



Simulation d'une installation de production d'eau chaude solaire collective

BAHRIA Sofiane¹, HAMIDAT Abderrahmane¹,

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables

BP. 62 Route de l'Observatoire Bouzaréah - Alger, Algérie

sofiane599@yahoo.fr

hmdab@yahoo.com

Résumé— Pour avoir une meilleure rentabilité économique d'une installation de production d'eau chaude sanitaire utilisant l'énergie solaire un bon dimensionnement est fortement recommandé, dans cet article, nous présentons la simulation d'une petite installation collective de production d'eau chaude solaire (inférieure à 20 m²). L'échangeur de chaleur est positionné à l'extérieur du ballon solaire, le ballon solaire et le ballon d'appoint sont confondus. Les performances de l'installation solaire sont calculées à l'aide du logiciel SimSol réalisé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

Mots clés— Chauffe-eau solaire, eau sanitaire, installation collective, échangeur de chaleur, ballon solaire.

I. INTRODUCTION:

Développé dans le cadre d'une collaboration avec l'Ademe, SimSol est un logiciel de conception et de dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude solaire en habitat collectif et en secteur tertiaire. Est un outil de prédiction des performances thermiques des installations de production d'eau chaude solaire collective. Il est basé sur la simulation dynamique (calculs au pas de temps horaire). Une approche composant par composant permet à l'utilisateur de prendre en compte les installations les plus représentatives du marché. Ces configurations sont au nombre de six.

1. Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé.
2. Echangeur primaire externe et appoint centralisé intégré.
3. Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé et instantané.
4. Variante pour la décharge du stock solaire.
5. Echangeur primaire interne et appoint centralisé séparé.
6. Pas d'échangeur de chaleur primaire et appoint centralisé séparé.

Dans cet article, nous présentons la simulation d'une petite installation collective de production d'eau chaude solaire où l'échangeur de chaleur est positionné à l'extérieur du ballon solaire avec un appoint centralisé intégré (Fig.1).

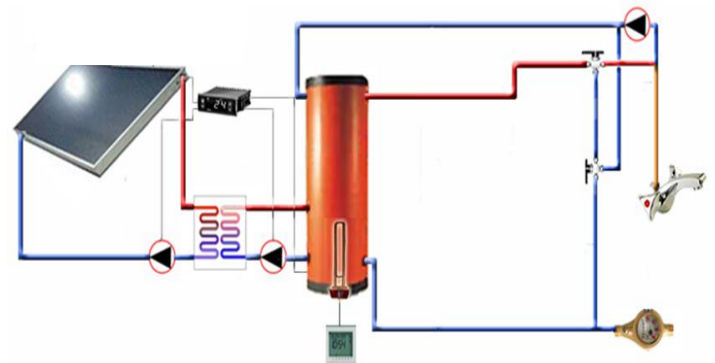


Fig.1 : Schéma hydraulique de l'installation collective de production d'ECS solaire avec échangeur primaire externe et appoint centralisé intégré

II. LES ÉTAPES DE LA SIMULATION

A. Le choix des bornes de début et de fin de simulation.

Pour avoir une idée générale du fonctionnement de l'installation une période de simulation d'un an a été choisie, soit un totale de 8760 heures (du 1/01 au 31/12).

B. Lieu de la simulation

Compte tenu des fichiers météo qui existe sur la base de donnée du logiciel la région choisie pour la simulation est le sud de la France, c'est la région la plus proche au climat du nord d'Algérie, chacun des fichiers météo contient :

- la latitude (°), la longitude (°) l'altitude (m) de la ville et le méridien (15*nbr heure de décalage), la distance à la mer.
- 8760 enregistrements d'une heure (du 1/01 au 31/12)
- Heure dans l'année (h)
- Irradiation globale horizontale (kJ/h.m²)
- Irradiation diffuse horizontale (kJ/h.m²)



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



C. Détermination du masque solaire

La prise en compte des masques permet de déterminer l'ensoleillement réel parvenant sur les capteurs solaires. L'intégration du masque dans les calculs permet de mettre en évidence l'atténuation des performances du système solaire du à ce dernier.

On peut déterminer, de manière simple, l'influence des ombres causées par des obstacles éloignés en déterminant les angles de l'ombre portée à l'aide par exemple d'abaques solaires ou de règles à calculer pour évaluer la quantité de rayonnement solaire que toute surface ensoleillée recevra par ciel clair en n'importe quelle saison.

La figure ci-contre représente le diagramme solaire ainsi que le masque choisi dans notre cas. La superposition des deux permet de calculer le facteur d'ensoleillement à chaque instant de l'année (Fig.2).

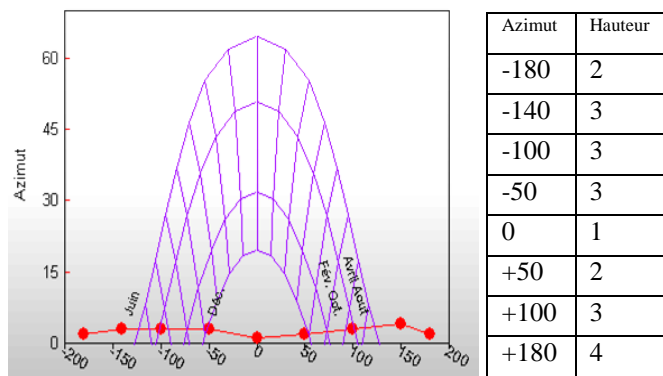


Fig. 2 : profil des masques solaire et hauteur des masques correspondante

D. Les besoins en eau chaude sanitaire

Pour limiter le développement des bactéries, la température de l'eau chaude distribuée doit être au minimum de 60 °C au départ des stockages, et dans le cas où l'installation comporte une boucle de recirculation, la température de l'eau, au retour, doit être au minimum de 50 °C.

Dans tous les cas, les utilisateurs doivent être protégés contre les risques de brûlures aux points de puisage, où la température de l'eau puisée ne doit pas dépasser 50 °C.

La gestion des puisages d'eau chaude sanitaire revêt une grande importance pour un bon dimensionnement d'une installation solaire.

La température de l'eau sanitaire aux points de puisage (« Température de l'eau chaude ») doit être saisie pour tous les types de profils. Cette température doit être inférieure à la température de consigne du ballon d'eau chaude.

Il y a trois niveaux de définition des profils de puisage:

- Profil simple
- Profil détaillé
- Profil horaire

Dans notre cas on a choisi un profil simple prédéfini qui a les caractéristiques suivantes (Table, Fig.3) :

TABLE 1

LES CARACTERISTIQUES DES BESOINS EN EAU CHAUDE

caractéristique	valeurs
Température de l'eau chaude	50°C
Besoin journalier en ECS	1000 l/jour
Profil journalier	journée
Profil annuel	Hôtellerie 4 saisons

La consommation journalière moyenne sur l'année en eau chaude sanitaire est représentée sur cette figure.

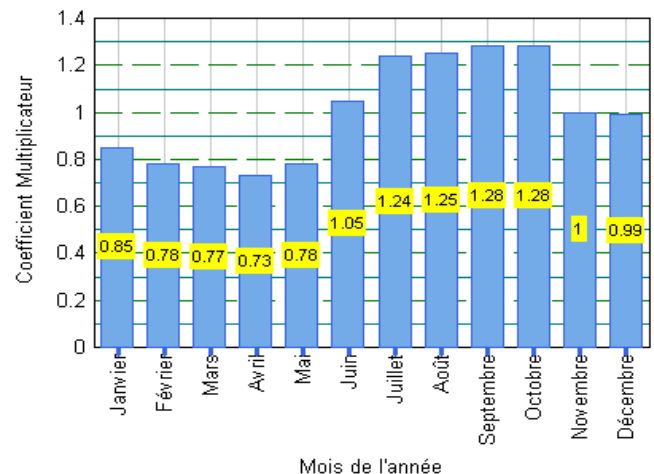


Fig 3 : histogrammes des profils de puisage sur l'année.

Pour connaître les besoins journaliers moyens d'ECS pour chaque mois, il faut multiplier le besoin journalier moyen sur l'année (défini dans la première étape) par le coefficient multiplicateur.

E. Choix du ballon solaire de stockage

Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

Le dimensionnement du ballon solaire est moins déterminant que celui des capteurs mais il ne doit pas être négligé pour autant. L'impact sur les performances n'est sensible que si le ballon solaire est fortement sous-dimensionné.

Le ballon solaire sera dimensionné de façon à ce que son volume, exprimé en litres, **soit au minimum égal à 50 fois la surface en m² des capteurs solaires.**



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Le ballon solaire est divisé horizontalement en 10 couches de même hauteur. Le repérage des points de piquage s'effectue par rapport à ce système de couche.

Le tableau suivante présente les caractéristique *du ballon* choisir dans notre étude:

TABLE 2

CARACTERISTIQUE DU BALLON SOLAIRE DE STOCKAGE

Nombre des ballons identiques	02
Type	vertical
Volume	2000 l
Hauteur	2,21 m
Diamètre	0,76
Constante de refroidissement	0,13Wh/(l.k.j)
Type d'isolant	Laine de verre
Epaisseur isolant de la jaquette	50 mm
Appoint	électrique
Position des piquages	
Retour de bouclage	8
Entrée circuit solaire	4
Sortie circuit solaire	1
Sortie eau chaude solaire	10
Entrée eau froide	1

La constante de refroidissement du ballon équivalent se calcule de la manière suivante :

$$Cr = \frac{24.Sb.(1.1 + \frac{50}{V}).h}{0.85V}$$

$$h = \frac{1}{(0.1 + \frac{e_{isol}}{k_{isol}})}$$

et $V = Vb.NB$

où :

$$Sb = \left(\frac{\pi.Di^2}{2} \right) + \pi.Di.H.NB$$

F. Choix des capteurs solaires

Un capteur solaire plan est essentiellement constitué d'une surface absorbante exposée au rayonnement solaire, qui échange avec un fluide caloporteur, les calories produites par absorption du rayonnement incident, et émet en s'échauffant un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde.

Pour réduire les pertes par la face arrière du capteur, l'absorbeur est placé à l'intérieur d'un coffre dont les parois internes sont recouvertes d'un isolant thermique (laine de verre ou mousse synthétique, par exemple).

L'isolation thermique de la face avant est réalisée en interposant entre l'absorbeur et l'air, un matériau opaque au rayonnement thermique, mais transparent au rayonnement solaire. Les verres et certains matériaux synthétiques sont utilisés en tant que couvertures transparentes des capteurs solaires.

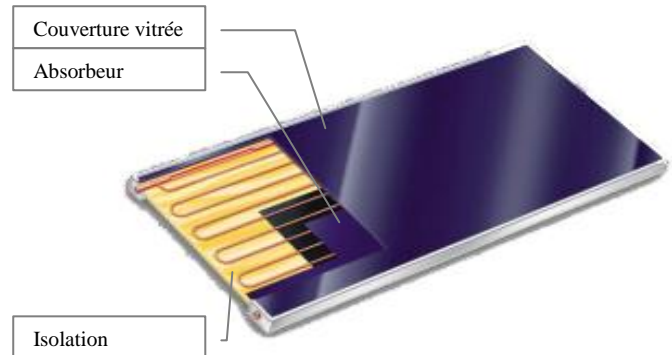


Fig. 4. Les composantes d'un capteur solaire plan à eau

Les couvertures ont également pour rôle de limiter les pertes par convection, étant donné que les échanges thermiques entre deux plaques séparées par une lame d'air immobile, se font essentiellement par conduction et qu'il est connu que l'air immobile est un bon isolant thermique.

Cet effet d'isolation croît avec l'épaisseur de la lame d'air séparant les deux surfaces, tant que le phénomène de transfert reste conductif (2 à 3 cm d'épaisseur). Au-delà, les effets de la convection naturelle viennent contrarier l'effet recherché.

Une autre méthode pour réduire les pertes du capteur est la réalisation, sur la surface de l'absorbeur, d'un revêtement sélectif, présentant un coefficient d'absorption le plus élevé possible pour les longueurs d'onde du spectre solaire (inférieures à 2,5 m m) tout en ayant une émissivité la plus faible possible dans le domaine de l'infrarouge correspondant au rayonnement de l'absorbeur (longueurs d'onde supérieures à 2,5 mm).

De tels revêtements sélectifs sont réalisés par dépôt chimique ou par traitement électrochimique de la surface absorbante.

- Caractéristiques du capteur solaire

Les variations du rendement instantané d'un capteur solaire en fonction de la température réduite T^* sont représentées par l'expression suivante:

$$h = h_0 - a_1 T^* - a_2 G(T^*)^2$$

et :

$$T^* = (T_m - T_a) / G$$



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Selon les principes retenus par la normalisation internationale (ISO) et européenne (CEN), le rendement d'un capteur solaire est ainsi caractérisé par trois coefficients indépendants de la température :

Cependant, pour des valeurs de T^* inférieures à 0,07, on peut raisonnablement représenter ces variations par des relations linéaires. Le rendement s'écrit alors :

$$h = h_0 - a_1 T^*$$

Dans cette relation, les valeurs de deux coefficients h_0 et a_1 sont différentes de celles des coefficients utilisés dans la caractérisation à trois paramètres.

Dans la norme française NF P50-501, les coefficients h_0 et a_1 sont nommés respectivement :

- Facteur optique du capteur (B)
- Conductance thermique totale des pertes (K)

Tous les capteurs testés en France sont caractérisés par les coefficients B et K. Les capteurs testés dans d'autres pays sont caractérisés par les coefficients h_0 , a_1 et a_2 .

Le coefficient B est généralement compris entre 0,7 et 0,8 pour les capteurs plans, entre 0,5 et 0,8 pour les capteurs sous vide (à incidence normale).

Le coefficient K est généralement compris entre 4 et 10 $W/m^2/°C$ pour les capteurs plans, entre 1,5 et 3 $W/m^2/°C$ pour les capteurs sous vide.

- Surface du capteur solaire

Il existe plusieurs définitions possibles de la surface d'un capteur. Les termes les plus couramment utilisés sont ceux de "surface hors tout" et de "surface d'entrée" :

- la surface hors tout est à la surface supérieure du coffre du capteur,
- la surface d'entrée, plus petite, est la surface d'entrée du rayonnement (vitrage).

La surface hors tout permet de mieux prendre en considération les problèmes d'encombrement tandis que la surface d'entrée est plus significative en termes de rendement thermique.

L'écart entre ces valeurs est faible pour les capteurs plans (5% à 10%), plus important pour les capteurs sous vide (10% à 20%).

Les caractéristiques données par les constructeurs font référence à l'une ou l'autre de ces surfaces, ou aux deux. Les avis techniques du CSTB donnent la surface d'entrée et la surface hors tout.

Dans le calcul de simulation, on utilisera la surface d'entrée.

- Choix de l'orientation

L'orientation d'un capteur est déterminée par l'angle que fait la normale au plan du capteur et le Sud.

Dans l'hémisphère Nord, on veillera à orienter les capteurs vers le Sud (azimut $h=0$), dans l'hémisphère Sud vers le Nord (azimut $h=180°$).

- Choix de l'inclinaison

Le choix de l'inclinaison dépend essentiellement de deux paramètres :

- la latitude,
- la saisonnalité des besoins.

Dans la pratique, on utilise généralement un petit nombre d'inclinaisons standards ($30°$, $45°$, $60°$) pour des raisons pratiques. Ceci facilite la définition des supports et une variation de quelques degrés autour de la valeur optimale à une très faible influence sur les résultats. En conséquence, on peut appliquer les règles de pré-dimensionnement suivantes :

- Si la consommation est constante ou quasi-constante sur l'année, l'angle d'inclinaison sur l'horizontale sera proche de la latitude par exemple $45°$.
- Si la consommation est plutôt hivernale, on augmentera l'inclinaison de $15°$ (ce qui donne une inclinaison de $60°$) afin d'avoir une incidence plus proche de la normale en hiver.
- Si la consommation est nettement estivale, on diminuera l'inclinaison de $15°$ (ce qui donne une inclinaison de $30°$) afin d'avoir une incidence plus proche de la normale en été.

Le choix d'une inclinaison à $45°$ reste très peu pénalisant (1% à 3%), même avec des consommations saisonnières.

Les Caractéristiques du capteur solaire choisis sont résumés sur ce tableau :

TABLE 3

CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR SOLAIRE

Catégorie	Capteur plan
Fabriquant	j. Giordano industries
Produit	C8/8 C8/ 12 SU HSU
n_0	0,69
a_1	5,09
a_2	0
Superficie d'entrée	2 m^2
Nombre de capteur	7
Orientation	$0°$ sud
inclinaison	48,817
Capacité thermique du fluide	Antigel à 30%



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Les autres caractéristiques de l'installation sont données dans le tableau suivant.

TABLE 4

CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION SOLAIRE

La régulation du circuit solaire	
Différentiel d'enclenchement	5 K
Différentiel d'arrêt	2 K
Température limite de sécurité	90 °C
L'échangeur de chaleur	
Coefficient de transfert thermique	1400W/K
Les circulateurs ou pompes	
Type	générique
Débit nominal	700 l/h
Puissance maximum	0,1 kW
Appoint électrique des ballons	
Température de consigne de l'appoint	60 °C
Différentiel statique	2 °C
Puissance résistance (par ballon identique)	13 kW
Facteur de conversion CO ₂	0,04 kg CO ₂ /kWh
Position de l'auxiliaire d'appoint	7/10
La tuyauterie	
Type	Tube acier 1 pouce
Longueur des conduites (Aller-Retour)	20m extérieur et 30m intérieur

III. RESULTATS ET DISCUSSION

- Données météorologiques :

Les tableaux suivants résument les données météorologiques utilisées dans la simulation de l'installation.

TABLE 5
DONNEES METEOROLOGIQUES

Températures extérieures moyennes (°C)											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
8.7	9.0	11.2	13.4	17.1	20.2	23.4	23.0	20.6	17.1	12.7	10.1
Irradiation solaire sur le plan horizontale (kWh/m ² .jour)											
1.80	2.50	3.85	5.07	6.14	7.01	6.98	6.15	4.67	2.98	1.91	1.52
Température d'eau froide (°C)											
10.3	10.3	11.4	13.3	15.5	17.4	18.5	18.5	17.4	15.5	13.3	11.4

Données sur la consommation d'eau chaude sanitaire

La température de l'eau chaude sanitaire au départ de la distribution vers les utilisateurs est réglée à 50°C.

Le besoin est défini par un profil simple La consommation journalière de référence est estimée pour chaque mois, en litre par jour (Tab 6):

TABLE 6

LA CONSOMMATION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (L/JOUR)

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
850	780	770	730	780	1050	1240	1250	1280	1280	1000	990

- Résultats des calculs

La récapitulation des résultats de la simulation est présentée sur ce tableau.

TABLE 7
RESULTATS DES CALCULS

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Besoins en ECS à 50° (kWh)	1190	1092	1049	945	949	1207	1377	1388	1471	1558	1295	1348	14869
Production solaire (kWh)	393	399	549	550	611	766	922	934	830	640	411	394	7399
Couverture solaire des besoins en ECS (%)	33	37	52	58	64	63	67	67	56	41	32	29	50
Pertes circuit de distribution (kWh)	225	204	225	218	225	218	225	225	218	225	218	225	2651
Taux de couverture des pertes (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energie appoint élec.(kWh)	1197	947	818	636	675	710	750	793	815	1196	1062	1159	10758

la premier remarque qu'on peut faire est que le soleil couvre en moyenne 50% des besoins en ECS, d'autre part comme l'immeuble choisi (hôtel) est caractérisé par l'accroissement des besoins en ECS en été (Fig.3), et que cette demande correspond à l'augmentation de la production solaire qui couvre 67% des besoins, l'utilisation de cette installation solaire peut être justifiée sur le plan de la rentabilité économique.

- Bilan énergétique

L'histogramme du bilan énergétique illustre bien que 30% de l'énergie incident est récupérée par les capteurs et que 50% de cette énergie est perdu surtout à travers le circuit de distribution. On note que la présence d'un échangeur dans les capteurs entraîne une baisse du rendement global du système car elle provoque une augmentation de la température de l'eau dans les capteurs, et donc une augmentation des pertes thermiques des capteurs.

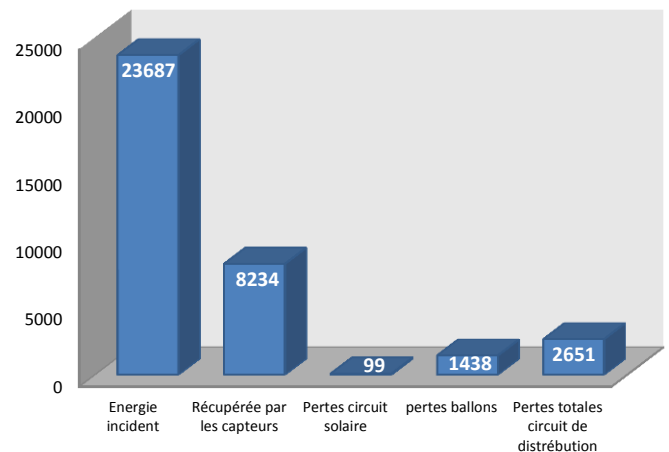


Fig .5. Répartition de l'énergie dans le système



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Consommation des Pompes et des appoints

Sur ces diagrammes (Fig.6 et 7) en remarque d'une part que le temps de marche est de 85% ce qui signifie que l'immeuble consomme une quantité importante d'ECS durant l'année, d'autre part que le temps d'arrêt de l'appoint est de 91% ce qui reflète l'apport importance de l'énergie solaire et l'isolation, comme il

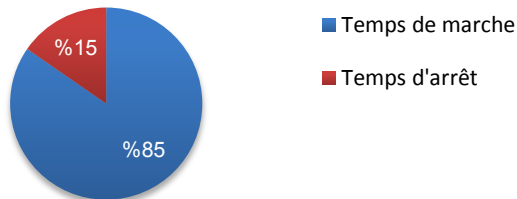


Fig .6. Pompes du circuit solaire pour toute la période simulée

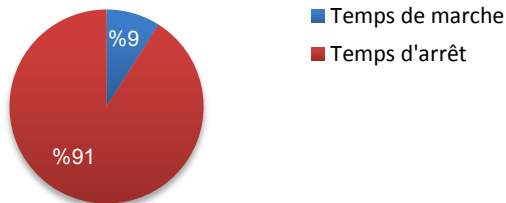


Fig .7. Appoint: Temps de marche moyen pour toute la période simulée

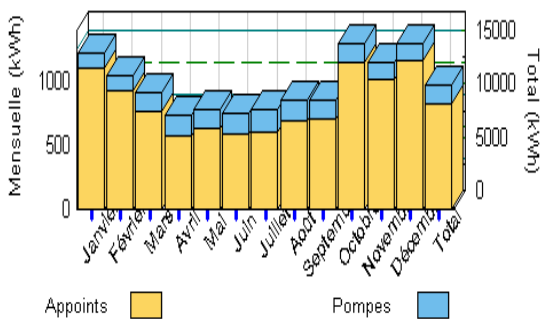


Fig .8. Consommation des Pompes et des appoints

La figure 8 montre que la consommation des pompes reste constante durant l'année et ça valeur ne représente que 20% de la consommation des appoints. tan dit que la consommation des appoints diminue du janvier à avril puis se stabilise jusqu'à septembr qu'elle connaît une augmentation importante a cause du changement climatique(équinoxe d'automne), la raison est l'absence du soleil qui correspond a une forte demande d'ECS.

CONCLUSION

À la lumière des résultats obtenus et des hypothèses retenues. en peut dire que la prédiction des performances thermiques des installations de production d'eau chaude solaire collective par un logiciel nécessite un choix soigneux des paramètres lors de la simulation, dans notre cas les performances de l'installation solaire de type

"Échangeur primaire externe et appoint centralisé intégré" sont calculées à l'aide du logiciel SimSol du CSTB, où la température de l'eau chaude sanitaire au départ de la distribution vers les utilisateurs est de l'ordre de 50°C et la surface totale d'entrée est de 16m².

L'analyse des résultats nous a permet de connaitre l'influence des différents choix des composants de l'installation sur les performances thermiques.

En perspective le teste de plusieurs configuration va nous permettre de présenter de manière synthétique les avantages et inconvénients des différentes options s'offrant au consommateur.

C'est à ce stade qu'on préconise la dimension, le type de capteurs solaires et de stockage de chaleur pour l'établissement concerné. L'option retenue pourra être adaptée en fonction de l'importance relative accordée par l'utilisateur à l'un ou l'autre des critères de décision quantifiés dans l'étude.

NOMENCLATURE

T_m : température moyenne de l'absorbeur, °C ;

T_a : température ambiante moyenne, °C ;

G : éclaircement énergétique global mesuré dans le plan du capteur, W/m² (de surface d'entrée)

h₀ : coefficient de conversion optique (%)

a₁ : coefficient de déperditions thermiques par conduction (W/m².K)

a₂ : coefficient de déperditions thermiques par convection (W/m².K²)

NB : nombre de ballons identiques ;

V_b : volume d'un ballon unitaire (l) ;

D_i : diamètre intérieur d'un ballon unitaire (m)

H : hauteur d'un ballon unitaire (m)

e_{iso} : épaisseur de l'isolant (m) ;

k_{iso} : conductivité de l'isolant (W/m.°C)

T_{sc} : Température de sortie du capteur (°C) ;

T_{ec} : Température d'entrée du capteur (°C) ;

T_{bs} : Température de sortie du ballon solaire (°C) ;

T_{ba} : Température de sortie du ballon d'appoint (°C) ;

T_{conso} : Température de l'eau au soutirage (°C) ;

T_{ef} : Température de l'eau froide (°C) ;

T_{bât} : Température ambiante du bâtiment (°C) ;

T_{local} : Température du locale chaufferie (°C) ;

D_{conso} : Débit de soutirage (l) ;

R_g : Rayonnement global reçu sur le capteur (kWh).

REFERENCES

- 1.Caccavellid.D, Ortu.N, Aide SimSol, ADEM, CSTB, 2006
- 2.John A.Duffie and William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes",2nd ed, 1991
- 3.IBGE, Guide à la réalisation d'une étude de faisabilité d'un projet solaire thermique, Bruxelles environnement, 2006.
- 4.Eau chaude sanitaire solaire application à l'individuel et au collectif, guide pour l'installation, COSTIC, ADEME, FF, édition 2008.
- 5.Lafri.D, H. B. Etude du comportement thermique d'une de stockage solaire à échangeur de chaleur. 10ème Journées Internationales de Thermique JITH 2001, pp. 127-132.