

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



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Maintenance en Instrumentation Industrielle

Thème

**CONCEPTION D'UN PLAN DE MAINTENANCE
POUR UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE
SOLAIRE COLLECTIVE**

Par :

Mr. RAMDANE Hocine

Jury :

Dr. TOUAFEK Khaled
M

Maître de Recherche A
Maître Assistant A

URAER Ghardaïa
Univ. Ghardaïa

Encadreur
Examineur

Année universitaire 2012/2013

dédicace

dédicace

. Je voudrais dédier cet humble travail à mon père, à ma mère, pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leur présence à mes cotés et leur soutien, A mes cher grands parents qui m'ont soutenu et encourager.

A mon frère et mes sœurs

A toute ma famille

A mes amies et mes collègues

A tous ceux qui m'aiment.

remerciements

remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent mémoire.

*Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude, Je tiens à remercier **DR. TOUAFEK KHALED** pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire.*

Mes profondes gratitudes s'adressent aussi à tous les enseignants qui nous ont suivis durant notre formation

تتميز الطاقة الشمسية بتوفرها بكميات استثنائية وغياب التلوث. الهدف من عملنا هو تصميم خطة صيانة لأجهزة التسخين بالطاقة الشمسية. هذه الخطة مهمة جدا في ضمان استمرارية الخدمة وصيانة دائمة للمرافق الموجودة في منشآت الطاقة الشمسية المخصصة للتدفئة وهناك العديد من العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار : نوع لاقطات الطاقة الشمسية، أين ولماذا تثبت و العناصر الأخرى اللازمة لإنشاء أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية (سخان المياه والتدفئة بالطاقة الشمسية).

Résumé

L'énergie solaire se caractérise par une disponibilité exceptionnelle et une absence de pollution L'objectif de notre travail est de concevoir un plan de maintenance dédié aux installations de chauffage solaire. Ce plan est très important dans la mesure où on garanti la continuité de service et l'entretien permanent de ces installations.

Dans les installations d'un chauffage solaire, plusieurs facteurs sont à prendre en compte : le type de capteurs solaires, où les installer et pourquoi, les autres éléments à mettre en place en matière de chauffage solaire (chauffe-eau et chauffage solaire).

Abstract

Solar energy is characterized by diponibility and no pollution the objective of our work is to develop a maintenance plan dedicated to solar heating. This plan is very important in that the continuity of service and permanent maintenance of these facilities is guaranteed. In installations of solar heating, there are several factors to consider: the type of solar collectors, where to install and why, the other set up for solar heating (water heater and solar heating)

Liste des figures

Figure 1	: Exemples de spectre solaire.....	16
Figure 2	: Générateur photovoltaïque	17
Figure 3	: Chauffe eau solaire.....	17
Figure 4	: Une éolienne.....	18
Figure 5	: Un barrage d'eau.....	19
Figure 6	: La biomasse.....	20
Figure 7	: La géothermie.....	22
Figure 8	: Schéma d'un chauffe-eau solaire avec regulation.....	26
Figure 9	: Composants d'un capteur solaire plan.....	28
Figure 10	: les composantes d'un capteur thermique.....	30
Figure 11	: Orientation et inclinaison des capteurs.....	33
Figure 12	: Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.....	35
Figure 13	: Capteur solaire chauffe-air.....	36
Figure 14	: Stockage collectif de l'eau chaude solaire et de l'appoint.....	39
Figure 15	: Stockage collectif de l'eau chaude solaire et appoint individuel.....	40
Figure 16	: Stockage individuel de l'eau chaude solaire et appoint individuel ...	41
Figure 17	: Manomètre indiquant la pression du circuit primaire.....	44
Figure 18	: Anode à courant imposé.....	45
Figure 19	: Soupape de sécurité.....	46
Figure 20	: Purgeur manuel au point haut du circuit primaire.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1	: approximatif de fonctionnement des capteurs solaires	33
-----------	--	----

Sommaire

Chapitre 1 : Techniques de maintenance des installations industrielles

Introduction générale	01
1.1. Introduction.....	02
1.2. Les installations industrielles.....	02
1.3. Définition de la maintenance.....	03
1.4. Objectifs de la maintenance des installations industrielles.....	04
A . Fiabilité.....	04
B . Fiabilité et qualité.....	04
1.5. Politique de la maintenance.....	05
1.6. Méthodes de maintenance.....	06
1.6.1. Maintenance corrective.....	06
1.6.2. Maintenance préventive.....	07
1.6.3. Maintenance préventive systématique.....	07
1.6.4. Maintenance préventive conditionnelle.....	08
1.7. Opérations de maintenance.....	09
1.7.1. Opérations de la maintenance corrective.....	09
1.7.2. Localisation de défaillance.....	09
1.7.3. la remise en état.....	10
A . Le dépannage.....	10
B . La réparation.....	10
C . La modification.....	10
D . La durabilité.....	11
1.7.4. Opérations de maintenance préventive.....	11
A . L'entretien.....	12
B . La surveillance	12

C . La révision.....	13
D . La préservation.....	13
1.8. Autres formes et méthodes de maintenance.....	13
1.9 Conclusion.....	14
Chapitre 2 : Généralités sur les énergies renouvelables	
2.1. Introduction.....	15
2.2. Différentes types de l'énergie renouvelable.....	15
2.2.1.Énergie solaire.....	16
A . Solaire thermique.....	17
B . Énergie photovoltaïque.....	17
2.2.2.Énergie éolienne.....	18
2.2.3.Énergie hydraulique.....	19
2.2.4. Biomasse.....	20
2.2.5. Géothermie.....	22
2.2.6 Conclusion.....	23
Chapitre 3 : Etat de l'art sur les installations de chauffage solaire	
3.1. Introduction.....	24
3.2. Le rayonnement solaire.....	25
3.3. Le chauffe-eau solaire.....	25
3.3.1. Historique.....	25
3.3.2. Fonctionnement d'un système solaire thermique.....	27
A . Le captage et l'absorption.....	27
B . Le transfert de chaleur.....	27
C . Le stockage.....	27
D . L'appoint.....	27
3.4 .Les capteurs solaires plans.....	27
3.4.1 Les différents composants d'un capteur solaire à eau.....	28

3.5 Classification des capteurs.....	31
3.5.1. Le fluide de travail utilisé.....	31
A . Des capteurs solaires à air.....	31
B . Des capteurs solaires à eau.....	31
3.5.2. Orientation des capteurs thermiques.....	32
A . Des capteurs fixes.....	32
B . Des capteurs avec poursuite.....	32
3.5.3 Orientation et inclinaison des capteurs.....	32
3.5.4. Les types des composants.....	33
3.6. Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	34
3.7 Le capteur solaire à air.....	35
3.7.1 Fonctionnement du chauffage solaire à air.....	35
3.7.2. Avantages.....	36
3.7.3. Inconvénients.....	36
3.8 Le chauffage solaire collectif.....	36
3.8.1 Raccordement en séries.....	37
3.8 2 Boucles de tikelman.....	38
3.8.3 Les solutions de montage.....	38
3.8.3.1 Stockage collectif de l'eau chaude solaire et de l'appoint.....	38
A . Avantages.....	39
B . Inconvénients.....	39
3.8.3.2 Stockage collectif de l'eau chaude solaire et appoint individuel.....	39
A . Avantages.....	40
B . Inconvénients.....	40
3.8.3.3 Stockage individuel de l'eau chaude solaire et appoint individuel.....	40

A . Avantages.....	41
B . Inconvénients.....	41
3.9. Conclusion.....	41

Chapitre 4 : Conception d'un plan de maintenance pour une installation du chauffage solaire collectives

4.1. Introduction.....	44
4.2. Contrôle mensuel	44
4.2.1. Contrôler la pression du circuit primaire (spécifique aux systèmes sous pression)	44
4.2.2 -Contrôler le fonctionnement de l'anode à courant imposé.....	45
4.3 Contrôle Trimestriel.....	45
4.3.1 Contrôler le fonctionnement des circulateurs et le débit.....	45
4.4. controle semestriel.....	46
4.4.1 Inspection visuelle des capteurs.....	46
4.4.2 Contrôle de la soupape de sécurité du circuit primaire.....	46
4.4.3 Contrôle des purgeurs d'air.....	46
4.5 Contrôle Annuel.....	47
4.5.1 Vérifier les alimentations électriques et voyants lumineux.....	47
4.5.2 Vérifier la qualité du fluide caloporteur.....	48
4.5.3 Contrôle de la soupape de sécurité sanitaire.....	48
4.5.4 Nettoyage et désinfection des réservoirs.....	48
4.5.5 Contrôler l'anode de protection au Magnésium.....	49
4.5.6 Contrôler l'échangeur à plaques (extérieur).....	49
4.5.7 Vérifier la pression de gonflage du vase d'expansion.....	49
4.5.8 Vérifier les sondes de température.....	49
4.5.9 Vérifier la régulation solaire.....	50
4.5.10 Vérifier l'état de l'isolation extérieure.....	50

4.6 conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51

Introduction générale

On considère comme énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...).

L'objectif de notre travail est de concevoir un plan de maintenance dédié aux installations de chauffage solaire. Ce plan est très important dans la mesure où on garanti la continuité de service et l'entretien permanant de ces installations.

Nous avons partagé ce mémoire en quatre chapitres différents :

Le premier chapitre est consacré aux techniques de maintenance des installations industrielles, nous avons en effet décrit les techniques de la maintenance industrielle.

Dans le deuxième chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les énergies renouvelables.

Nous avons fait un Etat de l'art sur les installations de chauffage solaire dans le troisième chapitre.

Dans le quatrième chapitre nous avons étudié et conçu un plan de maintenance pour une installation de chauffage solaire collective, En effet nous avons appliqué les notions de maintenance déjà étudiées dans les chapitres précédents sur une installation de chauffage solaire collective.

En fin de compte une conclusion générale termine ce mémoire.

Chapitre 1

Techniques de maintenance des installations industrielles

1.1. Introduction

La maintenance s'exerce sur des équipements industriels de production placés dans le contexte économique de l'entreprise.

Chaque équipement plus ou moins complexe, constitue un système technique, conçu pour mettre en œuvre un procédé et destiné à réaliser, partiellement ou totalement, un produit ou un service.

La maintenance a pour mission de veiller sur les systèmes techniques que sont les systèmes de production pour :

- préserver leur bon état de fonctionnement en évitant l'apparition de défaillances (maintenance préventive) ;
- rétablir leur bon état de fonctionnement quand il est dégradé par l'apparition de défaillances (maintenance corrective) ;
- optimiser leurs conditions d'exploitation (maintenance améliorative).

Dans tous les cas, il est indispensable de bien connaître l'équipement pour savoir sur quoi, où, quand, comment intervenir, afin de remédier aux défaillances, de les prévenir et surtout d'éviter d'engendrer la moindre gêne à la production.

1.2. Les installations industrielles

L'industrie est l'ensemble des activités humaines tournées vers la production en série de biens grâce à la transformation des matières premières ou de matières ayant déjà subi une ou plusieurs transformations et à l'exploitation des sources d'énergie. elle sous-entend :

- une certaine division du travail, contrairement à l'artisanat où la même personne assure théoriquement l'ensemble des processus : étude, fabrication, commercialisation, gestion.
- une notion d'échelle, on parle de « quantités industrielles » lorsque le nombre de pièces identiques atteint un certain chiffre .

- l'utilisation de machines, d'abord manuelles puis motorisées, qui modifient la nature même du travail.

Historiquement, le terme a d'abord désigné l'habileté à faire quelque chose, ou bien une activité douteuse que la morale réproouve. Puis le sens s'est élargi à toute forme d'activité productive, et non seulement celle produisant des biens matériels¹. Ce dernier sens a vieilli, mais il domine encore en anglais. Depuis la révolution industrielle, les activités relevant de l'agriculture sont exclues du champ de l'industrie.

Plusieurs classifications sont possibles. Les plus communes opposent :

1. l'industrie manufacturière (mécanique, textile, etc.) aux industries d'extraction (mines, pétrole, etc.) ;
2. les industries de biens de consommation aux industries de biens de production.

En termes de secteurs économiques, l'industrie recoupe pour l'essentiel le secteur secondaire. Toutefois, les industries extractives sont parfois classées avec l'agriculture dans le secteur primaire.

1.3. Définition de la maintenance

Ce n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité), ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement.

Il est possible aussi de condenser tout ceci dans la définition de l'AFNOR (Association Française de Normalisation) :

«La maintenance est l'ensemble des actions¹ permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé»

en lui ajoutant «au coût optimal». [1]

1.4. Objectifs de la maintenance des installations industrielles

Les objectifs de la gestion de maintenance seront atteints si le gestionnaire maîtrise parfaitement les paramètres et les conditions de fonctionnement de l'entreprise.

Le rôle de la maintenance est donc de traiter des défaillances afin de réduire et si possible d'éviter les arrêts de production.

La maintenance est indissociable de la poursuite des objectifs conduisant à la maîtrise de la qualité, les cinq zéros symbolisant les objectifs, concernent en effet la maintenance, c'est un fonctionnement avec:

-Zéro panne : c'est l'objectif matériel de la maintenance.

- Zéro défaut : une production sans défaut nécessite un outil de production en parfait état et une organisation adéquate, tout produit présentant un défaut est assimilable à un arrêt de production et ce traduit par une prolongation des délais et des coûts inacceptables.

- Zéro stock et zéro délai : une fabrication sans stocke n'est pas compatible avec une livraison sans délai que si l'outil de production est parfaitement fiable.

- Zéro papier : il faut assurer zéro papier inutile en particulier les papiers engendrés par les erreurs, les défauts, les défaillances, le retard ,etc.

A. Fiabilité

Un système est fiable lorsque la probabilité de remplir sa mission sur une durée donnée correspond à celle spécifiée dans le cahier des charges.

B. Fiabilité et qualité

L'Union technique de l'électricité (UTE), sur recommandation de la Commission électrotechnique internationale, a proposé la définition suivante : la fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée¹.

La fiabilité est la probabilité de n'avoir aucune défaillance à l'instant t . Comprise entre 0 et 1 (ou 0 et 100 %) elle est notée $R(t)$, R pour *Reliability* (fiabilité en anglais).

Si le dispositif ne peut être réparé, la fiabilité est alors la probabilité de n'avoir connu aucune défaillance jusqu'à l'instant t .

Il ne faut pas confondre la fiabilité (fonction du temps) et le contrôle de qualité (fonction statique).

Par exemple, on teste des circuits intégrés au sortir de la chaîne de production, et on constate que 3 % d'entre eux ne fonctionnent pas, ou incorrectement : on peut dire que la « qualité » de cette chaîne (son rendement de production) est 97 % (3 % de défauts).

Une fois ces circuits insérés dans un système, on constate que leur temps moyen de fonctionnement correct avant panne (MTTF, pour *Mean-time To Failure*) est de 100 000 heures. Leur taux de défaillance (nombre de pannes par unité de temps) sera donc $\frac{1}{\text{MTTF}}$. Celui-ci se note λ et est exprimé en h^{-1} .

Si on constate de plus que ces pannes ne sont pas prédictibles et surviennent de façon totalement aléatoire, alors la fiabilité de ces circuits en fonction du temps sera donnée par la fonction :

$R(t) = e^{-t / \text{MTTF}} = e^{-\lambda t}$ (Expression valable uniquement dans le cas où le taux de défaillance est constant).

On constate que, quel que soit MTTF :

- pour $t=0$, la fiabilité vaut toujours 1
- pour t tendant vers l'infini, la fiabilité tend vers 0.

1.5. Politique de la maintenance

Les politiques d'entretien ou de maintenance vont de l'absence totale à des définitions très élaborées. Souvent le responsable est abandonné à sa seule initiative, la consigne étant que les machines tournent au moindre frais. La prévision est inconnue : on voit des révisions générales stoppées parce qu'on remplace la machine, et des machines laissées à l'abandon alors qu'elles vont être très sollicitées. Dans d'autres cas la direction fixe à la maintenance, et en accord avec elle, des objectifs précis ainsi que les moyens nécessaires, ceci pour un temps déterminé. A échéance on fait le point et on révisé les objectifs. Le responsable d'entretien connaît donc la ligne à suivre et conserve le maximum de liberté dans les décisions d'action prises à son niveau. Une véritable politique ou stratégie de maintenance doit combiner des moyens d'intervention, techniques, économiques, financiers et humains. Elle est fondée sur la rentabilité. Elle tient compte des moments. Tantôt on recherchera le coût minimum en période, d'austérité, tantôt le maximum de

disponibilité en période de croissance. Des études de fiabilité permettent de définir les probabilités de panne donc les moyens nécessaires. Un contrôle de gestion permet de vérifier que la maintenance se trouve au voisinage de l'optimum, et que les choix sont effectués en fonctions des gains escomptés : une dépense importante peut être plus rentable qu'une dépense moindre s'il y a gain de délai, ou de durée de vie, ou de disponibilité ou de qualité sur le produit.

La maintenance sera donc amenée à considérer :

Les prévisions à long terme : liées à la politique de l'entreprise permettant l'ordonnement des charges, des stocks, des investissements en matériel.

Les prévisions à moyen terme : la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible la programme de fabrication. Dès lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celle-ci ayant une influence sur l'ordonnement des fabrications.

Les prévisions à court terme : dans ce cas le service de maintenance s'efforcera à réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions. Sachant que les réductions des coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions. Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise. [2]

1.6. Méthodes de maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

1.6.1. Maintenance corrective

Définition : Maintenance effectuée après défaillance.

Défaillance : Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

On distingue deux formes de défaillance : la défaillance partielle et la défaillance complète.

Défaillance partielle : Altération de l'aptitude d'un bien à accomplir les fonctions requises.

Défaillance complète : Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés ou / et une dépréciation en quantité ou / et en qualité des services rendus.

1.6.2. Maintenance préventive

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Le But de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels .
- Diminuer la probabilité des défaillances en service .
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne .
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse .
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions .
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Diminuer le budget de la maintenance .
- Supprimer les causes d'accidents graves. [3]

1.6.3. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive effectuée selon un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Conditions d'application

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

Cas d'application

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- Equipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée). Par exemples : appareil de levage, extincteur (incendie), réservoir sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves. Par exemples : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avion, trains, etc.
- Equipements ayant un coût de défaillance élevé. Par exemples : éléments d'une chaîne automatisée, systèmes fonctionnant en continu.
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service. Par exemples : consommation excessive d'énergie, allumage et carburation déréglés pour les véhicules à moteurs thermiques.

1.6.4. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), révélateur de l'état de dégradation du bien

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle parfois maintenance prédictive.

Conditions d'applications

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Cas d'application

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Paramètres mesurés

Ils peuvent porter par exemple sur :

- Le niveau et la qualité d'une huile .
- Les températures et les pressions ;
- La tension et l'intensité du matériel électrique .
- Les vibrations et les jeux mécaniques .

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon en pleine connaissance de cause des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle. La surveillance peut être soit périodique, soit continue.

Avantages

La connaissance du comportement est en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau l'information a un rôle fort intéressant à jouer.

Par exemple : une société a introduit un système de gestion par microprocesseur pour améliorer ou installer un programme de maintenance conditionnelle. Ce système de gestion comporte une centrale de mesure électronique portable, une imprimante et un analyseur de données. Les mesures s'effectuent avec un simple capteur. Les données recueillies sont soit transmises à une imprimante, soit déchargées dans un analyseur de données pour emmagasinage sur une bande magnétique ou sur disquette qui peut fournir les rapports de maintenance automatiquement.

1.7. Opérations de maintenance

1.7.1. Opérations de la maintenance corrective

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.
- Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.
- Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

1.7.2. Localisation de défaillance

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément le (les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

Le test : c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

La détection : c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.

Le dépistage : c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement.

Le diagnostic : c'est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

1.7.3. La Remise en état

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes.

A. Le dépannage

C'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Le dépannage, opération de maintenance corrective, n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses.

De ce fait les services de maintenance, soucieux d'abaisser leurs dépenses, tentent d'organiser les actions de dépannage. D'ailleurs certains indicateurs de maintenance, pour mesurer son efficacité, prennent en compte le problème du dépannage.

Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

B. La réparation

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

L'application de la réparation, opération de maintenance corrective, peut être décidée, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'un d'une défaillance, soit après dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Cas d'application ; Tous les équipements sont concernés.

C. La modification

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

D. La durabilité

La durabilité est la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données.

Les opérations maintenance qui concernent la durabilité d'un bien sont les suivantes.

La rénovation : inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sou-ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes.

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

La reconstitution : remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.

Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

La modernisation : remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que celui d'une reconstruction.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu, pour certains de ses sous-ensembles, à la pratique d'un échange standard.

Echange standard : c'est la reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage compense l'inégalité de valeur des lots ou des biens échangés. Afin d'accélérer les procédures et de diminuer les coûts, le recouvrement peut être forfaitaire [4].

1.7.4. Opérations de maintenance préventive

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.
- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.
- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

A . L'entretien

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, etc.). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

B . La surveillance

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

L'inspection : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.

Le contrôle : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :

- comporter une activité d'information,
- inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des actions correctives.

La visite : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

C. La révision

C'est l'ensemble des actions d'examen, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance

D. La préservation

Elle comprend les opérations suivantes.

La mise en conservation : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.

La mise en survie : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.

La mise en service : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

1.8. Autres formes et méthodes de maintenance

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration.

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet. Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-

systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

Tous les matériels sont concernés à condition que la rentabilité soit vérifiée. Cependant une petite restriction pour les matériels à renouveler dont l'état est proche de la réforme, pour usure généralisée ou par obsolescence technique [5]

1.9 Conclusion

La maintenance est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

Toute la difficulté tient à ce réglage qu'il faut ajuster en tenant compte de nombreux éléments :

Au niveau de l'entreprise : du contexte économique et social.

Au niveau de l'installation : de l'interaction avec les autres systèmes (en particulier celui de la production).

Au niveau du système maintenance : des divers effets de chacune des activités (études, préparation, ordonnancement...).

Pour être efficace, il faut d'abord avoir une idée aussi claire que possible des mécanismes qui influent sur les grandeurs significatives (nombre de pannes, temps de réparation, délais logistiques, coûts de maintenance préventive, coûts du stockage des matières, actions de communication, etc.).

Il faut ensuite mesurer ces grandeurs et construire des indicateurs pour juger de l'état du système maintenance et pour identifier...

Chapitre 2

Généralités sur les énergies renouvelables

2.1. Introduction

Depuis la révolution industrielle au 19^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles formes d'énergie est devenue une nécessité pour assurer le niveau de vie actuel de l'humanité.

En effet, l'exploitation massive des énergies conventionnelles ne cesse de s'accroître, durant le 20^{ème} siècle, la consommation d'énergie est multipliée par 10 avec une accélération à partir de 1945 [6], ce qui a pour effet l'épuisement des ressources traditionnelles en matière d'énergie.

En outre, le réchauffement climatique est une autre conséquence de l'exploitation massive des hydrocarbures qui produisent de grandes quantités de gaz à effet de serre. Au 20^{ème} siècle, des scientifiques ont indiqués une augmentation de 0.6°C de la température moyenne de la planète et selon un rapport réalisé par le GIEC (groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) en 2007, la température moyenne de la planète va augmenter de 1.8 à 4°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

A cet effet et pour mieux préserver l'avenir de l'humanité, il est de rigueur de consommer rationnellement les énergies conventionnelles et de développer les énergies renouvelables qui sont inépuisables et propres.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990. L'énergie renouvelable dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

2.2. Différents types d'énergie renouvelable

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique). Aujourd'hui, on assimile souvent par abus de langage les énergies renouvelables aux énergies propres.

2.2.1.Énergie solaire

Le soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre (Figure 1).

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel on trouve notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios en fonction de la fréquence d'émission. Tous ces types de rayonnement électromagnétique émettent de l'énergie. Le niveau d'irradiance (le flux énergétique) arrivant à la surface de la Terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

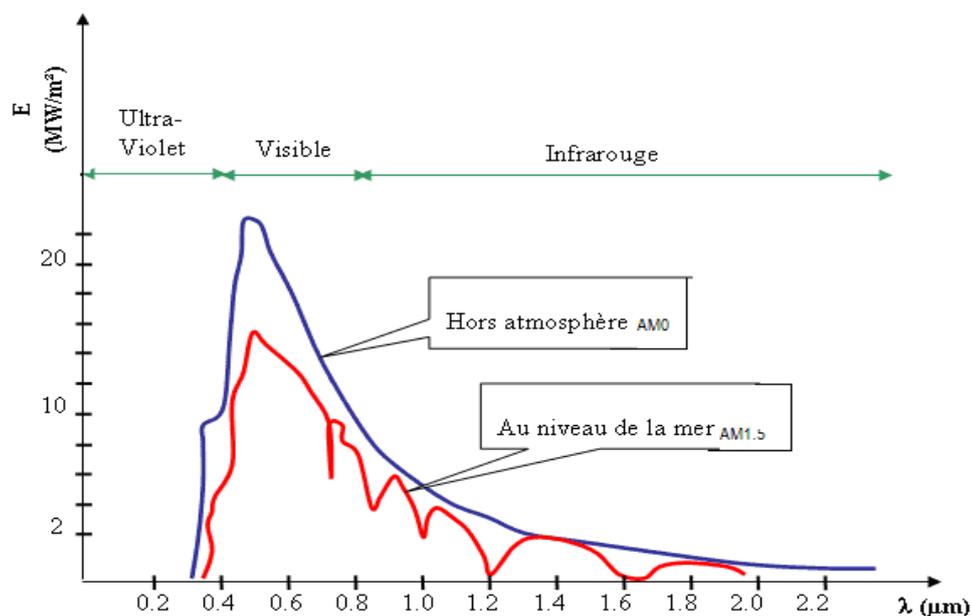


Figure 1: Exemples de spectre solaire

Deux grandes familles d'énergie solaire à cycle court se distinguent :

.l'énergie photovoltaïque qui utilise le rayonnement lui-même (Figure 2)

.l'énergie solaire thermique qui utilise la chaleur transmise par rayonnement (Figure 3) [7].



Figure 2 : Générateur photovoltaïque



Figure 3 : Chauffe eau solaire

A . Solaire thermique

L'énergie thermique peut être utilisée directement ou indirectement :

- directement pour chauffer des locaux ou de l'eau sanitaire (panneaux solaires chauffants et chauffe-eau solaire) ou des aliments (fours solaires),
- indirectement pour la production de vapeur d'un fluide caloporteur pour entraîner des turbines et ainsi obtenir une énergie électrique (énergie solaire thermodynamique (ou *heliothermodynamique*)).

Le rayonnement solaire est reçu par un absorbeur qui, à son tour chauffe soit un fluide caloporteur soit l'eau directement. Un vitrage est placé devant l'absorbeur, ainsi le rayonnement est « capturé » : en d'autres termes, c'est l'effet de serre

B . Energie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou bien artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers [8].

Il existe plusieurs technologies de modules solaires photovoltaïques :

- ✓ les modules solaires monocristallins possèdent le meilleur rendement au m² et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints et pour optimiser la production d'une centrale photovoltaïque.
- ✓ les modules solaires polycristallins représente une technologie proposant des rendements plus faibles que la technologie monocristalline.
- ✓ les modules solaires amorphes sont des panneaux solaires proposant un rendement largement inférieur aux modules solaires cristallins. Cette solution nécessite donc une plus grande surface pour la même puissance installée.

2.2.2.Énergie éolienne

Une éolienne est constituée par :

- le rotor, avec des pales montées sur un moyeu ;
- la transmission mécanique, qui transforme le mouvement de rotation du rotor en un mouvement utilisable par la charge ;
- une génératrice électrique, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique ;
- un système d'orientation, qui oriente la nacelle face au vent ;
- un système électrique, qui gère la connexion au réseau et le fonctionnement de l'éolienne

Parmi toutes les énergies renouvelables contribuant à la production d'électricité, l'énergie éolienne tient actuellement le rôle de vedette. Elle est l'une des plus prometteuses, en termes d'écologie, de compétitivité, de champ d'application et de création d'emplois et de richesses. Son potentiel est énorme, il est estimé à 30.1015 kWh pour l'ensemble du globe et entre 5 et 50.1012 kWh/an pour la part terrestre exploitable [9].



Figure 4 : Une éolienne

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui sont dues indirectement à l'ensoleillement de la Terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent dû notamment aux premiers chocs pétroliers. A l'échelle mondiale, l'énergie éolienne maintient depuis une dizaine d'années, une croissance de 30% par année.

2.2.3.Énergie hydraulique

hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique dans le cas des courants marins ou des cours d'eau, des marées, des vagues, et une énergie potentielle dans le cas des chutes d'eau et barrages



Figure 5 : Un barrage d'eau

Depuis l'invention de l'électricité, cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

D'autres énergies hydrauliques existent et proviennent généralement de sources marines :

✓ Énergie des vagues : elle est produite par le mouvement des vagues et peut être captée par des dispositifs tels le Pélamis, sorte de vers en métal articulé ou le Searev. Leur puissance correspond à celle d'une petite éolienne.

- ✓ Énergie marémotrice : elle est produite par le mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée),
- ✓ Énergie hydrolienne : elle est issue de l'utilisation des courants sous marins,
- ✓ Énergie thermique des mers : elle est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans,

- ✓ Énergie osmotique : elle a pour origine la diffusion ionique qui a lieu lors de l'arrivée et du mélange d'eau douce dans l'eau salée de la mer. L'idée remonte aux années 70, c'est donc une énergie nouvelle, elle consiste à tirer parti du phénomène d'osmose qui se produit lors du mélange d'eau de mer et d'eau douce (grâce à leur salinité différente). La première centrale osmotique a été ouverte à Hurum en Norvège par la société Statkraft à l'embouchure du Fjord d'Oslo au bord de la Mer du Nord. Il s'agit encore d'un prototype destiné à tester la fiabilité du processus et à en améliorer le rendement, mais l'ouverture d'une première centrale industrielle est prévue pour 2015. Une centrale de la taille d'un terrain de football pourrait produire de l'électricité pour 30 000 ménages. D'après l'entreprise, à terme 50 % de la production électrique de l'Union Européenne pourrait être d'origine osmotique.

2.2.4. Biomasse

Dans le domaine de l'énergie, le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie. Ces matières organiques qui proviennent des plantes sont une forme de stockage de l'énergie solaire, captée et utilisée par les plantes grâce à la chlorophylle. Elles peuvent être utilisées soit directement (bio énergie) soit après une méthanisation de la matière organique (biogaz) ou de nouvelles transformations chimiques (biocarburant). Elles peuvent aussi être utilisées pour le compostage. La biomasse est une énergie qui peut être chimiquement polluante lorsqu'elle est mal utilisée.



Figure 6 : la biomasse

Bien qu'elle libère du CO₂ en brûlant, comme le charbon, le gaz ou le pétrole, il ne faut pas oublier que le carbone stocké dans la biomasse a récemment été extrait de l'atmosphère par la photosynthèse des plantes ou algues, alors que ce processus a eu lieu il y a des millions d'années pour les ressources fossiles. Le bilan quantitatif CO₂ est donc nul mais à condition que toute l'énergie qu'il a fallu dépenser pour extraire du combustible de la biomasse soit elle aussi d'origine biomasse, sinon il y aurait alors un bilan CO₂ défavorable. En régime industriel établi, l'on utilisera pour ce conditionnement du combustible biomasse. Il faut par contre faire très attention à ne pas libérer d'autres gaz à effet de serre, comme le méthane (CH₄) qui a un pouvoir réchauffant environ 21 fois plus important que CO₂ : la moindre fuite sérieuse dans une installation peut rendre son bilan GES très négatif. L'énergie tirée de la biomasse peut dans la plupart des cas être considérée comme une énergie renouvelable. A l'heure actuelle, on constate un manque de visibilité et de structuration de cette filière en plein développement. Avec 30,7 % du total mondial, les Etats-Unis sont le premier producteur d'électricité à partir de la biomasse, devant l'Allemagne et le Brésil (7,3 %) [10].

A. *Constituants de la biomasse*

On distingue trois constituants principaux, auxquels correspondent des procédés de valorisation spécifiques :

La biomasse lignocellulosique, ou lignine, constituée par :

- le bois et les résidus verts
- la paille
- la bagasse de canne à sucre
- le fourrage

La valorisation se fait plutôt par des procédés par voie sèche, dits conversions thermo-chimiques.

La biomasse à glucide est riche en substance glucidique facilement hydrolysable :

- les céréales
- les betteraves sucrières
- les cannes à sucre

La valorisation se fait plutôt par fermentation ou par distillation dits conversions biologiques. La biomasse oléagineuse est riche en lipides :

- Colza
- Palmier à huile, etc.

Elle peut être utilisée comme carburant. Il y a deux familles de biocarburants :

les esters d'huiles végétales (colza) et l'éthanol, produit à partir de blé et de betterave, incorporable

dans le super sans plomb sous forme d'Ethyl Tertio Butyl Ether (ETBE, voir bioéthanol).

B . Intérêts de la biomasse

La valorisation énergétique du bois est intéressante:

- C'est une source d'énergie renouvelable à condition de bien gérer les forêts.
- C'est une énergie dont le coût est compétitif et dont le prix varie peu.
- C'est une énergie moins polluante que les énergies fossiles. Il n'y a pas de rejets de soufre dans les fumées. Il n'y a pas d'impact sur l'effet de serre : le CO₂ rejeté dans l'atmosphère correspond à la quantité de CO₂ absorbée par les arbres pendant leur croissance.
- C'est une énergie dont la valorisation est créatrice d'emplois locaux.

2.2.5. Géothermie

La géothermie (Figure7) est l'extraction d'énergie contenue dans le sol. Partout, la température croît depuis la surface vers le centre de la Terre. Selon les régions géographiques, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15 °C ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1 000 °C à 4 300 °C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères [11]. Quatre types de géothermie existent selon la température de gisement :

- La haute (>180°C), moyenne (>100°C), basse (>30°C), et très basse énergie .

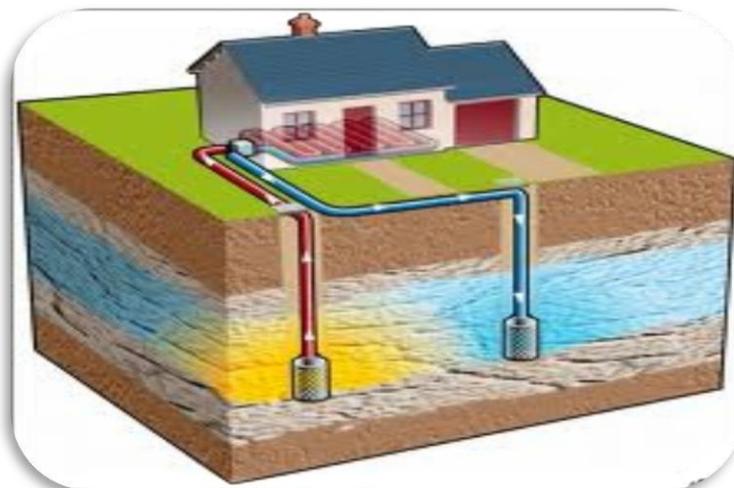


Figure7 : La géothermie

Les deux premiers types favorisent la production de l'énergie électrique. La géothermie basse énergie permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les processus industriels... La géothermie très basse énergie nécessite l'utilisation des pompes à chaleur et donc une installation particulière [12].

En 1995 la puissance installée dans le monde était de l'ordre de 7000 MW (il s'agit de production de l'électricité donc de la géothermie grande et moyenne énergie). En 2004 ce chiffre est passé à près de 8500 MW. En Europe, les installations utilisant les pompes à chaleur permettent d'extraire théoriquement environ 1000MW de puissance sous forme de la chaleur. Ce chiffre augmente chaque année d'environ 50MW installés [13].

2.2.6 Conclusion

Nous vivons dans une société de consommation dont nos besoins d'énergie augmente car l'énergie, en général, est nécessaire à l'homme. Celui-ci en a besoin pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer, se nourrir, se soigner,... . Mais cette énergie que nous utilisons n'est pas éternelle, et nos ressources sont entrain de s'épuiser rapidement. C'est pour cela que l'on cherche constamment des énergies alternatives qui n'ont pas autant d'effet sur l'environnement, ce sont les énergies renouvelables

Il existe des différents types d'énergies renouvelables, dont la solaire, générée à partir de la chaleur et de la lumière du soleil, l'éolienne qui exploite la force du vent pour créer de l'énergie. On a aussi, l'énergie hydraulique, produite à partir des courants d'eau, la géothermique qui se trouve surtout en profondeur à l'intérieur des roches et qui sert au chauffage urbain. Pour finir, on a l'énergie des végétaux ou biomasse, produite à partir de la combustion de la faune et flore, à partir de celle-ci on créer le biodiesel.

Chapitre 3

Etat de l'art sur les installations de chauffage solaire

3.1. Introduction

Le soleil est l'étoile du système solaire la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de Centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile fait que le soleil est la seule étoile qui assure la vie sur terre [15]

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques

Les conditions résidant au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète, est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7 \cdot 10^{26}$ j/s. [16]

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes :

.Elle est universelle : sa densité de puissance maximale est de 1 kW/m^2 à midi par ciel bleu sur toute la planète.

.La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m^2) est peu dense ; on parle d'énergie diffuse.

.Elle est abondante : notre planète reçoit plus de 104 fois l'énergie que l'humanité consomme.

.Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.

.L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ; ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.

.Elle est propre [17].

3.2. Le rayonnement solaire

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques.

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann [18]:

$$Q = \varepsilon * \sigma * t^4$$

Q : densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : émissivité thermique du matériau.

σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8}$ W/m².K⁴.

t : température absolue du corps.

Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

.La vitre et le ciel.

.La vitre et la plaque chauffante.

. L'isolant et le sol .

3.3. Le chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Ce type de chauffage permet habituellement de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse,...) ; dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'énergie solaire étant parfaitement renouvelable, ce remplacement permet de limiter efficacement les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires, raison pour laquelle l'installation de tels dispositifs est fortement encouragée par de nombreux États et collectivités via la fiscalité, des primes et/ou une obligation d'installation sur les nouvelles constructions.

3.3.1. Historique

Dans les années 1780, H. B. de Saussure invente un instrument de mesure lui permettant d'étudier les effets calorifiques des rayons du soleil, qu'il nomme « hélio thermomètre », il utilise l'effet de

serre obtenu par un vitrage placé au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé ; il crée ainsi les premiers capteurs solaires thermiques à basse température.

En 1893, le physicien britannique James Dewar découvre l'effet thermos selon le principe d'un récipient à deux parois séparées par un vide d'air, assurant une isolation quasi-parfaite. Le principe de la bouteille isotherme permet par la suite le développement des capteurs solaires à tubes sous vide.

Dans les années 1910, les premiers chauffe-eau solaires individuels apparaissent en Californie. Après une période essentiellement consacrée au développement de l'énergie hydraulique, les essais de développement industriel de centrales solaires thermiques ont été couronnés d'un succès technique, mais non économique, car arrivant au moment où le prix du pétrole diminuait à nouveau

Néanmoins, depuis les années 1970 et 1980, son développement prend du retard alors que le développement du photovoltaïque est favorisé. Dès lors, seules de petites unités de solaire thermique (chauffe-eau individuel ou de petites collectivités, piscines, etc.) sont fonctionnelles, au détriment du solaire thermique lourd destiné à produire de l'électricité. [19]

Depuis peu, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et aux risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la perspective du Peak Oil et la nécessité de diminuer les émissions de gaz à effet de serre ont rendu le solaire thermique plus attractif. Et des projets industriels de type classique, sont en cours de développement au Moyen-Orient et en Australie notamment.

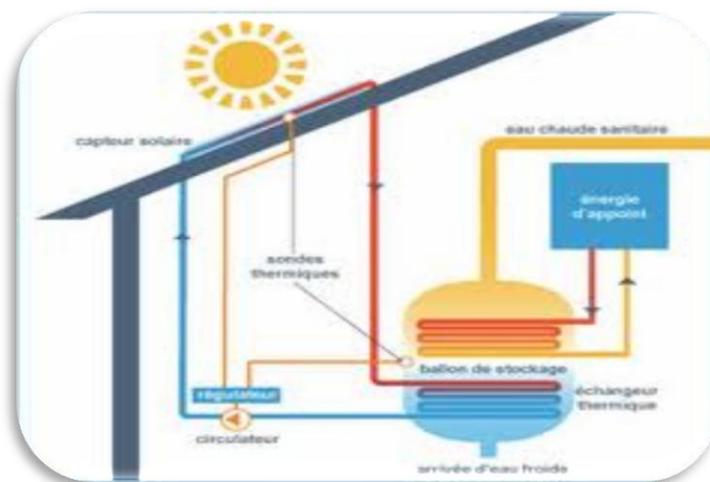


Figure 8 : Schéma d'un chauffe-eau solaire avec régulation

3.3.2. Fonctionnement d'un système solaire thermique

A. Le captage et l'absorption

Le capteur est la source de chaleur de l'installation solaire. C'est la que le rayonnement solaire capté est absorbé pour chauffer le fluide caloporteur. Tous les capteurs visent à convertir le rayonnement solaire en chaleur avec un rendement élevé et à fournir cette chaleur aux consommateurs aussi efficacement que possible.

B. Le transfert de chaleur

L'énergie captée transformée en chaleur par circulation du fluide caloporteur dans les tuyauteries vers l'échangeur de chaleur à plaque.

C. Le stockage

Puisque les apports et les besoins énergétiques sont généralement déphasés l'un par rapport à l'autre, on aura besoin du stockage.

D. L'appoint

L'énergie solaire ne peut dans la plupart des cas assurer la totalité des besoins en énergie. Pour faire face à des périodes défavorables (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps) et satisfaire les besoins en eau chaude, on a besoin d'une énergie d'appoint. Ainsi, la plupart des unités de stockage sont équipées d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin.

3.4. Les capteurs solaires plans

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 périphériques du capteur. [20]

3.4.1 Les différents composants d'un capteur solaire à eau

Un capteur plan (Figure 10) est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre.

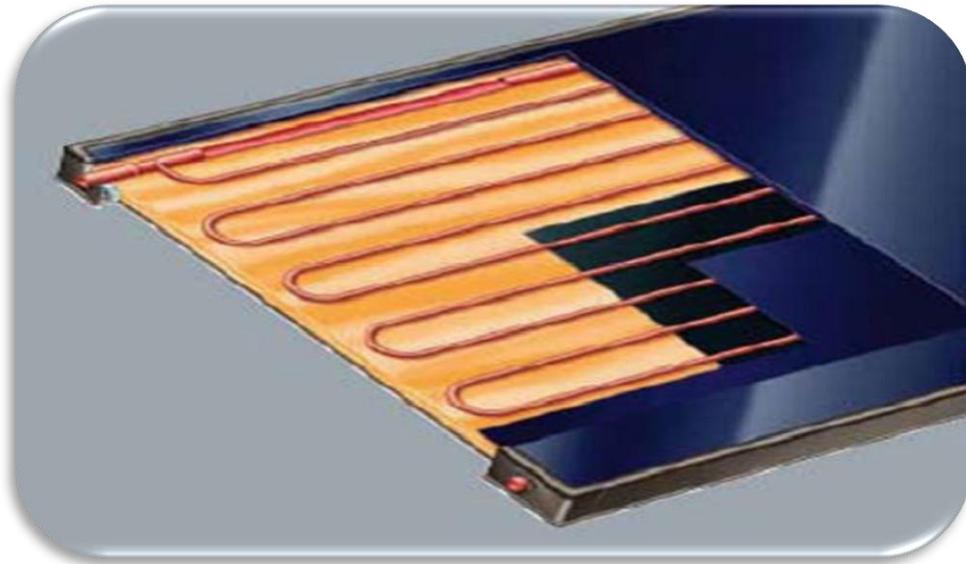


Figure 9 : Composants d'un capteur solaire plan

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 [21]

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 laquelle 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 :

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.(ultraviolet)
- . 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 0.2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm [22].

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 120 mm entre les tubes. 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 .

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi qu'une 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 et le transforme en I.R 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 infrarouge ($\alpha < 0.15$, $\epsilon > 0.9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir .

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses 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 :

- 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 oeuvre 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 - capacité calorifique, est faible ($C_p=1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

La couverture transparente 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.

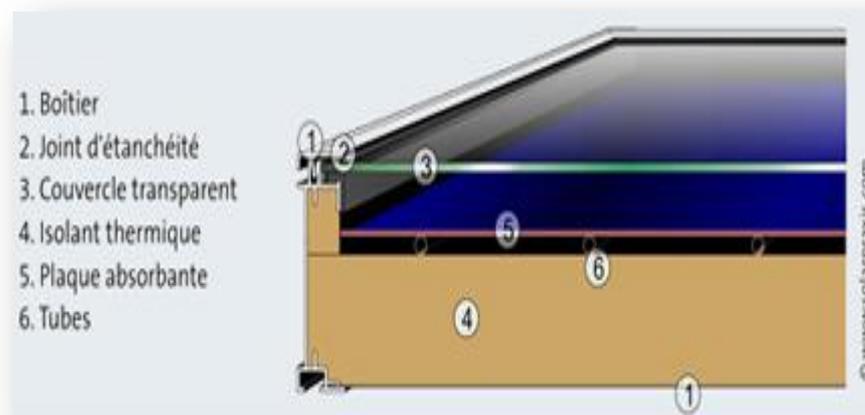


Figure 10 : les composantes d'un capteur thermique

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 2.5 cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection.

Parties 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, sinon, 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 surfaces 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 .

Le coffre

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.

3.5 Classification des capteurs

On peut classer les capteurs selon plusieurs critères : le fluide utilisé , l' Orientation des capteurs ou encore le type de composants

3.5.1. Le fluide de travail utilisé

On peut trouver :

A. Des capteurs solaires à air

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agro-alimentaires, et le chauffage des locaux.

B. 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 [23].

3.5.2. Orientation des capteurs thermiques

Les capteurs solaires peuvent être :

A. 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.

B. Des capteurs avec 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.

3.5.3 Orientation et inclinaison des capteurs

La position des capteurs solaire par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. On appelle orientation le point cardinal vers lequel est tournée la face active du capteurs (Sud, Nord, Sud-ouest...). Quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le capteur avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés.

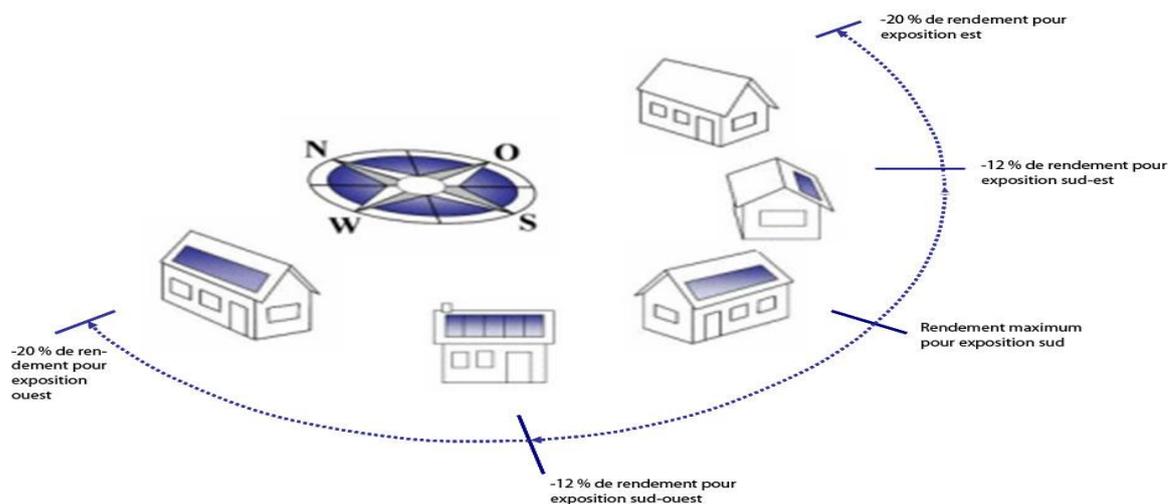


figure 11 : Orientation et inclinaison des capteurs

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteurs solaire obéit à une règle qui est très simple à retenir: vers l'équateur, ce qui donne:

- orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord
- orientation vers le nord dans l'hémisphère Sud

INCLINAISON \ ORIENTATION		0°	30°	60°	90°
EST		93 %	90 %	78 %	55 %
SUD-EST		93 %	96 %	88 %	66 %
SUD		93 %	100 %	91 %	68 %
SUD-OUEST		93 %	96 %	88 %	66 %
OUEST		93 %	90 %	78 %	55 %

Tableau 1 : approximatif de fonctionnement des capteurs solaires par rapport à leur orientation et à leur inclinaison

D'après ce tableau Le rendement global d'une installation solaire sous nos latitude est optimum lorsque les panneaux sont orientés plein sud avec une inclinaison par rapport à l'horizontale de 30°. On voit aussi que les orientations sud-est ou sud-ouest sont tout à fait acceptables si l'inclinaison n'est pas trop forte.

3.5.4. Les types des composants

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

Type de couverture

Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

Les capteurs solaires plans non vitrés

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints 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.

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.

L'absorbeur

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

- Les capteurs plans.
- Les capteurs à cavités.

3.6. Fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple :

Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre.

L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement[24].

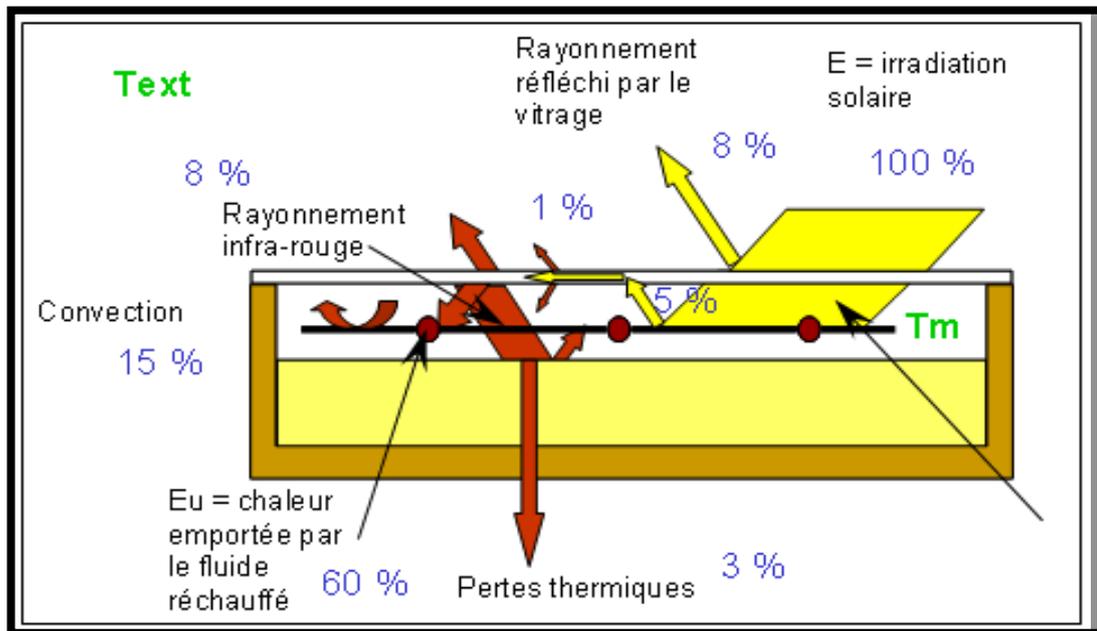


Figure 12 : Principe de fonctionnement du capteur solaire plan

3.7 Le capteur solaire à air

Le chauffage solaire à air est une technologie assez récente qui permet, moyennant quelques modifications architecturales, de chauffer et ventiler votre maison grâce à l'énergie du soleil. Ces systèmes, comme le CASA ou le Solarwall, ont un fonctionnement simple et quasi-autonome. Découvrons sans attendre les performances et les avantages de ces dispositifs

3.7.1 Fonctionnement du chauffage solaire à air

Le chauffage solaire à air, inventé récemment, permet très simplement et relativement efficacement, de chauffer et de ventiler toute sorte de locaux : maisons particulières, mais aussi hangars ou immeubles. Une paroi de métal, aux formes et matériaux finement étudiés, est apposée sur un mur du bâtiment, afin de créer un espace d'air de quelques centimètres entre le mur et la paroi de métal : c'est l'espace de réchauffement de l'air. En effet, cet espace sera chauffé par les rayons du soleil venant taper contre la paroi métallique sombre. Il ne reste plus qu'à aspirer de l'air frais de l'extérieur à travers cette paroi, puis l'expédier (une fois qu'il s'est réchauffé) dans la maison, à travers un réseau de distribution de l'air.

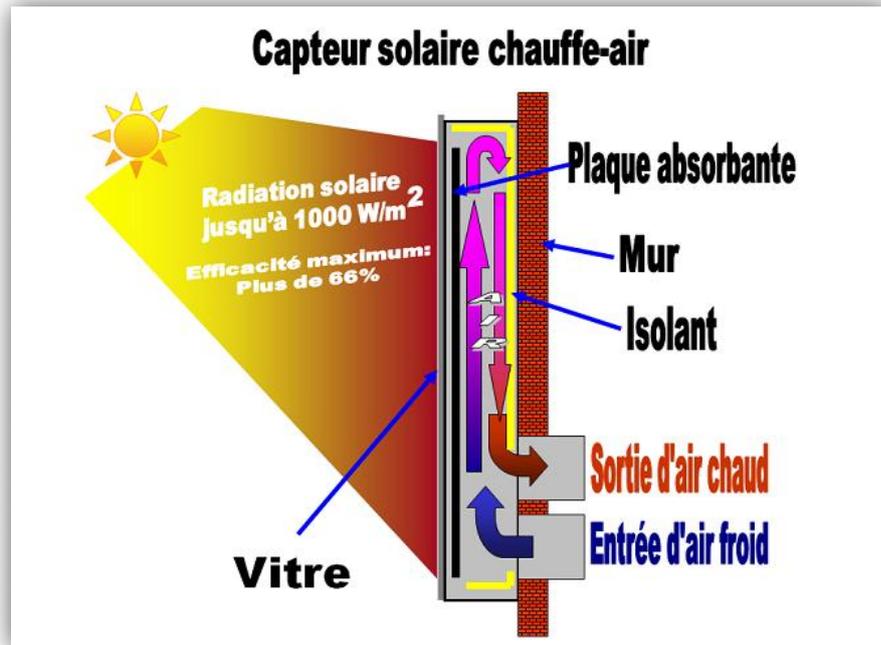


Figure 13 : Capteur solaire chauffe-air

3.7.2. Avantages

- Ils réduisent les frais de chauffage.
- Ils nécessitent peu d'entretien.
- Ils réduisent la stratification de l'air, qui fait en sorte que l'air froid reste au niveau du sol et l'air chaud dans le haut du bâtiment.
- Dans le cas des systèmes à plaque perforée, ils procurent de l'air frais qui améliore la qualité de l'air intérieur.

3.7.3. Inconvénients

- Le rendement diminue considérablement la nuit et les jours nuageux.
- Il est généralement nécessaire de prévoir des systèmes complémentaires.
- Les systèmes actifs nécessitent de l'électricité.

3.8 Le chauffage solaire collectif

Le principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire collectif est sensiblement le même qu'un chauffe-eau solaire individuel. Des capteurs solaires sont installés pour alimenter un chauffe-eau solaire collectif de grande capacité. La surface du champ de capteurs solaires thermiques ainsi que

la capacité du ballon de stockage sont adaptées aux besoins en ECS de l'ensemble des logements. Le ballon d'eau chaude solaire collectif est équipé d'un échangeur pour le circuit solaire et a comme appoint une résistance électrique, une chaudière ou un chauffe-eau au gaz.

La technologie solaire thermique à tubes sous vide permet une parfaite intégration dans l'architecture des bâtiments grâce à sa grande liberté d'installation. En effet les panneaux solaires thermiques à tubes sous vide peuvent être installés à la fois en toiture, en façade, sur un toit terrasse, au sol.

Il est possible de faire très rapidement des pré-dimensionnements d'installations solaires à partir de ratios. Ceux-ci ne doivent en aucun cas remplacer une étude plus précise et plus complète mais permettent d'obtenir des ordres de grandeur.

A . Pour les installations de chauffe-eau solaire, une première approche est de prévoir environ 1 m² de capteur solaire par personne. Un capteur faisant en moyenne 2 m², cela correspond pour :

- 1 à 3 personnes : CESI avec 1 capteur
- 3 à 5 personnes : CESI avec 2 capteurs
- 5 à 7 personnes : CESI avec 3 capteurs

B . Pour les installations de Système Solaire Combiné, un ratio rapide consiste à prendre environ 10% de la surface habitable de la maison pour obtenir la surface nécessaire en capteurs solaires. Exemple pour une maison de 150 m², prévoir environ 15 m² soit 7 capteurs. Cela permet notamment de savoir s'il est possible ou pas chez un particulier de lui proposer un SSC compte tenu de la place disponible en toiture.

C. Pour les installations collectives, il existe également un ratio qui est fonction des besoins journaliers en eau chaude sanitaire : entre 1 et 2 m² de capteur par 100 litres à 50°C

3.8.1 Raccordement en séries

Pour que dans tous les capteurs circule la même quantité d'eau par unité de temps, une solution est de les relier en série c'est – a'-dire les une après les autres

Ce type de montage présente deux inconvénients dès lors qu'il y a plus de deux panneaux: les pertes de charge sont importantes , et le dernier capteur en bout de ligne a un mauvais rendement car il chauffe de l'eau déjà réchauffée par les capteurs précédents

3.8 2 Boucles de Tikelman

Dès qu'on dépasse deux capteurs, il est nécessaire de les placer en parallèle puisque l'eau emprunte toujours le plus court chemin, de faire en sorte que tous les chemins soient équivalents. C'est ce que l'on appelle le principe (ou la boucle) de Tikelman.

La plupart des panneaux plans étant désormais, ils présentent une perte de charge très faible le rendant la condition précédente impossible à satisfaire dans la pratique. Dans le cas de la (mise en Tikelman) de plus de trois panneaux à faible perte de charge, il sera donc utile de prévoir des moyens de réglage sur les panneaux extrêmes.

Généralement, dans un souci de simplicité et d'efficacité, on sépare les panneaux en plusieurs groupes de quatre capteurs au plus

3.8.3 Les solutions de montage

3.8.3.1 Stockage collectif de l'eau chaude solaire et de l'appoint

Le fluide caloporteur transfère sa chaleur à l'eau chaude sanitaire par l'intermédiaire d'un échangeur hydraulique situé en partie basse du ballon.

Pour des installations de plus de 30 m² de capteurs, il est préférable, pour des raisons pratiques d'opter pour un échangeur à plaques externe au ballon. Les grandes installations comportent généralement plusieurs ballons solaires placés en série (le montage des ballons en parallèle est à éviter).

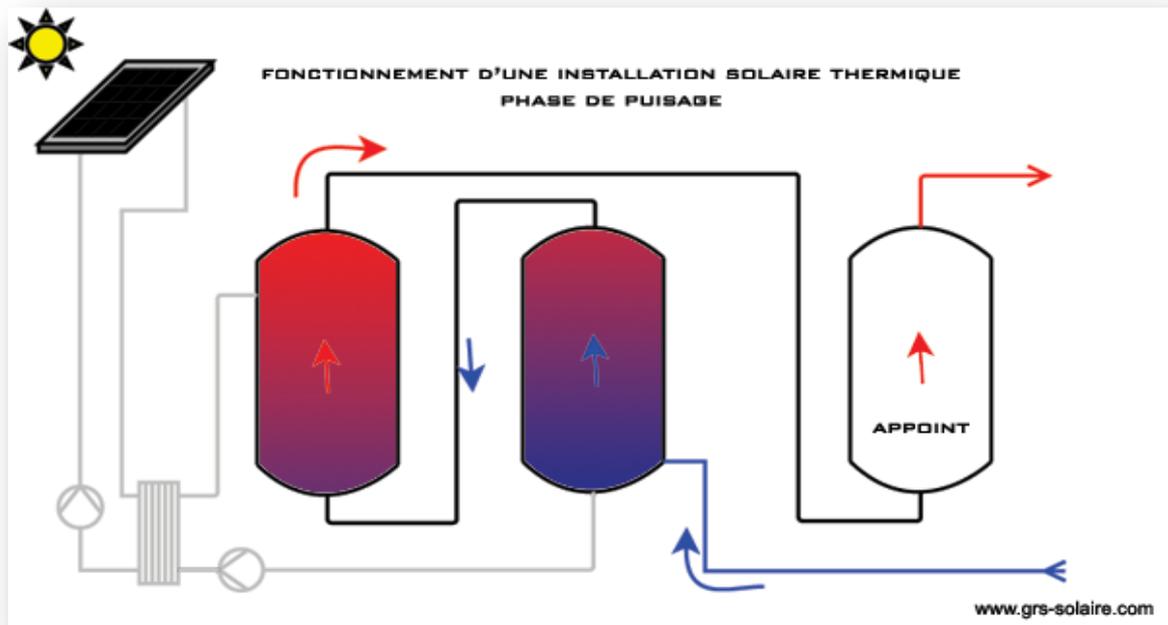


Figure 14: Stockage collectif de l'eau chaude solaire et de l'appoint

A. Avantages :

- ✓ Solution la plus adaptée aux installations centralisées existantes
- ✓ Solution la plus adaptée aux installations centralisées existantes

B. Inconvénients :

- ✓ Solution nécessitant souvent une boucle de circulation générant des pertes thermiques

3.8.3.2 Stockage collectif de l'eau chaude solaire et appoint individuel

Sur ce montage (Figure 16), la solution solaire fonctionne de la même manière que précédemment. Seul l'appoint est différent car individuel.

L'appoint, dans ce cas est souvent réalisé grâce à une chaudière à production d'eau chaude instantanée qui doit pouvoir moduler sa puissance en fonction de la température d'entrée de l'eau sanitaire préchauffée par la solution solaire.

Il peut également s'agir d'un ballon individuel.

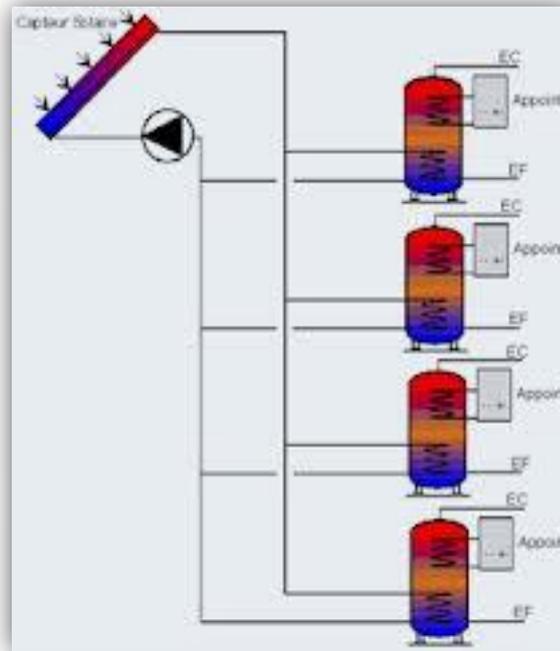


Figure 15: Stockage collectif de l'eau chaude solaire et appoint individuel

A . Avantages

Pas de boucle de circulation .

Montage qui s'adapte facilement sur des installations individuelles de production d'eau chaude instantanée.

B . Inconvénients

Dans l'existant, solution qui nécessite d'installer une nouvelle conduite d'alimentation des systèmes individuels.

3.8.3.3 Stockage individuel de l'eau chaude solaire et appoint individuel

L'installation (Figure 17) possède un ballon de stockage par logement avec l'échangeur solaire en partie basse.

L'appoint est réalisé individuellement, soit par une résistance électrique (dans le même ballon ou dans un ballon indépendant), soit par une chaudière individuelle.

Les performances énergétiques sont les mêmes que pour une installation centralisée. Cette solution peut, dans certains cas de réhabilitation, être plus facile à mettre en oeuvre.

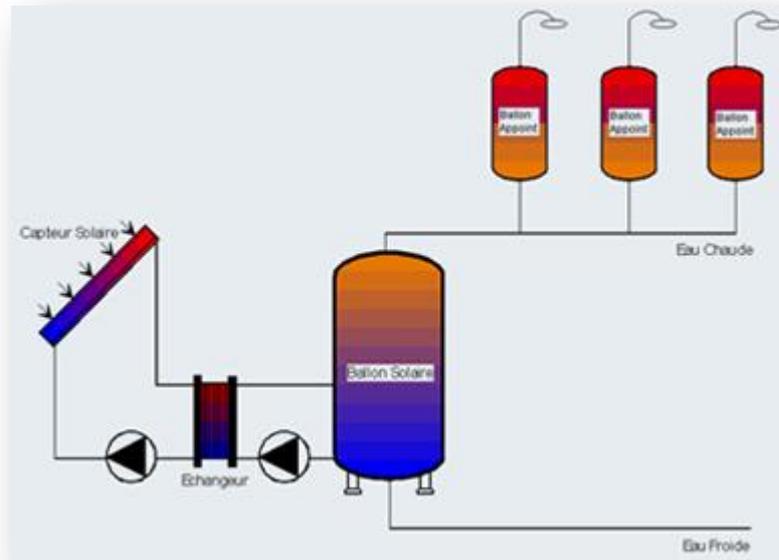


Figure 16: Stockage individuel de l'eau chaude solaire et appoint individuel

A. Avantages

- ✓ Ne nécessite pas de système de comptage de l'eau chaude pour la répartition des charges
- ✓ Permet l'installation de systèmes solaires en l'absence de place pour un ballon collectif.
- ✓ Pas de boucle de circulation.
- ✓ Permet à chaque résident de « prendre conscience » de l'apport du solaire.

B. Inconvénients

- ✓ Solution plus coûteuse à l'investissement (10 à 15% plus chère que la solution 1 car présence d'un ballon par logement).
- ✓ Demande une plus grande attention à l'installation, pour la répartition homogène de l'énergie solaire.

3. 9 Conclusion

- Selon les caractéristiques des besoins et de l'installation, l'énergie solaire peut couvrir dans les installations collectives entre 40 et 60 % des besoins annuels en eau chaude sanitaire dans certaines régions, par exemple en Vendée (France).
 - Le complément est assuré par une énergie d'appoint disponible sur site (électricité, gaz, fioul...).
- Cette association d'énergies permet un fonctionnement optimal et une pérennité de l'installation

- Une installation solaire ne doit pas être dimensionnée pour couvrir 100% des besoins annuels, sous peine de créer de nombreux dysfonctionnements et réduire la durée de vie de l'installation (surchauffe estivale).
- L'optimisation des consommations d'eau dans les bâtiments peut représenter non seulement un gisement d'économie significatif, mais aussi une valeur d'exemple pour les citoyens par rapport à leur comportement de consommateur d'eau.
- De plus économiser de l'eau chaude c'est aussi générer des économies d'énergie et donc jouer sur le dimensionnement de l'installation de production d'eau chaude.
- Quels sont les dispositifs permettant d'économiser l'eau :

Les premiers facteurs de surconsommation sont les fuites et une pression trop importante.

Concernant les équipements en robinetterie fournissant de l'eau chaude, pour les bâtiments à usages collectifs (les piscines par exemple) il convient de privilégier la robinetterie temporisée (boutons poussoirs).

Pour les usages particuliers (logement collectif, chambre dans un foyer logement, bureaux, etc...), étant donnée la multiplication des points d'eau, des équipements à maintenance légère assurent une meilleure efficacité lors des entretiens et moins de risque de développement et de prolifération bactérien.

L'installation de mitigeurs permet de diminuer les risques de brûlure, ces matériels génèrent une économie d'eau de l'ordre de 20 à 25 % par rapport aux mélangeurs, en particulier sur l'eau chaude. Il est également possible d'adapter des mousseurs (ou aérateurs) aux robinets afin de réduire les débits jusqu'à 6 litres/minute contre 12 litres/minute en moyenne. Pour les douches, on estime que l'installation d'un mitigeur thermostatique peut générer une économie d'eau de l'ordre de 35%, et permet de mieux gérer les risques de brûlures.

Il est également possible d'installer pour les usages particuliers des « douchettes économiques » d'un débit de 6 à 9 litres/minute (contre 15 à 20 litres/minute pour des douchettes « standard »). Attention ces matériels composés de nombreuses pièces impliquent souvent des temps de maintenance et d'entretien importants et plus de risques de dépôts.

- Les besoins en eau chaude sanitaire :

La surface des capteurs et le volume de stockage sont déterminés à partir des besoins journaliers issus de mesures des consommations ou établis sur la base de ratios.

Un bon dimensionnement permettra de couvrir un maximum des besoins à un coût compétitif.

La connaissance précise des données de consommation est primordiale pour éviter tout surdimensionnement néfaste à la productivité et la pérennité de l'installation

Il est donc nécessaire d'installer des compteurs de consommations d'eau chaude avec relevés réguliers avant la mise en place d'une installation solaire. Cette période de mesure doit s'étaler sur une période de 6 mois à un an minimum.

- **Intégration :**

Le choix du lieu d'implantation des capteurs est primordial. Les capteurs doivent être orientés vers le sud pour une production optimale.

L'inclinaison joue également, pour une production optimisée tout au long de l'année, les capteurs formeront un angle de 30° par rapport au sol.

Une étude de masques solaires est nécessaire pour évaluer les pertes dues aux ombrages.

Souvent intégré à la toiture, le panneau solaire peut également trouver sa place sur les dépendances ou à même le sol, dans les jardins par exemple, adossé à la façade. Sur le bâtiment, l'important est de positionner les capteurs de manière discrète afin de préserver le contexte urbain et paysager environnant.

Sur les toitures inclinées, il est préférable de les assembler en bandeaux horizontaux ou verticaux intégrés dans la toiture, en remplacement des tuiles, afin d'intégrer l'épaisseur des capteurs dans le toit.

Chapitre 4

Conception d'un plan de maintenance pour une installation de chauffage solaire collective

4.1. Introduction

Nous allons appliquer les notions de maintenance déjà étudiées dans les chapitres précédents sur une installation de chauffage solaire collective. En effet, le chauffe eau solaire, bien qu'il ne nécessite pas en principe de grands moyens de maintenance, doit avoir un plan d'entretien et de contrôle afin d'augmenter son efficacité de fonctionnement ainsi que sa durée de vie.

4.2. Contrôle mensuel

4.2.1. Contrôle la pression du circuit primaire (spécifique aux systèmes sous pression)

Objectif S'assurer que la pression de service du circuit primaire est correcte.

En effet, une pression trop faible révèle un manque de fluide caloporteur dans le circuit primaire et une pression trop élevée risque d'enclencher la soupape de sécurité.

La pression minimale doit être celle qui permet de vaincre la hauteur manométrique de l'installation (environ 1 bar par 10 mètres de hauteur) avec une sécurité de 0,5 bar supplémentaire. Il est préférable de mettre à l'arrêt les circulateurs avant la lecture de la pression. S'assurer également que le manomètre (Figure18) indique bien la pression relative (le manomètre indique zéro lorsqu'il mesure l'air atmosphérique). Noter la pression ainsi que la température dans le carnet d'entretien. En cas de pression insuffisante, augmenter celle-ci en ajoutant du fluide caloporteur dans l'installation.



Figure17 : Manomètre indiquant la pression du circuit primaire

4.2.2 -Contrôle le fonctionnement de l'anode à courant imposé

Objectif : S'assurer que l'anode électrique à courant imposé fonctionne correctement .

Si les réservoirs de stockage sont munis d'anodes (c'est-à-dire que le ballon est en acier émaillé) à courant imposé, vérifier leur fonctionnement .

Ce contrôle s'effectue par une vérification des voyants lumineux de l'anode (vert / rouge clignotant)

Si le voyant est éteint ou s'il est rouge clignotant vérifier les points suivants :

Si le voyant est éteint : Vérifier le schéma de raccordement et que l'alimentation électrique de l'anode soit en courant continu. Mesurer la tension avec un multimètre, si celle-ci n'est pas de 230 V et que cela n'est pas dû à une panne générale, faire intervenir un électricien . Reporter les problèmes éventuels dans le carnet d'entretien.

Si le voyant est rouge clignotant : Vérifier le schéma de raccordement et que l'alimentation électrique de l'anode soit en courant continu. Vérifier ensuite l'état des anodes à l'intérieur du réservoir². Cette opération entraîne une mise à l'arrêt de l'installation.



Figure18 : Anode à courant imposé

4.3 Contrôle Trimestriel

4.3.1 Contrôle le fonctionnement des circulateurs et le débit

Objectif : Vérifier le débit des circulateurs primaires et d'eau sanitaire

A . Contrôle visuel : Le fonctionnement normal d'un circulateur est caractérisé par une légère vibration et une température importante. Si les vibrations sont très importantes et la température de contact brûlante (>70°C) il est nécessaire de vérifier si le circulateur n'est pas bloqué.

B . Contrôle de la différence de pression (si le circulateur est équipé d'un manomètre) :

Vérifier la différence de pression afin de confirmer le fonctionnement du circulateur. La différence de pression permettra d'évaluer le débit.

4.4. Contrôle Semestriel**4.4.1 Inspection visuelle des capteurs**

Au printemps et à l'automne, il convient de vérifier l'état de propreté des capteurs et, le cas échéant, de les nettoyer.

Il convient également de vérifier l'état des supports de fixation des capteurs sur la toiture (corrosion, fixations, ...).

De la buée peut apparaître sur les capteurs lorsque le soleil commence à frapper sur les capteurs plans. Cette buée disparaît rapidement. Si ce n'est pas le cas, il y a lieu de vérifier l'étanchéité du circuit primaire au sein des capteurs et de réparer ou remplacer le capteur le cas échéant.

4.4.2 Contrôle de la soupape de sécurité du circuit primaire

La soupape de sécurité du circuit primaire(Figure 20) est un organe ultime de sécurité. Elle permet d'évacuer les éventuelles surpressions qui surviendraient dans le circuit si le vase d'expansion devait ne pas fonctionner correctement. Elle ne peut dès lors jamais être isolée du circuit primaire.

Objectif : Vérifier le fonctionnement de la soupape de sécurité du circuit primaire.



Figure 19 : Soupape de sécurité

4.4.3 Contrôle des purgeurs d'air

Chaque point haut de l'installation est pourvu d'un purgeur d'air. Il convient de vérifier leur fonctionnement (qu'ils soient manuels ou automatiques).

Objectif : Vérifier le fonctionnement de chaque purgeur d'air .

Purgeurs manuels : (Figure 21)

Vérifier visuellement l'étanchéité au fluide caloporteur.

Si la température de contact mesurée est $>90^{\circ}\text{C}$ il convient de ne pas effectuer de manipulation.

Manœuvrer le purgeur manuel afin d'évacuer la présence éventuelle de gaz autant de fois que nécessaire.

Purgeurs automatiques : Dans le cas de purgeurs automatiques, il y a souvent présence d'une vanne d'isolement. On ouvre dès lors la vanne d'isolement, on contrôle visuellement l'étanchéité au fluide caloporteur et ensuite on referme la vanne d'isolement. Tout comme pour les purgeurs manuels il convient de vérifier si la température de contact est $<90^{\circ}\text{C}$. Selon les recommandations du fabricant on procèdera au nettoyage éventuel du purgeur et on le remontera sur le circuit.



Figure 20 : Purgeur manuel au point haut du circuit primaire

4.5 Contrôle Annuel

4.5.1 Vérification des alimentations électriques et voyants lumineux

Objectif : S'assurer du bon fonctionnement des alimentations électriques et voyants lumineux indiquant le fonctionnement des sondes/circulateurs/...

Alimentations électriques :

- Vérifier le serrage des câbles (hors tension).

- Dépoussiérer l'armoire électrique et ses composants (hors tension).
 - Vérifier que le schéma électrique est à jour.
- Vérifier le bon calibre des protections.
- Mesurer la tension entre le neutre et la phase de chaque départ.
- Mesurer l'intensité de chaque phase pour chaque départ avec des pinces ampèremétriques
 - Vérifier l'équilibrage éventuel des phases.
 - Reporter les mesures et les valeurs d'alimentation des circulateurs dans le carnet d'entretien.

4.5.2 Vérifier la qualité du fluide caloporteur

Objectif : Vérifier le fluide caloporteur afin qu'il résiste au gel.

Vérifier le niveau de pH

Ce test permet de vérifier si le fluide s'est détérioré.

On procèdera via un pH mètre que l'on étalonnera au préalable via une solution étalon de pH neutre et une seconde dont le pH est connu. La valeur du pH doit se situer entre 7 et 9, le cas échéant le fluide caloporteur est trop acide/basique. On relève le pH et on le retranscrit dans le carnet d'entretien et la comparer avec la valeur précédente.

Une diminution de pH supérieure à 0,5 est un signe possible de dégradation du fluide.

Vérifier la teneur en antigél :

Cette vérification peut s'effectuer soit avec un réfractomètre, soit avec un densimètre.

4.5.3 Contrôle de la soupape de sécurité sanitaire

Objectif : Vérifier le fonctionnement de la soupape de sécurité de l'arrivée d'eau de ville

La soupape de sécurité du circuit sanitaire permet d'éviter les pressions élevées dans le réservoir d'eau chaude sanitaire. Elle est raccordée à l'égout ou à un vase d'expansion sanitaire. Actionner manuellement la soupape de sécurité pendant une seconde environ et vérifier si il y a écoulement d'eau.

4.5.4 Nettoyage et désinfection des réservoirs

Objectif : Retirer les dépôts, incrustations et bio films afin de prévenir le développement des légionelles (des bactéries qui provoquent une maladie grave et parfois mortelle, la légionellose) et procéder à une désinfection des réservoirs

4.5.5 Contrôle l'anode de protection au Magnésium

Objectif : Vérifier le fonctionnement de l'anode de protection Mg et son remplacement éventuel
Le principe repose sur le fait qu'un métal moins noble jouant le rôle d'anode va protéger l'acier qui joue le rôle de cathode.

Lorsqu'une anode de protection contre la corrosion au Mg est utilisée, il convient de vérifier si celle-ci n'est pas totalement dissoute afin de garantir une protection cathodique des réservoirs en acier.

- Vérification de l'intensité

Il est également possible de vérifier l'état des anodes sans devoir mettre l'installation à l'arrêt en, mesurant l'intensité du courant entre la cuve et l'anode. On utilisera un multimètre permettant de vérifier que le courant est $> 0,3$ mA, ce qui signifie que la cuve n'est pas significativement corrodée

- Vérification de l'état des anodes

Remplacement des anodes Mg

4.5.6 Contrôle l'échangeur à plaques (extérieur)

Objectif : Assurer un bon échange thermique entre le fluide caloporteur du circuit primaire et le circuit secondaire

4.5.7 Vérification de pression de gonflage du vase d'expansion

Objectif : Vérifier le bon fonctionnement du vase d'expansion du circuit primaire.

4.5.8 Vérifier les sondes de température

Objectif : Vérifier le bon fonctionnement des sondes de température

Les sondes de températures déterminent l'enclenchement et l'arrêt d'une installation solaire.

Il est dès lors primordial que celles-ci soient placées de manière correcte et renseignent une température exacte.

La sonde en applique :

La sonde est placée contre un tuyau ou un absorbeur. Il est recommandé de couvrir la sonde d'une pâte thermique (sauf prescriptions contraires du fabricant) et de la protéger contre les intempéries (si à l'extérieur)

La sonde avec doigt de gant (conseillée) :

La sonde est installée dans un doigt de gant rempli de pâte thermique. Cette configuration offre une mesure plus précise. Le doigt de gant est placé face au sens de l'écoulement sans le gêner. (Il existe deux types de pose de sondes de température).

4.5.9 Vérification de la régulation solaire

Objectif : Vérifier le bon fonctionnement de la régulation

La régulation de l'installation solaire permet de réguler le transfert de l'énergie solaire des capteurs vers les réservoirs de stockage. Un bon réglage de celle-ci assure un fonctionnement optimal de l'installation.

4.5.10 Vérifier l'état de l'isolation extérieure

L'état de l'isolation des conduites est à contrôler visuellement. Une attention particulière doit être donnée à l'isolation extérieure, soumise aux intempéries, aux rayonnements ultraviolets et aux attaques d'oiseaux.

4.6 conclusion

afin d'augmenter l'efficacité de fonctionnement ainsi que la durée de vie des systèmes de chauffage solaire il faut appliquée un plan de maintenance contient des Contrôle mensuel comme Contrôle la pression du circuit primaire et Controle Trimestriel comme Contrôler le fonctionnement des circulateurs et le débit et Controle Semestriel comme Inspection visuelle des capteurs .

Conclusion générale

Nous avons appliqué les notions de maintenance sur une installation de chauffage solaire collective. En effet, le chauffe eau solaire, bien qu'il ne nécessite pas en principe de grand moyens de maintenance, doit avoir un plan d'entretien et de contrôle afin d'augmenter son efficacité de fonctionnement ainsi que sa durée de vie.

Si une installation solaire doit réaliser des économies d'énergie, elle doit le réaliser en toute fiabilité dans le temps. Le solaire thermique est soumis à des contraintes thermiques un peu plus délicates qu'une installation de chauffage central bien connue : surchauffe, prévention des risques sanitaires, régulation avec l'énergie d'appoint. Les règles de maintenance entretien sont à respecter.

Dans les installations d'un chauffage solaire, plusieurs facteurs sont à prendre en compte : le type de capteurs solaires, où les installer et pourquoi, les autres éléments à mettre en place en matière de chauffage solaire (chauffe-eau et chauffage solaire)

Bibliographie

- [1] AFNOR, La maintenance industrielle, Edition AFNOR, Paris, (1988).
- [2] Arquès P., Diagnostic prédictif de l'état des machines, Edition Masson, Paris, 1996.
- [3] Bigret R., Féron J. L., Diagnostic – Maintenance – Disponibilité des machines tournantes, Edition Masson, Paris, 1994.
- [4] Boitele D., Guide de la maintenance, Edition Elisabeth Pinard, 1990.
- [5] Priel V., La maintenance, Techniques modernes de gestion, Edition Entreprise moderne d'édition, Paris. (1974).
- [6] Robert Bell, La bulle verte : la ruée vers l'or des énergies renouvelables, Paris, Scali, 2007, 296 p.
- [7] Sven Geitmann, Énergies renouvelables & Carburants alternatifs, Hydrogeit Verlag, août 2007
- [8] Arnaud Michon, Le Sens du vent, notes sur la nucléarisation de la France au temps des illusions renouvelables, Éditions de l'Encyclopédie des Nuisances, 2010.
- [9] Jacques Vernier, les énergies renouvelables, Paris, Presses universitaires de France, 2005
- [10] AllWeWish.org, les alternatives au nucléaire
- [11] Joule Unlimited Claims It Can Make Diesel Fuel With Sun, Water & CO2, JAY LINDSAY, 27 février 2011
- [12] Science et Vie, juillet 2009, n° 1102
- [13] Arnaud Guiguitant, « L'Indonésie mise sur l'électricité géothermique », dans Le Monde du 25-10-2009, [lire en ligne [archive]], mis en ligne le 24-10-2009
- [14] SEISMES Comment croire que l'homme puisse être à l'origine de tremblements de terre ?, Science et Vie, avril 2009, n° 1099, p. 44 à 59
- [15] J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [16] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [17] Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).
- [18] Yves JANNOT, Transfert thermique.
- [19] Le solaire thermique : histoire et perspectives , 3 août 2009, p. 7 du PDF. Consulté le 23 septembre 2009
- [20] Capteurs solaire thermique', France.
<http://www.cogesol.be/usr/documentation/CAPTEURS%20SOLAIRE%20THERMIQUE.pdf>

- [21] A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [22] S, El Mokretar; 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).
- [23] D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [24] N, Bellel. Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).