faite par une analyse complète des centrales hybrides (PV/Diesel) et les groupes électrogènes, et aussi pour les systèmes solaires favorables à installer.

Ce travail est subdivisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons les centrales hybrides (PV/Diesel) et son fonctionnement, avec l'état de l'art.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons le fonctionnement et l'utilisation des groupes électrogènes.
- Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à la présentation de les collecteurs solaire pour choisi le mieux à adapté.
- Dans le quatrième chapitre, nous présentons, une description de comment intégré le système solaire choisi et son fonctionnement, et un schéma imaginaire du groupe électrogène avec le système solaire, et on fait un dimensionnement d'un groupe électrogène réel pour connue la taille de système à intégrer, et une simulation par logiciel TRNSYS.

En fin dans la conclusion, on donne un résumé de l'essentiel des résultats obtenus ainsi que les perspectives.

Chapitre 1 :

Les centrales solaires hybrides (PV/Diesel)

1 Introduction

Au cours de ces dernières années, le prix des composants des systèmes solaires a baissé au point que la production avec le système hybride solaire/diesel qui est regroupe le photovoltaïque, et comme appoint un groupe électrogène est maintenant devenue économiquement viable pour la production de mini-réseaux, par rapport à la production uniquement à partir de diesel.

L'énergie solaire devient rapidement l'option technologique la moins coûteuse et la moins risquée pour réduire la consommation de carburant diesel pour la production d'électricité. [1]

2 Définition des systèmes hybrides

Les systèmes hybrides combinent l'utilisation d'au moins deux sources d'énergies différentes, par exemple un système PV couplé à un groupe électrogène. Dans le cas des systèmes hybrides PV/GE sans stockage d'énergie hors réseau, le groupe électrogène fonctionne en continu. Les performances du groupe électrogène, quand il fonctionne seul sont bien connues, par contre dans un système hybride, elles doivent être étudiées, afin d'appréhender l'influence du système PV sur son fonctionnement. Pour permettre un développement futur et durable des systèmes hybrides en Afrique subsaharienne, région du monde où l'accès à l'électricité est le plus bas, il est absolument nécessaire de pouvoir évaluer leurs performances et de maîtriser leurs dimensionnements.

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelable, peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système hybride (SH). Un système hybride à sources d'énergie renouvelable est un système électrique, comprend plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage ou non. [2]

3 Classification des systèmes hybrides

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

3.1 Les régimes de fonctionnement du système Hybride:

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique appelés aussi connectés au réseau. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome, son répond aux besoins des consommateurs des sites éloignés et villages isolés. [2]

3.2 La structure du système hybride:

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système :

Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique, cette source conventionnelle peut être générateur diesel, une turbine à gaz.

Le second critère possible est la présence ou non d'une diapositive de stockage. Pour satisfaire la demande en période de pointe ou absence de la source primaire. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries, des électrolyseurs, des réservoirs, volants d'inertie...etc.

La Troisième classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelable utilisées. La structure peut contenir un système photovoltaïque, Ferme éolienne, des convertisseurs d'énergie hydraulique, ou une combinaison de ces sources. [2]

3.3 Mode de fonctionnement:

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

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

-Système parallèle relie les sources renouvelables en même temps avec les sources classiques conventionnelles. [2]

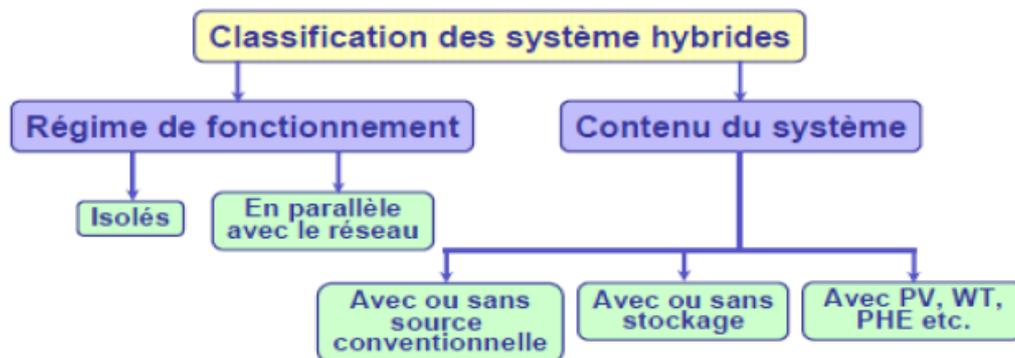


Figure 1- 1 : Classification des systèmes hybrides

4 Etude de différentes structures du système d'énergie hybride

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD), une éolienne et un générateur photovoltaïque, un système multi-source peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif(CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un system de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques

contiennent deux bus : un bus à DC pour les sources, les charges à DC et les batteries et un bus à AC pour les générateurs à AC et le système de distribution. Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à AC ou à DC en fonction de la dimension et la configuration du système.

L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'intermédiaire de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels. A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un système multi-sources avec des batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable et des diesels), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle: charge et source [3].

4.1 Configuration à bus DC

Dans cette configuration, l'énergie produite fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à AC fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC.

Les générateurs diesels sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA. Les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à AC directement. L'onduleur doit alimenter les charges à AC à partir du bus à DC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après. [3]

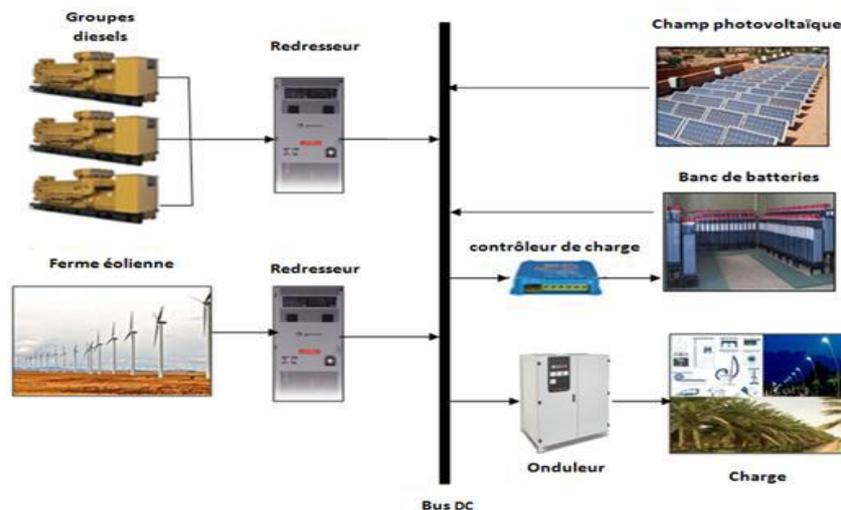


Figure 1- 2 : Configuration à bus DC

4.2 Configuration à bus à AC

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

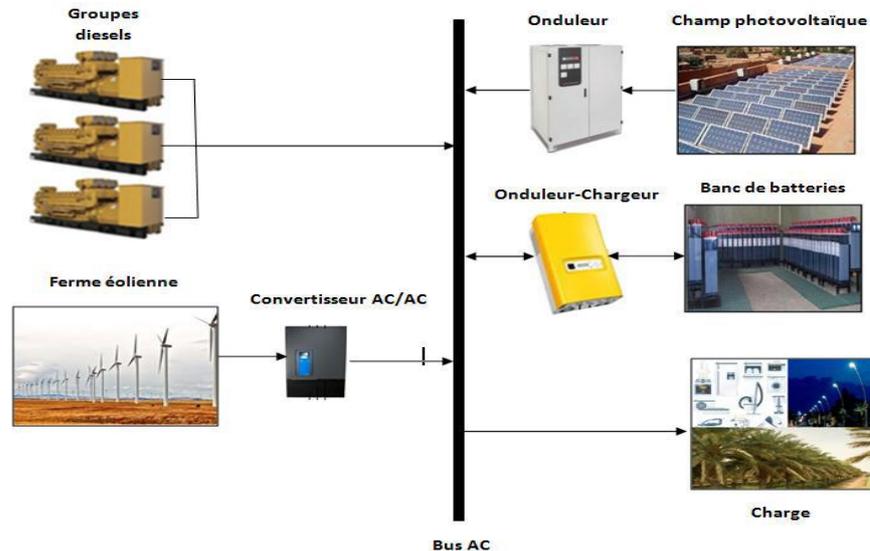


Figure 1- 3 : Configuration à bus à AC

5 Intérêt des systèmes hybrides

De nos jours, les groupes électrogènes ne sont plus une meilleure solution, à cause de leurs coûts d'exploitation élevés, de leur maintenance complexe et de la nécessité de transporter et de stocker le carburant. D'une part, la préoccupation grandissante concernant les problèmes environnementaux, d'autre part les progrès en matière de développement de technologies propres contribuent à faire des énergies renouvelables des solutions efficaces et efficientes en matière de développement durable et de préservation de l'environnement [5]. L'utilisation de plusieurs sources d'énergie telles que le soleil et l'éolien, permet de rendre plus fiable et efficiente la fourniture de l'énergie électrique. Les systèmes hybrides présentent les qualités suivantes :

- Fiabilité
- Flexibilité
- Economique

Dans les systèmes hybrides PV/GE, le groupe électrogène permet de réduire la taille du champ photovoltaïque, pendant que le système PV permet de réduire le temps de fonctionnement du groupe, sa consommation en gasoil, les coûts d'exploitation et de maintenance [6]. On peut donc situer l'intérêt des systèmes hybrides à ces niveaux, à savoir:

- Diminuer le temps de fonctionnement des groupes électrogènes.
- Diminuer la consommation en gasoil.

Dans les systèmes simples, le groupe électrogène tourne en continu, pour couvrir la différence entre l'énergie demandée et celle produite par le PV, alors le groupe électrogène fonctionne souvent sous faible charge ou dans de mauvaises conditions. Dû au faible rendement du groupe pour les faibles charges, l'économie en consommation de gasoil est limitée pour ces systèmes [4].

6 Dimensionnement et complexité

Lorsqu'ils sont bien dimensionnés, les systèmes hybrides peuvent être plus fiables et compétitifs que les systèmes PV seuls. Cependant les systèmes hybrides sont plus complexes, due à l'intermittence de l'énergie renouvelable, à la variabilité de la demande et au non linéarité des composants du système. Les méthodes classiques de dimensionnement sont limitées pour le dimensionnement de tels systèmes [6].

7 Problématique du stockage de l'énergie

Certaines énergies renouvelables comme le solaire et l'éolienne présentent l'inconvénient d'être intermittentes due à leur dépendance avec les aléas climatiques tels que l'ensoleillement ou la vitesse du vent. De ce fait il est souvent difficile de satisfaire les besoins. Pour pallier à cette discordance entre ressources et besoins, on utilise un stockage de l'énergie. Les différentes techniques de stockage de l'énergie sont nombreuses, parmi elles, le stockage électrochimique par des batteries d'accumulateurs est le plus utilisé dans les systèmes PV. Le dispositif de stockage joue un rôle important surtout quand le profil des charges journalier est en déphasage avec l'évolution de l'ensoleillement au cours de la journée, également pendant les périodes de maintenance. Le coût des batteries est très significatif, à cause de l'investissement initial très élevé et du fait qu'elles sont remplacées plusieurs fois au cours de la vie du système. En effet, ce coût peut atteindre jusqu'à 20% du coût total du système hybride et 40% pour un système PV autonome [7]. Généralement on utilise un stockage de type électrochimique (batterie cadmium) qui, en fin de vie, constituent un problème environnemental majeur lorsque les batteries ne sont pas recyclées.

8 Les systèmes hybrides PV/GE sans stockage

L'installation de panneaux PV en combinaison avec les groupes électrogènes connectés à un réseau de distribution public ou à un mini réseau local est une meilleure alternative à l'utilisation exclusive des groupes électrogènes [8]. Les systèmes hybrides PV/GE sans stockage sont une option qui gagne du terrain. Il existe deux approches en matière de tels systèmes :

-Utilisation avec un réseau électrique public: on parle en ce moment d'injection directe.

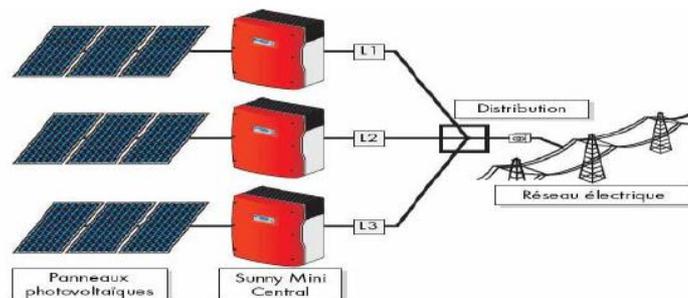


Figure 1- 4 : Système hybride sans stockage

N.B : au niveau du réseau local (distribution), il existe un parc de groupes électrogènes.

-Utilisation sur un site isolé: cas des réseaux de distribution d'énergie locaux non interconnectés à un réseau électrique public; on parle alors de système hors réseau électrique public.

9 Analyse Economique

L'analyse économique passe bien sûr par le calcul des coûts du projet et sa rentabilité. Divers indices comme l'TEP peuvent être utilisés. Cet indicateur est le moment auquel la source d'énergie devient rentable au niveau énergétique, c'est-à-dire que l'énergie fournie par la source couvre les dépenses énergétiques pour l'implantation de cette source. Les options utilisant des énergies renouvelables peuvent être comparées à d'autres options comme l'option existante (les génératrices) ou l'option commune de la région, province ou du pays (se connecter au réseau). Dans le cas présent, s'il y a possibilité de raccordement au réseau, il faudrait estimer les coûts associés versus les coûts des options des technologies renouvelables. S'il n'y a pas possibilité de raccordement au réseau, diverses possibilités sont disponibles : utiliser un système avec génératrice ou un système d'énergies renouvelables pour chaque maison ou besoin précis (environ 5 kW – 10 kW) ou faire un réseau alimenté par des énergies renouvelables pour un groupement des maisons ou de besoins, mais qui serait de plus grande capacité (environ 50 kW).

Ensuite, une analyse plus globale peut être faite pour les technologies afin de savoir si elles sont de bons stimulants économiques. Si le domaine est en essor et permet de créer des emplois, les technologies deviennent intéressantes. De plus, si la région présente des avantages face à d'autres pour l'implantation cette technologie, les gouvernements veulent attirer cette industrie. Plusieurs gouvernements offrent des incitatifs pour l'utilisation des technologies renouvelables ou pour des mesures d'efficacité énergétique. [9]

10 Analyse de l'aspect social

L'aspect social est de façon générale l'amélioration de la condition humaine par la satisfaction de besoins essentiels et l'amélioration de la qualité de vie. Ceci intègre les principes généraux d'accès à l'emploi, à l'éducation, aux soins médicaux, aux services sociaux et à un logement de qualité. Dans de nombreux pays en voie de développement ou sous-développés, les systèmes hybrides ou photovoltaïques sont utilisés pour la désalinisation de l'eau de mer pour offrir de l'eau potable ou encore pour réfrigérer les médicaments ou alimenter les équipements médicaux dans les cliniques des régions isolées. L'utilisation de l'énergie solaire pour ce genre de besoins est essentielle à l'amélioration de la qualité de vie des gens de ces régions. De plus, l'ajout de systèmes éoliens aux systèmes photovoltaïques permet d'offrir une sécurité pour un apport en énergie continue. Pour les cliniques, par exemple, souvent le système photovoltaïque ou hybride est couplé à une génératrice puisqu'on ne peut pas permettre une défaillance du système et se retrouver sans apport d'énergie.

De plus, plusieurs villages reculés du monde installent ou font des projets d'installations d'énergies renouvelables. Ces installations peuvent simplement être utilisées pour pomper ou chauffer de l'eau ou encore apporter un besoin minimal en énergie par exemple dans les écoles ou centres communautaires. L'aspect social peut aussi se traduire par la responsabilité

sociétale de l'entreprise. Ceci se traduit par les bonnes conditions de leurs employés, le respect des communautés environnantes et du territoire. L'employeur doit offrir de bonnes conditions de travail (santé et sécurité, hygiène et propreté des lieux) et aussi leur donner de la formation nécessaire. [9]

11 Le problème des centrales hybrides

Le grand problème qui s'impose dans les centrales conventionnelles (hybrides) afin de diminuer la réserve tournante c'est le préchauffage des groupes électrogènes avant de commencer à produire l'électricité, parce que comme nous connaissons que le moteur diesel à besoin dans sa chambre de combustion à une température élevée pour le déclenchement de l'inflammation du mélange (air/carburant) par un fort taux de compression.

La solution appliquée aujourd'hui dans les centrales hybrides PV/Diesel pour établir le réseau et équilibrer les fluctuations de la production électrique du système PV un groupe électrogène fonctionne 24h/7j à vide pour que le système reste toujours prêt au cas d'un passage nuageux, en attendant le préchauffage des groupes électrogènes.

Cette solution est très coûteuse, des millions de dollars sont perdus annuellement en raison du prix élevé du carburant, Et parfois le groupe électrogène fonctionne à vide pendant une période allant de 2 à 3 mois, à cause de l'absence des nuages dans les zones sahariennes par exemple.

11.1 La réserve tournante :

La réserve tournante est comme étant l'exigence du système de commande définie par la capacité du générateur classique de couvrir les changements immédiats causés par l'arrêt des générateurs d'énergie renouvelable et par l'augmentation soudaine de la charge. En effet, la réserve tournante détermine la capacité instantanée de réserve minimale du GD en fonction des prévisions de la production d'énergie renouvelable et de l'évolution de la charge. Une réserve d'énergie doit être toujours disponible pour éviter l'effondrement du système lors d'une réduction soudaine de la production d'énergie renouvelable.

12 L'état de l'art:

1/Entre 1893 et 1897 l'ingénieur Rudolf Diesel (Allemand) :

Il est fabriqué le moteur Diesel, est à allumage par compression, est un moteur à combustion et explosion dont la combustion est déclenchée lors de l'injection de carburant dans la chambre de combustion, par un phénomène d'auto-inflammation lié aux températures élevées. Ces températures de 700 à 900 °C sont atteintes grâce à un fort taux de compression. Des bougies de préchauffage sont souvent utilisées pour le démarrage à froid des petits moteurs, qui créent un point chaud facilitant le déclenchement de l'inflammation du mélange air-carburant.



Figure 1- 5 : Moteur Diesel et l'injection de carburant dans la chambre de combustion

2/ En 2015 Dr. Thomas Hillig Energy Consulting Pour l'entreprise «Danvest Energy A/S» (Danemark) Il dit:

Dans ces dernières années, le marché de l'hybride PV-diesel a fait preuve de beaucoup plus de dynamisme que les marchés de l'énergie hybride éolienne-diesel. Danvest voit un énorme potentiel pour ses solutions et a récemment pénétré le marché hybride PV-diesel.

Le concept consiste principalement en la modification des groupes électrogènes synchrones traditionnels. La solution a fait ses preuves avec les générateurs traditionnels.

Le principal objectif de l'étude est d'évaluer le potentiel commercial des générateurs à faible charge dans les applications hybrides PV-diesel dans l'industrie.

L'étude montre que les groupes électrogènes diesel traditionnels dans ces systèmes sont limités car ils sont lents à démarrer, ont une flexibilité limitée et aucune capacité de faible charge. Les limitations proviennent du fait que les groupes électrogènes traditionnels sont optimisés pour la puissance de pointe. [3]



Figure 1- 6 : Groupes électrogènes de l'entreprise « Danvest Energy A/S »

3/En 2016 l'entreprise « Zoppas Industries » (Italy) : Ils ont dit

Depuis plus de 30 ans, Zoppas Industries fournit à ses clients une large gamme d'unités de préchauffage électrique pour chemise d'eau systèmes de refroidissement pour moteurs diesel et à gaz. En utilisant les unités de préchauffage de Zoppas Industries, les problèmes typiques associés aux démarrages à froid peuvent être évités et le moteur peut être immédiatement mis à pleine puissance.

Le préchauffeur fonctionne en recirculant le fluide dans le système de refroidissement de la chemise d'eau pour maintenir la température lorsque le moteur est fonctionnant à une charge minimale ou après un arrêt du moteur pour amener la température au niveau de fonctionnement. [4]



Figure 1- 7 : Unité de préchauffage électrique de l'entreprise « Zoppas Industries »

4/En 2016 l'entreprise « Aspiration Energy » (India):

A conçu un système de pompe à chaleur économe en énergie pour les besoins de préchauffage des générateurs diesel. La pompe à chaleur a été conçue pour fonctionner 24h/7j et sera coupée lorsque les générateurs diesel sont en marche.

Nous avons optimisé ce besoin de chauffage avec une analyse des données de consommation et une conception détaillée. On a proposé une pompe à chaleur à air de 38 kW pour remplacer le chauffage électrique.

Cette entreprise a installé le système de pompe à chaleur en série avec un échangeur de chaleur à plaques. Les conduites de traitement sont équipées d'électrovannes pour contourner le débit lorsque la température réglée est atteinte.

Le système de pompe à chaleur a été installé en intégration indirecte puisque l'eau de la gaine n'est pas chimiquement compatible avec le matériau de construction du condenseur.

Le chauffage électrique existant est réglé pour être inactif et utilisé uniquement si la pompe à chaleur nécessite un entretien. [5]



Figure 1- 8 : Un système de pompe à chaleur de l'entreprise « Aspiration Energy »

5/La solution applique (SKTM) (Algérie) :

La solution qui sont appliquée aujourd'hui dans les centrales hybrides PV/Diesel pour établir le réseau et d'équilibre les fluctuations du système PV instable jusqu'à ce que vous deveniez les groupes électrogènes chaud et prêt pour commencer à produire l'électricité, c'est de laisser un groupe électrogène de secours fonctionne 24h/7j pour éviter la coupure ou le déséquilibre de réseau électrique.

Cette solution nous fait de perdre des millions de dollars annuellement en raison du prix élevée du carburant, Et parfois ce groupe électrogène ne s'utilisons pas pendant une période allant jusqu'à de 2 à 3 mois, à cause de l'absence de nuages dans les zones sahariennes par exemple.

13 Conclusion

L'évaluation des performances des systèmes hybrides est identifiée comme étant une des questions clés pour leur développement; en raison du manque de confiance, le développement de ce marché est compromis et demande une démonstration de leur fiabilité. Mettre en place une méthode fiable pour évaluer les performances d'un système hybride répond à un besoin important, dans le sens d'encourager les investissements dans les systèmes hybrides [10].

Chapitre 2 :

Les groupes électrogènes

1 Introduction

Nous constatons que les besoins en énergie augmentent. Année après année, il devient de plus en plus difficile de produire suffisamment d'énergie. Nous commençons d'ailleurs à entendre, par les médias interposés, que des « **délestages** » peuvent être envisagés. Pour parer ces risques de délestages, un groupe électrogène peut apporter une solution efficace. Nous allons, dans ce chapitre, faire une présentation sommaire des groupes électrogènes. [11]

2 Constitution d'un groupe électrogène

Le schéma de principe d'un groupe électrogène est donné sur la figure suivant : [29]

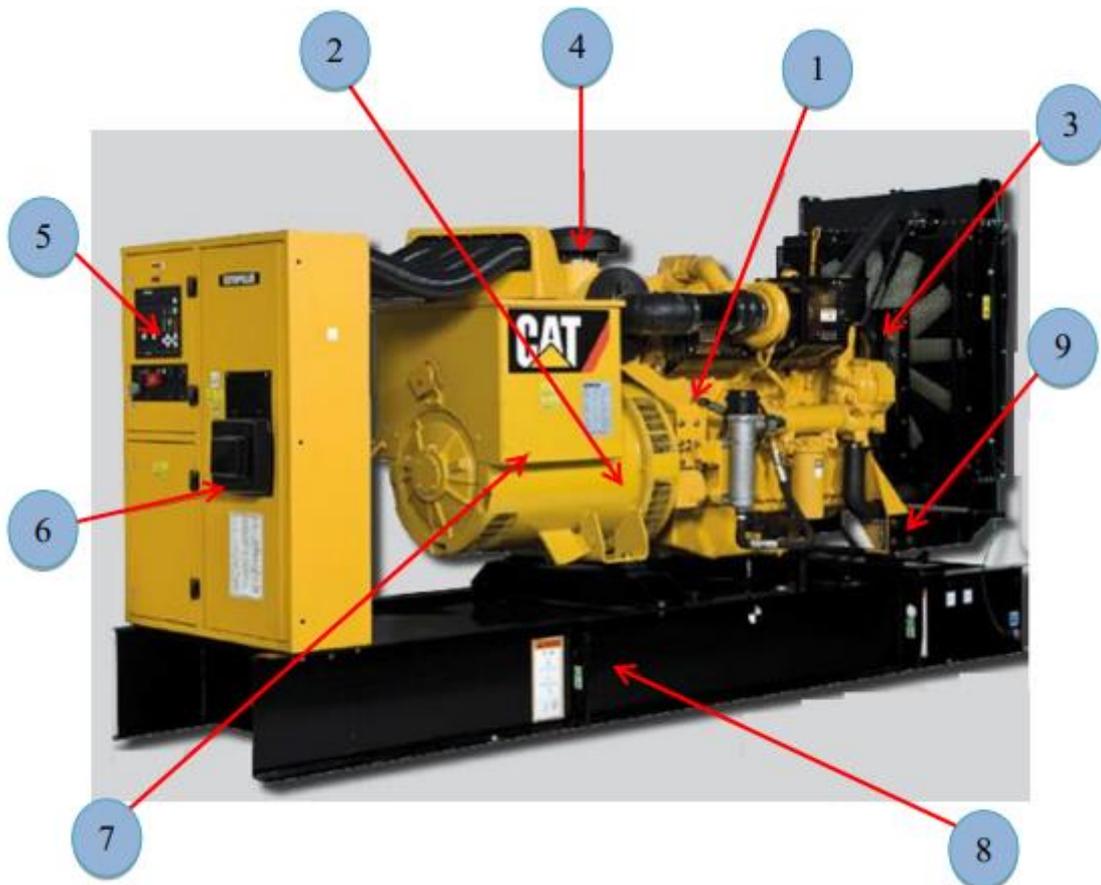


Figure 2-1 : Constitution du groupe électrogène

1. Moteur thermique diesel - 2. Alternateur - 3. Système de refroidissement - 4. Filtre à air
5. Tableau de commande et de contrôle - 6. Disjoncteur - 7. Régulateur de tension (AVR) 8.
Châssis - 9. Dispositif de protection.

3 Le groupe électrogène et le principe de fonctionnement

Un groupe électrogène est l'association d'une machine produisant de l'énergie mécanique et d'un alternateur. Une centrale de production électrique est en fait un « groupe électrogène couplé à une “chaudière” ».

Aussi, dans la pratique, a-t-on pris l'habitude de parler par exemple de centrale hydraulique, centrale nucléaire, centrale à charbon, ... Mais aussi de groupe turbo-alternateur, groupe hydraulique, groupe à turbine à gaz.

On réserve l'appellation groupe électrogène à l'association moteur à combustion ou à explosion et alternateur (génératrice synchrone et plus rarement génératrice asynchrone ou continue), répondant à la **Norme ISO 8528-1**.

Pour qu'un groupe électrogène ou alternateurs fonctionnent, il faut une régulation de vitesse sur le moteur et une régulation de tension sur l'alternateur. De plus, ils doivent être munis d'un ensemble de capteurs et de sécurités. Enfin, ils sont équipés d'un système de gestion du démarrage et de l'arrêt qui peut être manuel ou automatique. [11]



Figure 2-2 : Un groupe électrogène diesel (AKSA)

4 Autonomie

Un groupe électrogène doit normalement être autonome. Il faut donc une source d'énergie de démarrage qui peut être mécanique, pneumatique ou électrique. Le moteur fournit la puissance active, exprimée en KW, équivalente à ce qui est facturé. Il doit pouvoir faire face aux pointes de consommation (démarrage de gros équipements en particulier) alors que sa capacité de surcharge est très limitée. La capacité de surcharge est nulle pour un groupe dit « de secours » (en Mode ESP : production énergie secours) selon la norme ISO 8528 et généralement de 10% pour les autres (Mode PRP : production régime permanent).

Il faut donc s'assurer que la charge maxi déterminée par le constructeur du groupe ne sera jamais dépassée. Cette charge est différente selon qu'il s'agit d'un groupe de production continue, ou non, à charge constante ou variable, de secours.

Il ne faut jamais se baser sur la puissance du moteur lui-même (exprimée en KW) : outre le rendement calculé sur la transmission, cette puissance est déterminée au régime maxi du moteur et non pas au régime de rotation du groupe, imposé par la fréquence et le nombre de pôles de l'alternateur (3000, 1500, voire 1000trmn). Un moteur d'engin défini pour 2200 tr/min délivre 30 à 40% de moins à 1500 tr.

L'alternateur transforme cette puissance mécanique en puissance active et y « ajoute » la puissance réactive nécessaire. Il s'agit d'un « **modèle mathématique** » (méthode de Boucherot) très pratique à utiliser. Mais en fait, il suffit que la régulation ajuste la tension à la bonne valeur pour que la quantité nécessaire de réactif soit générée. [11]

5 Système de refroidissement

Lors de son fonctionnement, le groupe électrogène consomme du carburant et produit de l'énergie. Les groupes électrogènes actuels ont un rendement souvent bien inférieur à 50% par rapport à la valeur calorifique du carburant. C'est-à-dire que lors de sa combustion, la moitié du carburant est convertie en énergie électrique tandis que l'autre est convertie en chaleur qui arrive jusqu'à l'ordre de 2000°C. Lors de sa transformation, le carburant réchauffe le groupe et l'augmentation de température qui en résulte peut entraîner : [30]

- Une surconsommation de carburant par le groupe.
- Une baisse de son rendement.
- La destruction du moteur si l'échauffement est excessif.

Ainsi, l'installation d'un système de refroidissement pour le groupe électrogène est nécessaire, afin d'éviter l'échauffement du système. Le système de refroidissement comprend :

- Le radiateur
- La pompe qui entraine le liquide de refroidissement
- Le vase d'expansion
- Le thermostat
- Le ventilateur
- Le liquide de refroidissement (eau + additif).

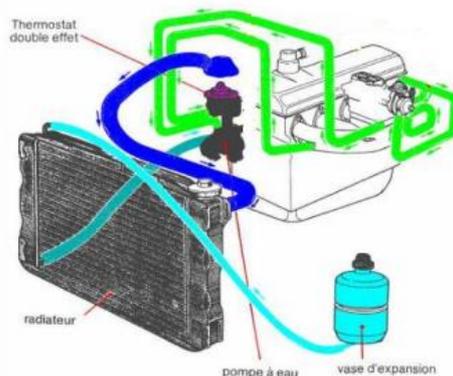


Figure 2-3 : Système de refroidissement d'un groupe électrogène. [31]

6 Les équilibres fondamentaux

6.1 La fréquence :

Pour laquelle la régulation du moteur ajuste en permanence l'injection pour que la puissance absorbée soit égale à la puissance générée. Si l'on produit trop la fréquence augmente et inversement. [11]

6.2 La tension :

Pour laquelle la régulation de l'alternateur ajuste en permanence l'excitation pour que la puissance réactive absorbée soit égale à la puissance réactive générée. Si l'on produit trop la tension monte et inversement.

A noter : cette régulation est bien plus complexe si l'on a une génératrice asynchrone (dépourvue de régulation).

La grandeur caractéristique de l'alternateur est le courant. Dans la limite de ce que peut supporter l'excitatrice, entre le mini et le maxi d'induction, les possibilités de surcharge sont bien plus élevées que celles du moteur... Les machines munies d'un correcteur de court-circuit peuvent fournir couramment $3I_n$. Elles peuvent aller jusqu'à $4I_n$ pour les plus performantes, pendant quelques secondes.

Ce paramètre est très important pour assurer le déclenchement des protections disjoncteurs. Elles se situent en aval ainsi que le démarrage de moteurs asynchrones.

Si la puissance active est insuffisante, le groupe rampe (sous-fréquence) ou cale. En revanche, si la puissance apparente dépasse la puissance assignée de l'alternateur, l'alternateur est en surcharge. Alors, La protection se déclenche afin de protéger ses enroulements. Dans le cas où cette insuffisance est très importante, comme quand on démarre un gros moteur, la tension s'effondre et peut même passer à zéro sur de petits groupes. [11]

7 Utilisation des groupes électrogènes

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe différentes catégories de personnes susceptibles d'utiliser des groupes électrogènes. Selon qu'il s'agit de besoins particuliers ou professionnels. Sur le plan professionnel, les utilisations sont également diverses selon les besoins et les circonstances. Par exemple, un hôpital se doit d'avoir un groupe électrogène de secours en remplacement de la source principale. Il doit être d'une puissance importante au regard des consommations énergétiques constatées dans ce type de milieu.

Pour certains industriels, le choix peut s'orienter vers un groupe électrogène de secours. Cela permet d'écarter les consommations en période creuse. [11]

8 Différents modes de production ou d'utilisation sont à considérer

8.1 Mode de Production de pointe

Le groupe électrogène est utilisé pour couvrir les besoins en pointes du réseau électrique public.

En présence du réseau normal, le groupe électrogène se trouve en mode « repos ou standby ». Il n'entre en activité que pour compenser les pointes de consommation électrique. C'est un mode de fonctionnement EJP. [11]

8.2 Mode de Production d'énergie électrique autonome

Le groupe électrogène sert à la production énergétique, alimentant un réseau de distribution. Ce type d'installation trouve son application sur des sites où le réseau de distribution public est inexistant, et techniquement ou économiquement impossible à mettre en place, tel qu'en montagne, ou encore sur une île. La durée de fonctionnement annuelle de ces groupes électrogènes est souvent très élevée. [11]

8.3 Mode de Production de secours

Les groupes électrogènes de secours sont destinés à alimenter un établissement en courant électrique en cas d'absence ou de défaillance du réseau public. Ces groupes électrogènes se mettent automatiquement en route dès qu'il détecte une absence réseau. Ce type de groupes électrogènes est mis en place dans des bâtiments où les absences secteur induisent une mise en danger de vies humaines (hôpitaux ou EHPAD) ou encore dans le cas de pertes de productivité (banques ou Centres de données type Data centers). [11]

8.4 Mode de Production de secours inversé

Pour des sites où la production d'électricité constante est critique, comme le site de lancement de la navette Ariane Espace ou l'éclairage d'un stade de Football, un groupe électrogène est chargé de la production d'énergie principale. Si celui-ci venait à avoir une défaillance technique, le relai est assuré par le réseau public.

Le groupe électrogène est essentiel au fonctionnement de nombreuses entreprises et administrations. Son dysfonctionnement est synonyme de perte de productivité et d'argent. Il peut être extrêmement dangereux dans les cas où il est utilisé en tant que générateur de secours. [11]

9 Les technologies des groupes électrogènes

Au niveau technologique, plusieurs éléments sont à considérer en fonction du type d'utilisation et surtout de la puissance à produire. Comme explicité auparavant la majorité des applications « domestiques » sont remplies par des groupes électrogènes de puissance

généralement inférieure à 10Kva de conception simple fonctionnant principalement avec de l'essence et plus rarement avec du gasoil (moteur thermique diesel dans ce cas).

Pour ce qui est des applications industrielles, le choix est beaucoup plus vaste de façon à répondre au plus grand nombre y compris à des applications spécifiques telle que la cogénération (récupération de la chaleur pour des besoins agricoles ou industriels).

Les groupes électrogènes de type industriels sont de diverses natures, montés sur châssis monobloc, avec ou sans capotage de protection en cas d'installation extérieure, avec ou sans système de ventilation (simple radiateur air-eau couplé au moteur thermique ou avec des aéro-ventilateurs extérieurs voire déportés). [11]

La majorité des groupes électrogènes de type industriel comportent les éléments ou systèmes suivants :

9.1 Ventilation

Lors de son fonctionnement, le groupe consomme du carburant et produit de l'énergie mécanique qui se traduit ensuite en énergie électrique par l'alternateur ou la génératrice. Les groupes électrogènes actuels ont un rendement souvent bien inférieur à 50% par rapport à la valeur calorifique du carburant. C'est-à-dire que lors de sa combustion, la moitié du carburant se convertit en énergie électrique tandis que l'autre se convertit en chaleur.

Lors de sa transformation, le carburant réchauffe le groupe. Cette augmentation en température peut entraîner une :

- Surconsommation de carburant par le groupe,
- Baisse de son rendement,
- Casse du moteur.

La ventilation d'un groupe électrogène est donc nécessaire, afin d'éviter la surchauffe du moteur pouvant entraîner certaines dégradations. Dans le cas où un groupe électrogène de forte puissance se place dans un local à l'espace réduit, le radiateur se déporte éventuellement à l'extérieur. [11]

9.2 Préchauffage

Les groupes électrogènes délivrant une forte puissance sont également plus imposants. Ils nécessitent un maintien permanent de leur température afin d'optimiser leur démarrage. A l'identique d'un moteur de camion ou de véhicule, qui est froid voire même très froid en hiver, on constate qu'il est toujours difficile de le démarrer.

Afin de pouvoir démarrer le moteur à chaud, un circuit de préchauffage doit maintenir la température du moteur, depuis son extinction jusqu'à son redémarrage.

Ainsi pour des groupes situés en extérieurs, ou dont les locaux possèdent une ouverture d'air frais, le préchauffage peut être extrêmement coûteux en énergie, car la chaleur émise se dissipe à l'extérieur.

Afin d'éviter toute dispersion de la chaleur émise par le réchauffeur à l'extérieur du local, dans une optique d'économie d'énergie, les registres d'isolement disposés en entrée d'air frais et sortie d'air chaud se ferment lors de l'extinction du groupe électrogène, puis piloté à l'ouverture au démarrage de ce dernier.

Cette disposition permet également de conserver la chaleur du local, réduisant les coûts relatifs au maintien de la température du moteur lorsqu'il est à l'arrêt.

Lorsqu'il s'agit de groupe électrogène du type capoté, il est parfois nécessaire de mettre un circulateur d'eau lorsque le moteur thermique est à l'arrêt. Le principe est que la résistance électrique intégrée au carter moteur permet de réchauffer les fluides internes au moteur. [11]



Figure 2-4 : Un circulateur d'eau

Le groupe électrogène étant à l'arrêt, il n'est pas possible de transposer cette chaleur à toutes les parties du bloc moteur, l'utilisation d'un circulateur permet d'uniformiser la chaleur à l'ensemble du moteur.

10 Conclusion

Nous avons vu au cours de cette partie de l'article, qu'il existe plusieurs types de groupe électrogène sur le segment des énergies dites de remplacement, selon que les besoins soient d'ordre domestique ou industriel.

Nous avons commencé à présenter la technologie employée au niveau de ces groupes électrogènes ; en particuliers pour les groupes dits industriels.

Dans la troisième partie, nous compléterons notre présentation des systèmes technologiques permettant leur fonctionnement et nous verrons également qu'il devient très vite complexe de définir le matériel en fonction de la mise en œuvre sur le lieu d'installation. [11]

Chapitre 3 :

Le collecteur solaire de préchauffage

1 Introduction

L'énergie solaire thermique résulte de l'utilisation de capteurs qui transforment l'énergie contenue dans le rayonnement solaire en chaleur véhiculée par un fluide caloporteur (eau, air, autre fluide intermédiaire). Ce principe est utilisé pour fournir, soit de l'eau chaude sanitaire (chauffe-eau solaire), soit pour contribuer au chauffage d'une habitation en complément de la production d'eau chaude sanitaire (système solaire combiné).

La filière solaire thermique est l'une des filières de production de chaleur renouvelable les plus prometteuses et les plus dynamiques à ce jour. [12] [13]

Les types de panneaux solaires thermiques diffèrent selon la nature du fluide caloporteur qui transporte la chaleur : de l'eau ou de l'air. Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour le chauffage et/ou pour produire de l'eau chaude sanitaire. Dans les capteurs thermiques à air, l'air circule et s'échauffe au contact des absorbeurs. Il est ensuite ventilé dans les habitats pour le chauffage.

2 Capteur solaire plan

2.1 Définition :

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : Les effets de serre et du corps noir. La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour :

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages.
- Faire fonctionner des moteurs thermiques
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil. Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur. [14]

2.2 Principe de fonctionnement :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air,). Le schéma de Principe d'un capteur solaire plan est donné sur la figure (3-1). La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur. [15]

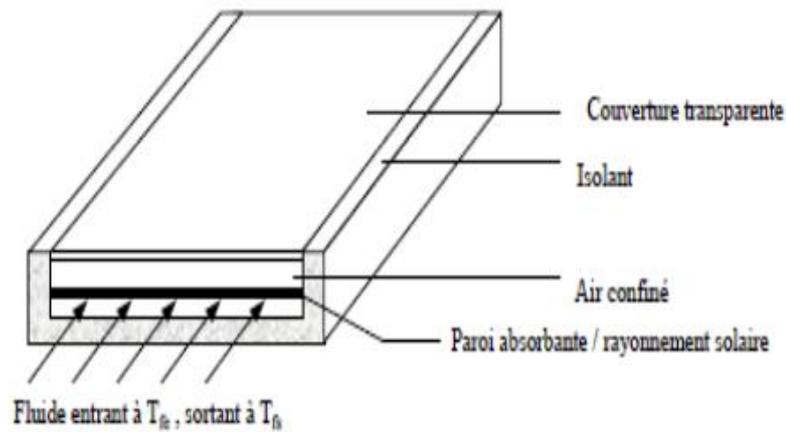


Figure 3-1 : Schéma de principe d'un capteur solaire plan.

Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus au moins complexes dont le principe consiste à focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite. Les capteurs plans utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La figure suivante montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire. [18]

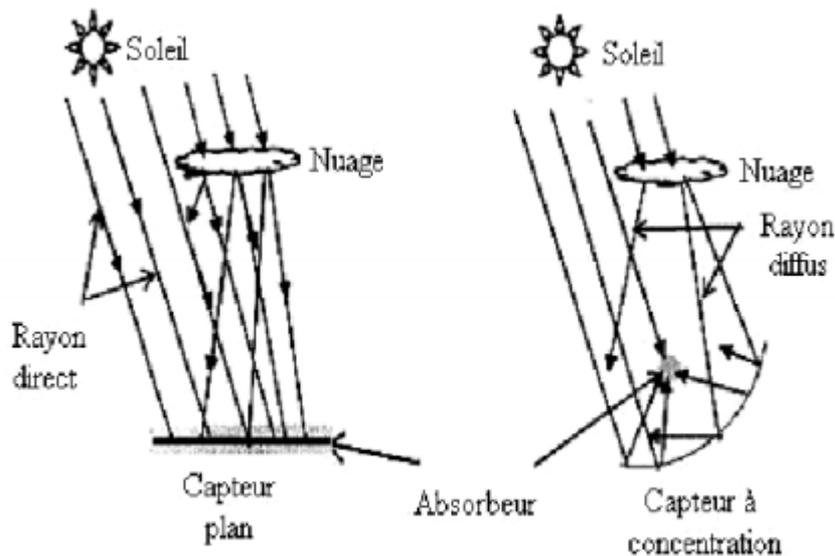


Figure 3-2 : Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.

Il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.

- Corps noir C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit, et qui aussi, à une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, il émettrait le maximum de flux par rayonnement. [18]

- Effet de serre L'effet de serre est souvent mis à profit température du rayonnement solaire. On désigne normalement par "effet de serre", l'ensemble des modifications apportées à l'équilibre énergétique et thermique d'un corps récepteur (le sol par exemple). [18]

2.3 Composantes d'un capteur plan :

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (figure 3-17).

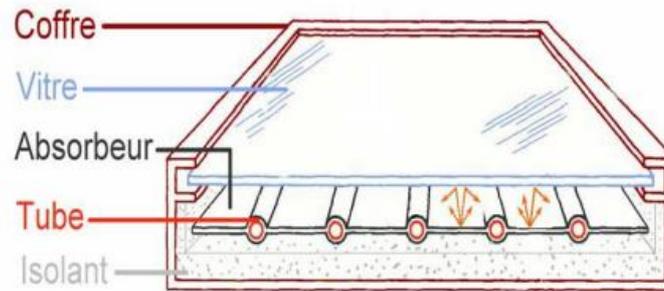


Figure 3-3 : Composants d'un capteur solaire plan

2.3.1 L'absorbeur :

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur. Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique la quelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux. [16]

L'absorbeur peut être classé suivant sa forme. On trouve:

- Les capteurs plans.
- Les capteurs à cavités.

*Les avantages sont :

- La légèreté.
- La possibilité de teinter le produit dans la masse et donc de ne pas craindre les rayures.
- La faible sensibilité des plastiques à la corrosion.

* Les inconvénients sont :

- Une mauvaise conductibilité thermique.
- Un vieillissement dû au rayonnement U.V.
- Une tenue médiocre aux températures élevées.

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques. L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm. [17]

Les canaux contenant le fluide caloporteur ne doivent pas être trop espacés ; ainsi, la transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fait plus efficacement. Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de 100 à 120mm entre les tubes. [17] Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts de fabrication bas. Il est fortement nécessaire d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact. [17]

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs:

matériaux	Absorptivité α^*	Emissivité ϵ	Sélectivité α^*/ϵ	Température max (°C)
Black nickel	0.88 – 0.98	0.03 – 0.25	3.7 - 32	300
Graphitic films	0.876 – 0.92	0.025 – 0.061	14.4 – 36.8	250
Black Copper	0.97 – 0.98	0.02	48.5 - 49	250
Black Chrome	0.95 – 0.97	0.09 – 0.30	3.2 – 10.8	350 - 425

Tableau 3-1 : Matériaux utilisés comme absorbeurs.

L'absorbeur se caractérise par deux paramètres:

- Le facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité): le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident.
- Le facteur d'émission infrarouge ϵ (ou émissivité): le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé le transforme en par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R ($\epsilon \approx 0.9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir. [16]

2.3.2 Le fluide caloporteur :

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de propriétés physiques et chimiques, il doit posséder Une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol) ou bien de l'air. Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants [16]:

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Pas de problème de corrosion (l'air sec).
- Toute fuite est sans conséquence.

- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.
- Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.
- Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :
- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
- Le produit masse volumique \times capacité calorifique, est faible ($\rho \times C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4.2.106 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

2.3.3 La couverture transparente :

C'est une surface faite d'un matériau transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement I.R, permettant de réaliser un effet de serre.

Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre simple ou traité qui laisse passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer, mais on peut trouver aussi des produits de synthèse.

L'utilisation de la couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C , en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, en effet :

Soit un capteur exposé au rayonnement solaire, sa couverture est transparente au rayonnement visible mais opaque aux rayonnements U.V et I.R. a la surface de la terre, le rayonnement solaire est composé de 42% de rayonnement visible qui va être transmis à l'absorbeur lequel en chauffant va réémettre du rayonnement I.R pour lequel la transmissivité de la vitre est faible ne pouvant ainsi s'échapper et qui sera en partie absorbé par la vitre qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle-même s'échauffe.

L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent. [16]

2.3.4 L'isolation thermique :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

- Partie avant de l'absorbeur La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection. [16]
- Partie arrière et latérale Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas

dégazer aux hautes températures si non, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces sur faces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. [16] [17] [19]

2.3.5 Le coffre ou la cadre :

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

2.4 Classifications :

On peut classer les capteurs selon: [14]

2.4.1 Le fluide de travail utilisé

On peut trouver:

Des capteurs solaires à air : Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le chauffage des Produits agro-alimentaires, et le chauffage des locaux.

- Des capteurs solaires à eau : Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

- Faible pression de circulation, tel est le cas du chauffage des piscines.
- Haute pression de circulation où le circuit d'eau est généralement constitué de tubes de cuivre et de plaques métalliques qui augmentent la surface d'absorption. L'eau et l'air sont les principaux fluides de travail utilisés pour les capteurs solaires plans, mais il en existe d'autres, tels que les hydrocarbures qui sont utilisés pour la réfrigération et la génération d'électricité.

2.4.2 L'orientation des capteurs : Les capteurs solaires peuvent être:

-Des capteurs fixes Ces capteurs ne bougent pas dans la journée, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires domestiques, et présentent les propriétés suivantes :

- La simplicité et la fiabilité.
- Un faible entretien. Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur). L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur l'absorbeur n'est pas très longtemps chaque jour à son maximum d'efficacité.

-Des capteurs à poursuite Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement du capteur.

2.4.3 Le type des composants :

Les composants des collecteurs diffèrent d'un capteur à un autre, on peut classer les capteurs suivants :

-La couverture Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

- Les capteurs solaires plans non vitrés Ils sont constitués d'un réseau de tubes peint en noir en plastique résistant aux rayons U. V, sans couverture transparente. Ils sont essentiellement utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement basses de l'ordre de 30 à 35°C. Un capteur solaire non vitré, aussi appelé capteur "moquette", est composé d'un absorbeur (métallique ou synthétique) revêtu d'une peinture sombre et sélective, d'un faisceau de tubes cylindriques ou ovalisés, résistants aux rayonnements ultraviolets et aux variations de température. Les tubes sont parcourus par de l'eau (fluide caloporteur). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes. Ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés. De ce fait, en sortie du capteur, l'eau n'excède pas 20°C. Est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chauds. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C. Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur.
- Les capteurs solaires plans vitrés Le vitrage crée un effet de serre qui permet d'atteindre des températures de 70°C à 90°C et augmente ainsi le rendement. Le capteur solaire peut avoir une ou plusieurs couvertures transparentes. C'est le modèle le plus répandu, Est utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux. La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C.

Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur, on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur (un serpentin contenant le fluide à réchauffer), Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garde la chaleur. Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur. Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit. Les détails qui vont faire la différence, se trouvent dans la qualité de fabrication du caisson (aluminium, acier inoxydable), la qualité et

l'épaisseur de l'isolation autour de l'absorbeur, le vitrage et son traitement anti-réflexion, les joints et l'assemblage.

- L'absorbeur peut être classé suivant sa forme. On trouve : Les capteurs plans. Les capteurs à cavités.

2.5 Le raccordement des capteurs

Un champ de capteurs doit être composé de capteurs aux propriétés physiques semblables. Plusieurs raisons à cela:

- Eviter les sources d'usure prématurée : des métaux différents peuvent provoquer des couples galvaniques, sources de corrosion interne des capteurs.
- Eviter un problème d'équilibrage hydraulique, problème fréquent de fonctionnement des capteurs : chaque capteur doit posséder des pertes de charge similaires.

Le placement des capteurs doit permettre :

- Que la planéité des capteurs soit respectée.
- De placer vers le bas les orifices d'évacuation des condensats.
- De résister aux conditions climatiques locales (vent et neige).

Pour le raccordement des panneaux entre eux, différentes configurations sont possibles :

- En série.
- En parallèle respectant de préférence le principe de Tichelmann.
- Montage de 2 rangée des capteurs en série.
- Montage de 2 rangée de capteurs en parallèle (respectant le principe de Tichelmann).

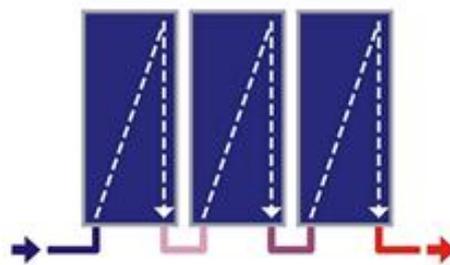


Figure 3-4 : Montage série.

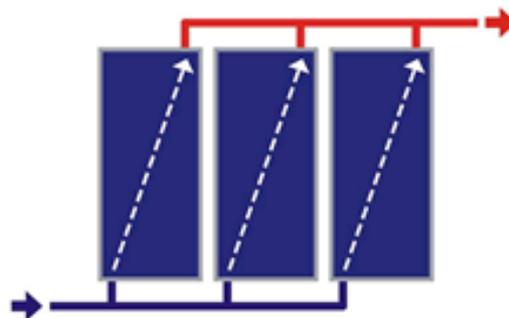


Figure 3-5 : Montage parallèle.

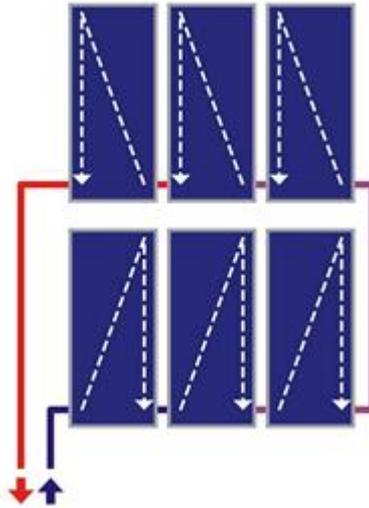


Figure 3-6 : Montage de 2 rangées des capteurs en série.

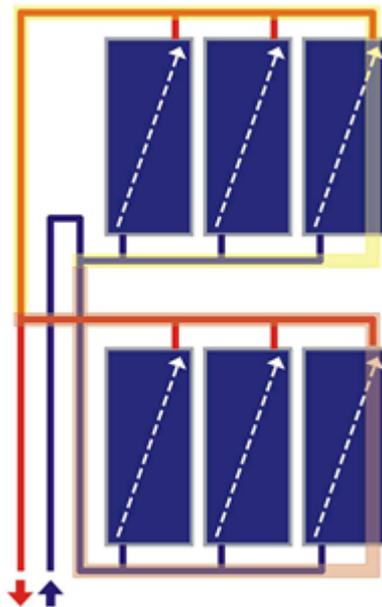


Figure 3-7 : Montage de 2 rangées des capteurs en parallèle.

Le choix sera fonction de différents éléments :

- La facilité de réglage (équilibrage).
- La longueur nécessaire de tuyauterie (coût et pertes thermiques associés).
- La configuration de l'espace disponible.
- Le compromis entre l'efficacité des capteurs et la température de sortie.

Le raccordement en série permet une montée en température plus importante au prix de pertes thermiques plus importantes (d'autant plus si l'on travaille avec un faible débit (*low flow*)). De fait, la montée progressive en température au fil des panneaux en série est accompagnée par une diminution du rendement. Un trop grand nombre de capteurs raccordés

en série sera donc à éviter. En pratique, 5 à 6 capteurs de taille standard (environ 2 m²) est un maximum.

Énergétiquement parlant, le raccordement en parallèle est donc plus intéressant mais n'est pas toujours réaliste vu les longueurs de tuyauterie nécessaires.

L'équilibrage hydraulique des différents capteurs est un point crucial. Dans la réalité, il est souvent réalisé empiriquement par un jeu de vannes qui ne permet évidemment pas de corriger les erreurs de conception. Il est donc primordial de prendre en compte les pertes de charges liées aux capteurs pour le dimensionnement des tuyauteries. En pratique, le raccordement en boucle de Tichelmann (longueur de tuyauterie identique quel que soit le capteur ou groupe de capteurs) est souvent préconisé pour les grandes installations. Il permet un équilibrage naturel en imposant des pertes de charges identiques pour chaque capteur/groupe de capteurs.

3 Conclusion

On a défini dans ce chapitre quelque collecteur solaire thermique pour choisi parmi le qui est le mieux à adapté dans notre système pour le préchauffage des groupes électrogènes.

Chapitre 4 :

Intégration du système solaire pour le préchauffage de groupe électrogène

1 Introduction

Comme nous mentionné dans le chapitre 1 la solution applicable aujourd'hui pour le problème des centrales hybrides afin d'équilibrer la production électrique du système PV un groupe électrogène fonctionne à vide, qui est était une mauvaise solution.

C'est pour ça on a proposé une nouvelle solution pour réduire les pertes énergétiques, économiques et leurs impacts environnementaux.

2 La solution proposée

On a proposé le préchauffage de groupe électrogène par l'énergie solaire thermique comme une solution qui est représenté par les collecteurs solaires, et on a choisi parmi ces collecteurs le capteur solaire plan (qui on a défini dans le chapitre 3), parce que :

- La température dont nous avons besoin c'est de 70°C à 90°C, et le capteur plan assuré cette température, parce que la gamme de température du capteur est (30°C à 150°C).
- La faciliter d'installé le capteur plan par rapport à un concentrateur cylindro-parabolique ou un miroir de Fresnel.
- Le cout de l'installation est moins cher par rapport à les autres systèmes.
- Nous pouvons le monter le capteur plan seul par rapport à les autres systèmes qui ont pouvons une centrale pour marcher.

3 Le schéma du système

Le schéma explicatif du système de préchauffage que nous avons planifié par logiciel SOLIDWOKES est présenté par les figure suivant :

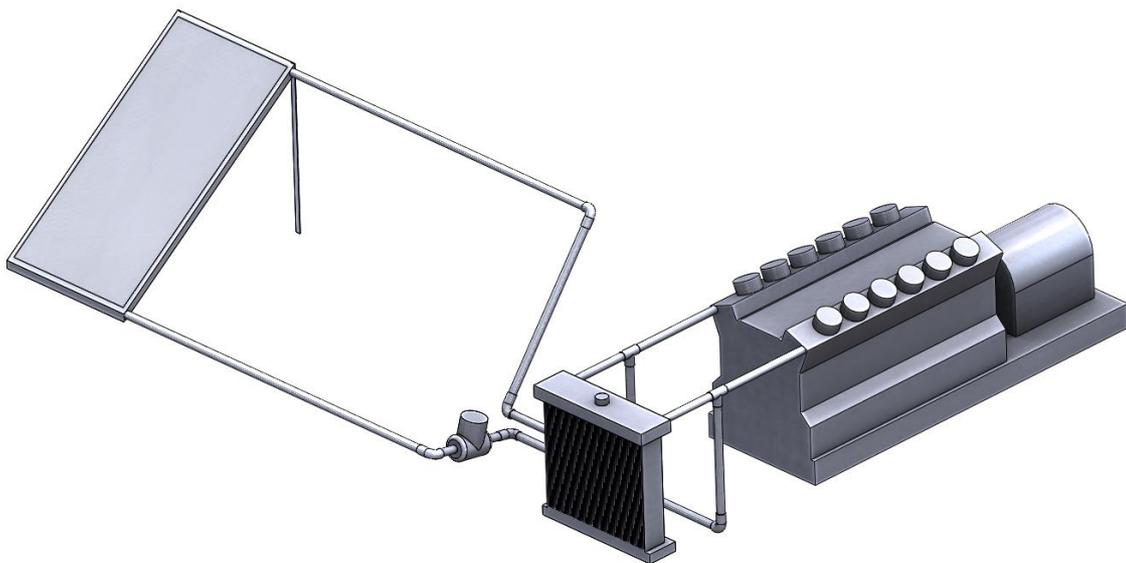


Figure 4-1 : Schéma explicatif du système de préchauffage de groupe électrogène (face 1).

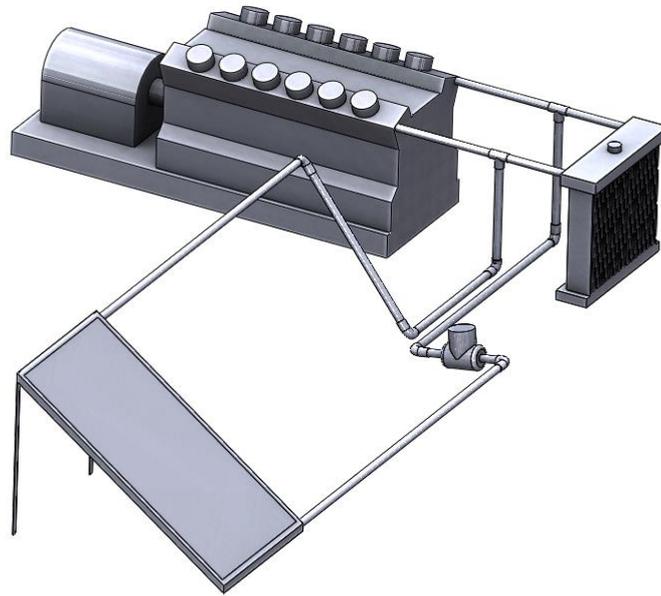


Figure 4-2 : Schéma explicatif du système de préchauffage de groupe électrogène (face 2).

4 L'organigramme de la démarche du système

L'idée principale de notre système est de préchauffer le groupe électrogène pendant la journée avec un capteur solaire plan, qui est chauffé le même eau de refroidissement du radiateur de notre groupe électrogène, et pour assurer la circulation de fluide dans le capteur plan et le moteur on utilise une pompe de circulation.

Le fonctionnement de la pompe dépend des trois températures :

- T_{cap} : Température de sortie du capteur.
- T_{mot} : Température de moteur.
- T_{ass} : Température à assurer pour commence le groupe à la production.

Le groupe électrogène commencé à produire l'électricité dans cet intervalle de température (70°C et 90°C), c'est pour cela assurer le fonctionnement et la production du groupe électrogène il faut assurer une température de préchauffage de 70°C.

Au début de la journée le groupe électrogène est déjà chauffé car il a bien fonctionné pendant la nuit, le système de préchauffage du groupe électrogène ne fonctionne pas jusqu'au diminution de la température de moteur au dessus de 80°C, mais il faut aussi satisfaire la condition suivante : température du moteur doit être inférieure de température de capteur plan $T_{mot} < T_{cap}$

La pompe s'arrête lorsque la température du moteur (T_{mot}) dépasse la température à assurer au groupe (T_{ass}) et aussi si la température du capteur plan soit inférieure à la température du moteur $T_{cap} < T_{mot}$.

Le fonctionnement de notre système est résumé dans l'organigramme suivante :

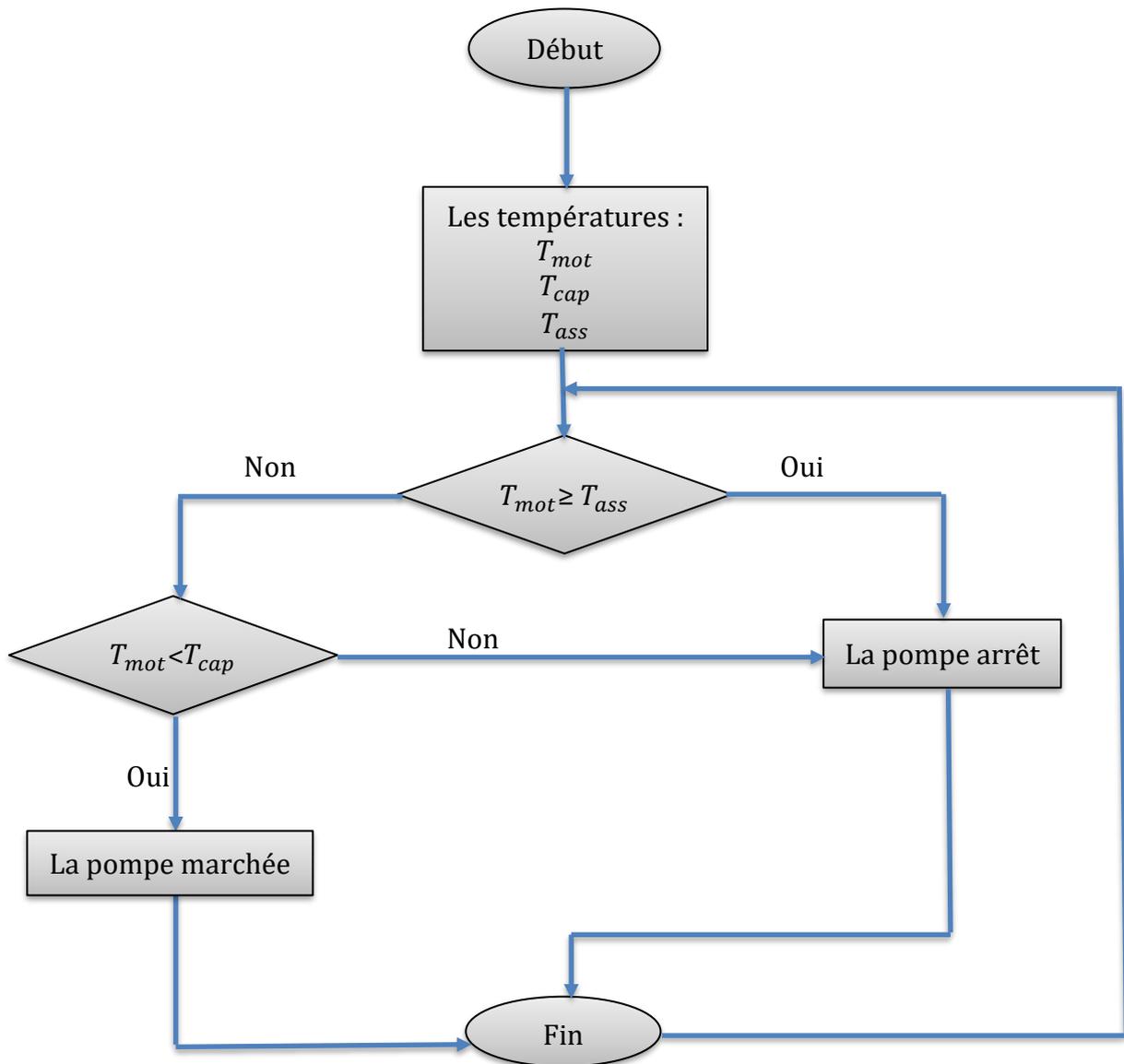


Figure 4-3 : L'organigramme de démarche du système.

5 Etude de la faisabilité de la solution

Au stade initial de ce projet, les questions qui viennent généralement à l'esprit sont les suivantes :

- Est-il possible d'installer un capteur plan dans le groupe électrogène ?
- Combien cela va-t-il coûter ? Est-ce rentable ?
- Quelle puissance faut-il installer ?
- Quelle sera la réduction des émissions de CO₂ ?
- Est-ce que je vais recevoir des primes et des gains? et combien ?

Les réponses à ces questions ne sont pas immédiates mais se font sur l'évaluation d'une série des critères techniques, économiques qui s'inscrivent dans une démarche de projet, c'est l'étude de faisabilité communément appelée « audit solaire ».

L'audit solaire est normalement effectué au stade de l'avant-projet, entre l'évaluation de la pertinence du projet et l'étude technique de la conception du système.

Au départ de données relatives à la consommation d'eau chaude et de caractéristiques techniques propres au le groupe électrogène, l'auditeur détermine un profil de puisage de l'eau chaude et une série de contraintes ou opportunités ayant un impact sur l'installation d'un système solaire.

Il effectue ensuite un dimensionnement de l'installation à l'aide de la méthode de F-chart permettant de déterminer la taille du système correspondant à un optimum technico-économique.

C'est pour ça on a choisi un groupe électrogène (Caterpillar 3512A, 1.4 MVA) (Annexe 1) comme un échantillon pour faire notre étude de faisabilité.

5.1 Dimensionnement du système de préchauffage

5.1.1 La méthode de F-CHART

Cette méthode permet d'estimer la fraction solaire pour la durée de calcul désirée d'une charge connue.

Les variables essentielles dans cette méthode sont la surface du capteur, le type du capteur, la capacité de stockage, le débit du fluide, et les tailles de la charge et l'échangeur de chaleur.

On appelle F est la fraction de la charge thermique pour la durée de calcul désirée fournie par énergie solaire en fonction de deux paramètres adimensionnels X et Y.

Les paramètres X et Y sont présentés dans les équations suivantes :

$$X = \frac{Ac \times Fr \times Uc}{Bm} \times (100 - Ta) \times \Delta t$$

X : Les pertes thermique pour une durée de calcul désirée d'un capteur porté à une température de référence 100°C

$$Y = \frac{Ac \times Fr \times (\tau\alpha)}{Bm} \times Ht \times N$$

Y : L'énergie absorbée en moyenne par jour.

Avec :

$$Bm = Bj.Nm.Cp.N(Tu - Tres)$$

Avec

Uc : Coefficient des pertes globale ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)

Δt : Nombre total des secondes dans le mois.

Ta : Température mensuelle moyenne ambiante ($^{\circ}C$)

Tu : Température désirée d'utilisation ($^{\circ}C$)

$Tres$: Température de réseau ($^{\circ}C$)

Bm : Besoins mensuels en eau chaude (litre)

Ht : Irradiation incidente mensuelle (J/m^2)

N : Nombre de jours dans le mois.

Nm : Nombre de mois.

$(\tau\alpha)$: Facteur de transmittance-absorbance mensuel.

Bes : Besoins journaliers en eau chaude (litre)

Cp : Capacité calorifique de l'eau ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)

Fr : Facteur de conductance.

Ac : Surface du capteur (m^2)

Connaissant X et Y pour chaque mois, F est donné par une fonction polynomiale :

$$F = 1.029Y - 0.065X - 0.24Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

Pour une capacité standard de stockage de $75 (l/m^2)$ de capteur.

$$0 < X < 18 \text{ et } 0 < Y < 3$$

Pour les systèmes avec un dispositif d'appoint, il est nécessaire d'apporter des corrections, en définissant un facteur adimensionnel de correction supplémentaire sur X. les principales températures T_{RES} et la température minimum acceptée T_{des} affectent toutes deux le rendement des systèmes de chauffage d'eau solaire.

Le groupe adimensionnel X, qui est lié aux pertes d'énergie du capteur peut être ainsi corrigé pour inclure ces effets.

Si les valeurs mensuelles de X sont multipliées par un facteur Xc/X de correction de chauffage d'eau dans l'équation 1 :

$$\frac{xc}{x} = \frac{11.6 - 1.8T_{des} + 3.86T_{res} - 22.32}{100 - Ta}$$

Sachant que plus la capacité de stockage est importante, meilleur est le rendement globale de l'installation, et constant que les rendements chutent rapidement au-dessous de $75 (l/m^2)$ et ne croissent pratiquement pas au-delà de $100 (l/m^2)$

5.1.2 Présentation de TRNSYS

TRNSYS est un logiciel de simulation destiné principalement aux domaines des énergies renouvelables et du bâtiment.

TRNSYS est notamment utilisé pour simuler des systèmes solaires thermiques, et est un outil prédictif des performances thermiques des installations d'eau chaud et de climatisation solaires, et tertiaire destiné aux bureaux d'études et aux installateurs thermique, le logiciel TRNSYS est fortement plébiscité par les universités et centres de formation pour une utilisation à des fins pédagogiques.

L'interface du logiciel TRNSYS est représenté par la figure suivant :

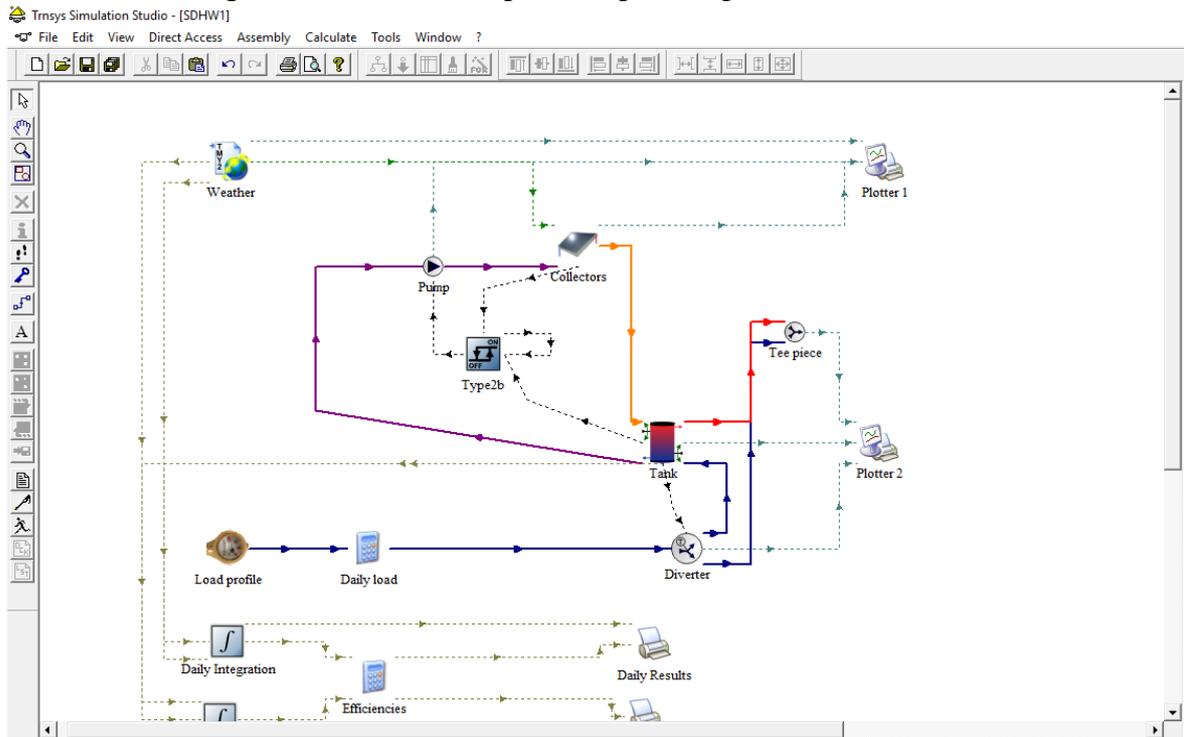


Figure 4-4 : Interface du logiciel TRNSYS

Des composants utilitaires permettent de coupler la simulation avec les conditions météorologiques des plans d'occupation, d'utilisation de différentes formes d'énergie, et de générer les fichiers de résultats souhaités.

5.1.3 Présentation du site

Le site qui nous avons choisi pour l'étude de notre système est la ville de Ghardaïa qui situé au centre de l'Algérie dans le nord de Sahara Algérien.



- Présentation de température :

La figure suivant représenté l'évolution de la température extérieure (METEONORM).

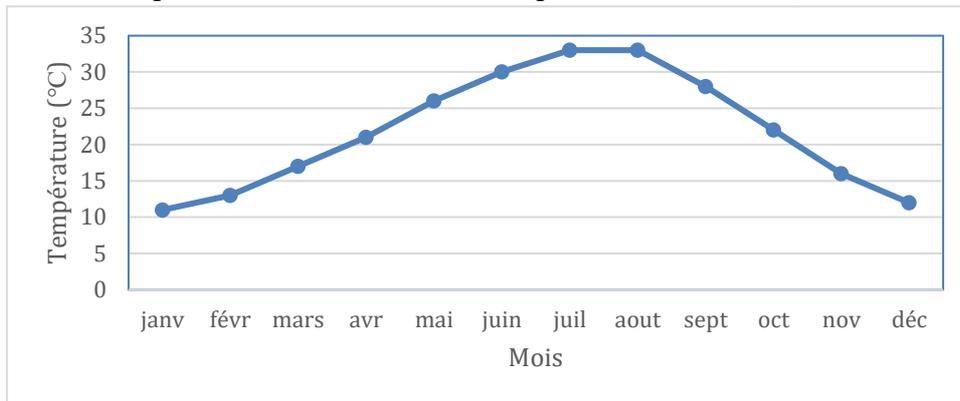


Figure 4-5 : L'évolution de la température extérieure

La température ambiante, c'est une moyenne mensuelle calculées, atteint son maximum en été dans le mois de juillet-août à 33°C et son minimum en hiver dans le mois de janvier à 11°C.

- Présentation des irradiation solaires incidentes :

La figure suivant présenté les irradiations moyennes globale journalières au long de l'année (METEONORM).

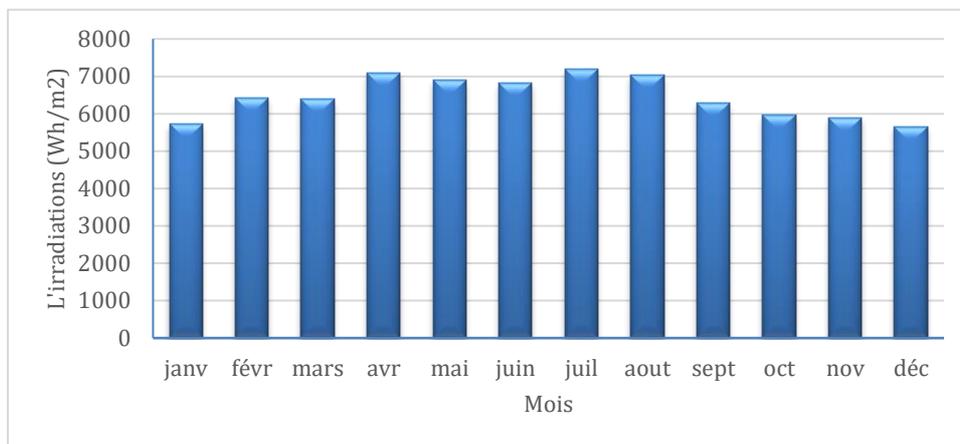


Figure 4-6 : L'irradiations moyennes globale journalières

On remarque que les irradiations solaires incidentes lors de l'année suit une forme d'une cloche, ils atteignent son maximum à la saison estivale exactement au mois de juillet avec une valeur de 7187 Wh/m² due au potentiel énergétique solaire très important lors de cette saison. Et ataigne ses minimums à la saison hivernale exactement au mois de décembre avec une valeur de 5657 Wh/m² .

5.1.4 Le dimensionnement

Pour faire notre dimensionnement il faut connue que la capacité de liquide de refroidissement est 156.8 L (Annexe 1), et la température à assure est 80°C, et les caractéristiques du capteur solaire sont les suivant :

Rendement optique n_0 (sans dimension)	0.720
Coefficient de perte thermique du premier ordre a_1 (w/m ² .K)	5.41
Coefficient de perte thermique du second ordre a_2 (w/m ² .K)	0.0098
Surface (m ²)	2

Tableau 4-1 : Les caractéristiques du capteur

Après la méthode de F-CHART qui est applique à la ville de Ghardaïa, les résultats sont les suivant :

Surface totale (m ²)	14
Nombre de capteur	7 (en série)
Orientation (°)	0 (plein sud)
Inclinaison (°)	32.68 (latitude de lieu)

Tableau 4-2 : Le champ des capteurs

La surface totale des capteurs à était calculée par la méthode F-CHART sous logiciel Matlab par un programme bien traité par l'équipe du projet de recherche (PNR) sur le chauffage industriel.

5.1.5 Simulation du système

On a simulé notre système dans logiciel TRNSYS pour contrôlé l'évaluation de température de sortir des capteurs, pour assurer que le système elle est peut donner la température nécessaire pour le préchauffage (70°C-90°C) pendant l'année, est les résultats sont les suivant :

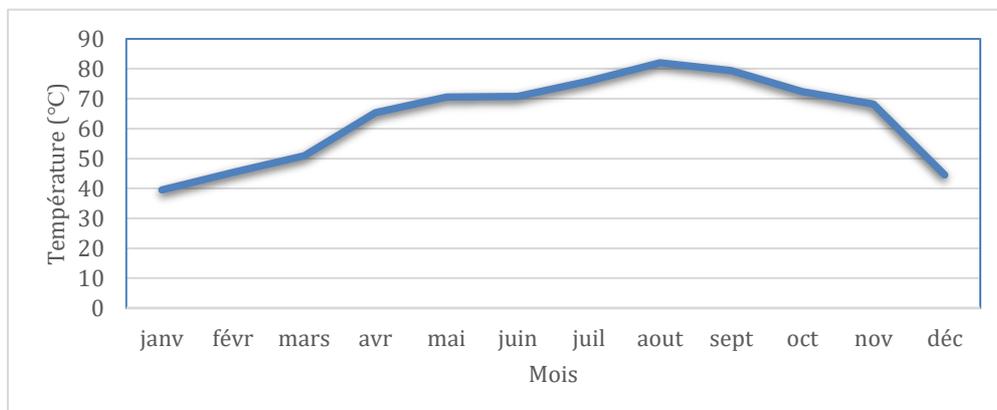


Figure 4-7 : L'évolution de température de sortir de champ des capteurs.

La figure représenté l'évolution de température de sortir de champ des capteurs pendant la journée sur l'année dans la ville de Ghardaïa. On constate que les températures à une forme de cloche avec une valeur maximale d'environ 82°C dans le mois d'août.

On remarque qu'il y a des mois la température de sortir des capteurs elle est inférieure à 70°C qui est inférieur au besoin de notre système de préchauffage, C'est pour ça on proposer d'ajout d'autre capteurs plan au champ principale de notre système (janvier, février, mars, avril, novembre, décembre).

5.2 Etude économique

La partie suivant présentée l'analyse économique de l'installation solaire et une comparaison avec la solution applique :

5.2.1 Le cout de l'installation

Le tableau suivant représenté les différents paramètres économiques du système :

Le prix des capteurs (DA)	630000
Le cout de l'installation et la maintenance (DA)	400000
Période d'exploitation (année)	20

Tableau 4-3 : Les différents paramètres économiques du système.

5.2.2 Le coût de la solution applique

La consommation de notre groupe électrogène est 89.8 L/h, donc les résultats de consommation sont :

Le prix de 1L de diesel (DA)	29.01
Le prix de consommation de 89.8 L/h (DA)	2605.098
Le prix de consommation de 1J par le groupe électrogène (DA)	62522.352
Le prix de consommation d'une année par le groupe électrogène (DA)	22820658.48

Tableau 4-4 : La consommation du groupe électrogène

5.2.3 Résultat de l'analyse économique

Après introduction de tous les paramètres économiques, la simulation nous a donné les résultats suivant :

Retour sur l'investissement (jour)	17
Le gain de projet dans une année (DA)	21790658.48

D'après ces résultats on voit que :

- Le retour à l'investissement est de 17 jours, ça veut dire que le système est très rentable.
- On a épargné le coût du diesel.
- On a prolongé la durée de vie du groupe électrogène.
- La durée de vie du système est de 20 ans.

5.3 Impact environnemental

Les installations solaires de production d'eau chaude permettent d'éviter une quantité importante d'émissions de gaz à effet de serre ou polluants et de déchets, pour cela le tableau suivant dresse un bilan environnemental pendant l'année de notre installation :

Emissions de CO2 évitées pour 1L de diesel (Kg)	2.67
Emissions de CO2 évitées pour un jour (Kg)	5754.384
Emissions de CO2 évitées pour une année (Kg)	2100350.16

Tableau 4-5 : La quantité de gaz réduite à partir du système solaire.

Alors la quantité de CO2 évitée par année pour notre installation solaire est de 2100350.16 (Kg) de CO2, ce qui contribue toujours à la rentabilité de telles installations, car l'aspect écologique est souvent négligé d'après les études de rentabilité.

6 Conclusion

On a choisi le capteur thermique solaire plan parmi les autres collecteurs parce que il est le mieux adapté dans notre système, on a dimensionné et simulé le système dans le logiciel TRNSYS pour voir l'évolution de température de sortie de champ des capteurs pour assurer que le système atteigne la température demandée, et on peut dire que les résultats de l'étude sont très satisfaisants, économiquement le temps de retour du coût d'investissement est très petit (17 jours), et écologiquement elle est très intéressante en termes de réduction de CO2.

Conclusion générale

Pour le préchauffage des groupes électrogènes par l'énergie solaire thermique on a choisi le capteur plan, car il est adapté avec notre système (donné la température nécessaire pour le préchauffage de groupe électrogène 70°C à 90°C), et la surface de captation elle se détermine à partir du volume de liquide de refroidissement de groupe électrogène.

Pour faire l'étude de faisabilité on a choisi un groupe électrogène comme un exemple (Caterpillar 3512A), on a fait le dimensionnement du champ de capteur plan utilisant la méthode F-CHART, et on a simulé le système sur le logiciel TRNSYS pour voir l'évolution de température de sortir de champ des capteurs afin assurer que le système atteint la température demandée, et on a développé un organigramme pour le fonctionnement du système.

Les résultats obtenus sont très bien de façon économique et écologique, le temps de retour du cout d'investissement est de 17 jours, et le cout d'investissement est estimé à 22820658 DA, qui est dépensé chaque année comme carburant, on a aussi prolongé la durée de vie du groupe électrogène, dans l'aspect écologique et à partir de cette étude, on a constaté qu'on peut réduire le taux très important des émissions des gaz polluants. (2100350.16 Kg de CO₂ par ans).

En perspective, une réalisation pratique d'un prototype semble très importante pour la validation expérimentale de cette étude prometteuse, ce prototype permet d'offrir la possibilité de développer et adapter l'idée pour qu'elle puisse être appliquée dans le domaine industriel, et d'interpeller les pouvoirs publics à sensibiliser et à exploiter l'énergie solaire thermique dans ces centrales.

Bibliographie

- [1] . T. HAZEL, Génération électrique, France: Schneider Electric, juin2000.
- [2]. D. REKIOU, Z. ROUMILA ET T. REKIOUA ; Etude d'une centrale hybride Photovoltaïque - éolien – diesel ; UNIVERSITE A. MIRA, BEJAIA Revue des Energies Renouvelables.
- [3]. M. Laroui Rachid " Modélisation et simulation d'un système multi-sources Photovoltaïque-éolien-diesel dans la région d'Adrar" Mémoire magister 05/03/2015.
- [4].S.M. Shaahid, I. El-Amin. Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic–diesel–battery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, Vol. 13, 625–633.
- [5].S. Diafa, M. Belhame. Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island. *Energy Policy* . 2008 , Vol. 36, 743–754.
- [6]. Rodolfo Dufo-Lopez, José L. Bernal-Agustín. Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms. *Solar Energy*. 2005, Vol. 79, 33–46.
- [7].Muselli, M. et Notton, G. Design of hybrid-photovoltaic power generator with optimization of energy management. *Solar energy*. 2, 1999, Vol. 65, 143-157.
- [8].Colle, S. et Abreu, S. Luna. Economic evaluation and optimization of hybrid diesel/photovoltaic systems integrated to utility grids. *Solar Energy*. 2004, Vol. 76, 295-299.
- [9]. M. KARA Abdelfattah mémoire du fin d'étude, Thème « Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie » 2014 UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF1
- [10]. Luis Arribas, Luis Cano. PV–wind hybrid system performance: A new approach and a case study. *Renewable Energy* . 2010, Vol. 35, 128–137.
- [11]. La société Nimbanet est spécialisée dans la distribution de matériel électrique. Elle édite les sites materielectrique.com et blog.materielectrique.com
- [12]. F. Sahnoune, M. Belhamel et M. Zelmat. Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe-eau solaire pour deux sites algériens. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 14 N°3 (2011) 481 – 486.
- [13]. M.S. Hossain, R. Saidur, H. Fayaz, N.A. Rahim, M.R. Islam, J.U. Ahamed, et M.M. Rahman . Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 3801– 3812.

- [14]. D,K,Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [15]. N,Bellel.Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [16]. www.google.com mots clés capteurs solaires plans
- [17]. A,Sfeir;G,Guarracino.Ingénierie des systèmes solaires, Technique et documentation, Paris. (1981).
- [18]. T,Enrênez; J,P,Bibring; M,Blanc; M,A,Barucci;F,Roques,P,Zarka.Le système solaire, Éditions et EDP sciences, Paris. (2003).
- [19]. S,ElMokretar; R,Miri; M,Belhamel. Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre, applications au séchage des produits agro-alimentaires, Revue des Energies Renouvelables, Vol 7, p 109-123. (2004).

Annexes

Annexe 1

Groupe Electrogène 3512A

Electric Power



Caterpillar est le premier sur le marché de la production d'énergie, avec des solutions conçues pour offrir une souplesse inégalée, d'évolutivité, de fiabilité et de rapport qualité/prix.

Spécifications

Spécifications Groupe Electrogène

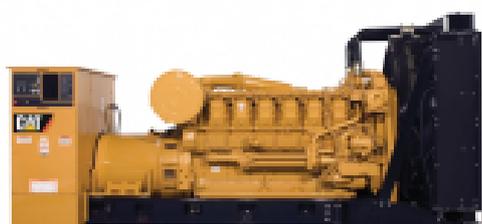
Puissance Minimum	890 ekW (1000kVA)
Puissance Maximum	1250 ekW (1400kVA)
Tension	220 à 13800 Volts
Fréquence	50 ou 60 Hz
Vitesse	1500 ou 1800 TR/MIN

Configurations Groupe Electrogène

Stratégie Fioul / Emissions	Basse Consommation Fioul
-----------------------------	--------------------------

Spécifications Moteur

Modèle Moteur	3512 TA, V-12, 4-Stroke Water-Cooled Diesel	
Alésage	170 mm	6.69 in
Cylindrée	51.8 L	3161.03 in3
Course	190 mm	7.48 in
Taux de Compression	13.5:1	
Aspiration	TA	
Type de Régulateur	Woodward	
Système Carburant	Direct Unit Injection	

Réglage : SECOURS**Stratégie : BASSE CONSOMMATION FIOUL**

3512
1120 ekW/ 1400 kVA
50 Hz/ 1500 tr/mn/ 400 V

L'image représentée peut ne pas refléter le modèle actuel

Métrique**Anglaise**

Performance du Groupe		
Puissance Groupe avec Ventilateur @ Cos Phi 0.8	1120 ekW	
Puissance Groupe	1400 kVA	
Refroidisseur d'Air (Circuit Séparé)	82.0 ° C	179.6 ° F

Consommation Carburant		
100% de Charge avec Ventilateur	297.8 L/hr	78.7 gal/hr
75% de Charge avec Ventilateur	225.1 L/hr	59.5 gal/hr
50% de Charge avec Ventilateur	156.5 L/hr	41.4 gal/hr
25% de Charge avec Ventilateur	89.8 L/hr	23.7 gal/hr

Système de Refroidissement*		
Capacité de Liquide de Refroidissement	156.8 L	41.4 gal

Air d'Admission		
Débit d'Air d'Admission	100.4 m ³ /min	3545.1 cfm
Temp. Max Entrée Air Admission	91 ° C	196 ° F

Système d'Echappement		
Température des Gaz d'Echappement	470.1 ° C	878.2 ° F
Débit des Gaz d'Echappement	260.8 m ³ /min	9208.8 cfm
Contre-Pression Système Echap. (Maximum Acceptable)	6.7 kPa	27.0 in. water

**ELECTRIC POWER - Fiche de Spécification
STANDARD**

3512

1120 kW/ 1400 kVA/ 50 Hz/ 1500 tr/mn/ 400 V/ Cos Phi 0.8



Réglage : SECOURS

Stratégie : BASSE CONSOMMATION FIOUL

Rejets Calorifiques

Rejets Calorifiques Bloc Moteur	695 kW	39523 Btu/min
Rejets Calorifiques à l'Echappement (Total)	1162 kW	66080 Btu/min
Rejets Calorifiques au Refroidisseur d'Air	203 kW	11544 Btu/min
Rejets Calorifiques du moteur à l'atmosphère	119 kW	6767 Btu/min
Rejets Calorifiques de l'alternateur à l'atmosphère	57 kW	3213 Btu/min

Alternateur^a

Capacité de Démarrage Moteur @ 30% Chute de Tension	3087 skVA
Intensité	2021 amps
Modèle	1445
Excitation	IE
Elévation de Température	150 ° C

Emissions (Nominal)^a

NOx	N/A	N/A
CO	N/A	N/A
HC	N/A	N/A
PM	N/A	N/A