

Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie propre et abondante qui peut nous aider à combler une bonne partie de nos besoins en énergie. Une bonne partie de cette énergie solaire peut être donc utilisée pour produire de la chaleur. Dans ce cas, on parle de système solaire thermique. La production d'eau chaude sanitaire est parmi les applications de l'utilisation de cette énergie renouvelable. De nombreuses recherches ont été effectuées ces dernières années afin d'améliorer les performances énergétiques des installations solaires, et plusieurs simulations sur ordinateurs ont été faites pour prévoir leurs performances.

La simulation est faite par le logiciel SimSol qui a été développé dans le cadre d'une collaboration avec l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME).

Notre travail consiste à varier les différents paramètres constituant le chauffe eau solaire en vue de la prédiction de ses performances en fonction de divers paramètres

V. 1 Description du logiciel

SimSol est un outil de prédiction des performances thermiques des installations de production d'eau chaude solaire collective développé en collaboration par le **CSTB** et l'**Ademe**.

L'outil est basé sur de la simulation dynamique (calculs au pas de temps d'une heure) et évolue dans l'environnement de simulation **TRNSYS**.

Six configurations d'installations solaires collectives ont été définies :

- Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé
- Echangeur primaire externe et appoint centralisé intégré
- Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé et instantané
- Variante pour la décharge du stock solaire
- Echangeur primaire interne et appoint centralisé séparé
- Pas d'échangeur de chaleur primaire et appoint centralisé séparé.

Le logiciel utilisé est une version démo avec des options limitées.

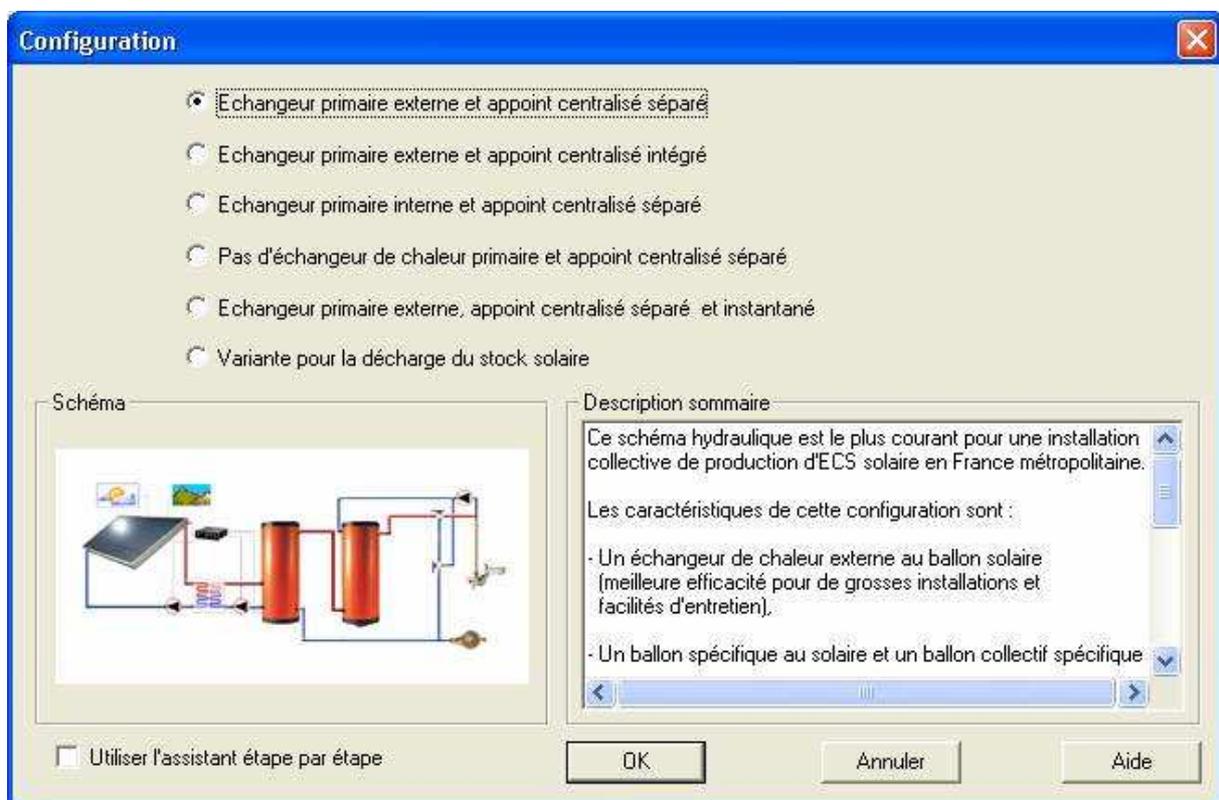
Le principe d'utilisation de SimSol c'est de créer un projet, saisir les différents paramètres de l'installation, lancer une simulation, exploiter les résultats puis éditer les rapports de simulation.

V.1.1 Création d'un nouveau document

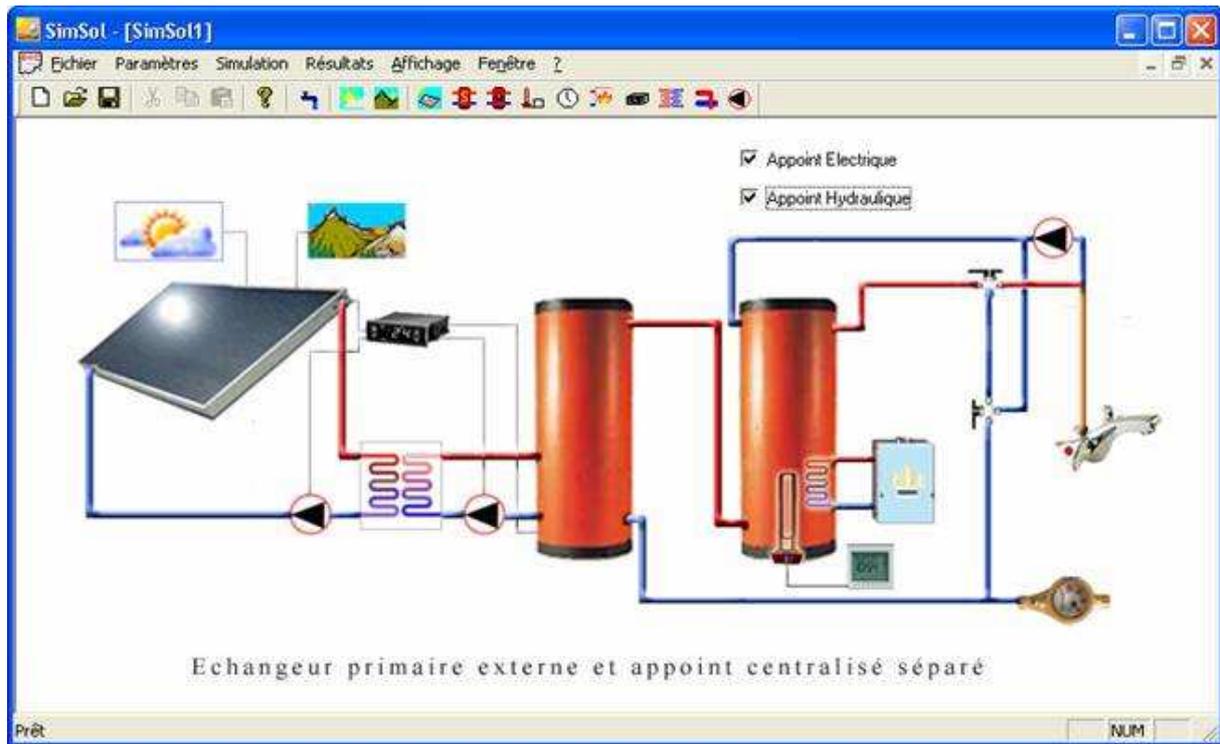
- Cliquer sur le menu « Fichier \ Nouveau ».



- Choisir une configuration d'installation parmi les 6 proposées. Pour utiliser l'assistant étape par étape, cocher la case « Utiliser l'assistant étape par étape » en bas à gauche avant de cliquer sur le bouton « OK ».

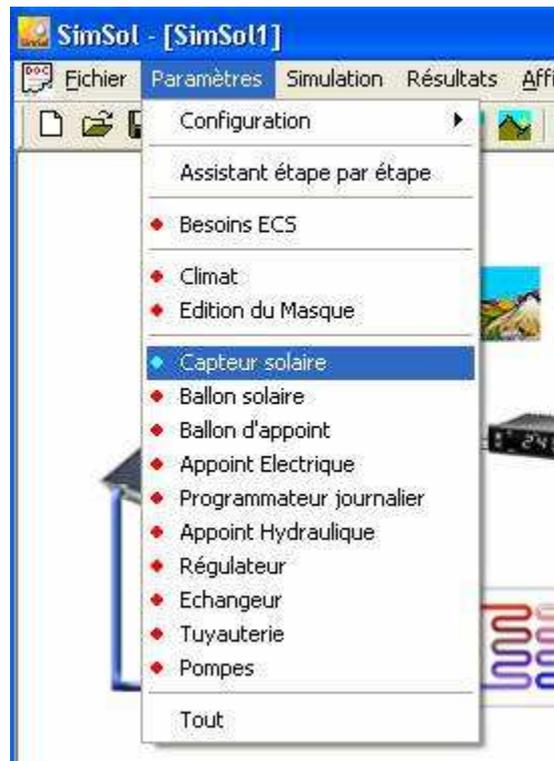


- Si l'assistant n'a pas été coché, SimSol ouvre un nouveau document avec une installation correspondant à la configuration choisie.

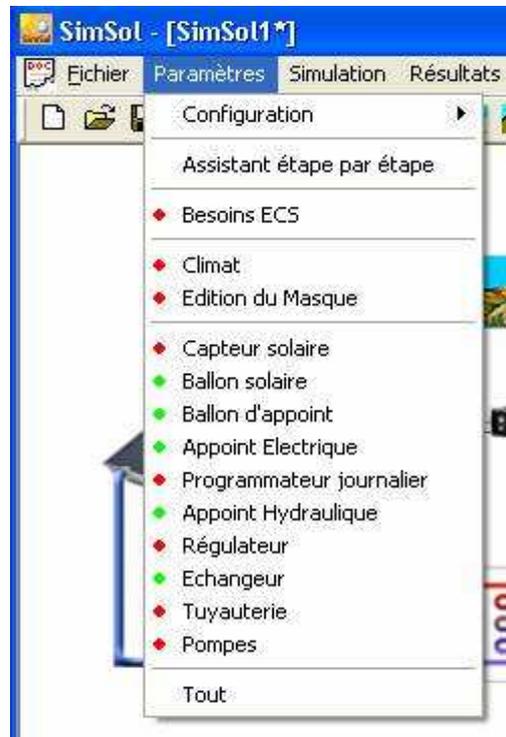


V.1.2 Saisi des paramètres

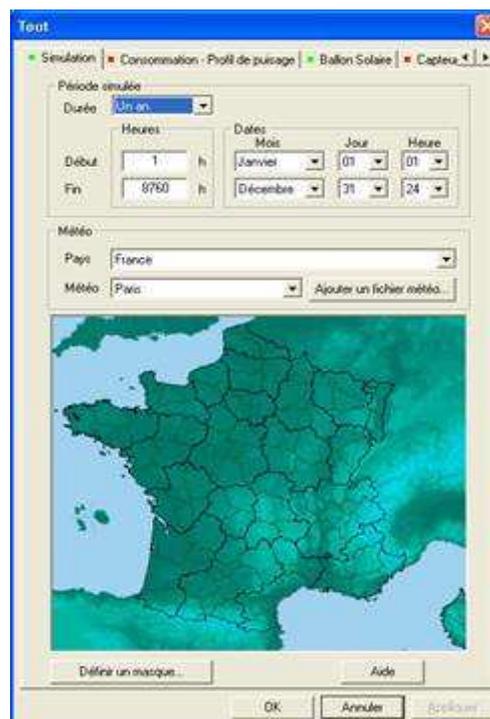
- Pour accéder aux paramètres de chaque élément et les modifier, cliquer sur la zone du dessin correspondant à l'élément ou aller dans le menu « Paramètres ».



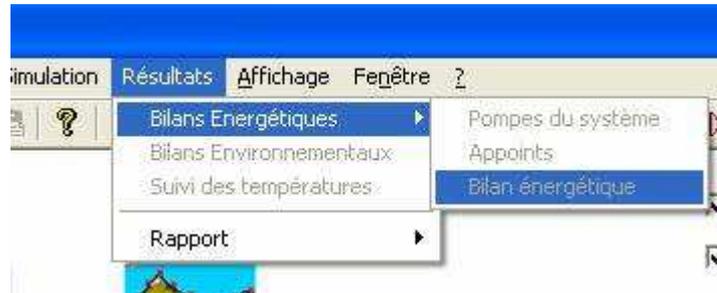
- Dans ce menu, chaque item est précédé d'une petite lumière rouge tant que les paramètres correspondants n'ont pas été saisis et validés par le bouton « OK » de chaque boîte de dialogue.
- Une fois les paramètres validés, la petite lumière devient verte.



- Le menu « Paramètres \ Tout » permet d'éditer tous les paramètres dans une seule boîte avec un système d'onglets et de ne pas avoir à ouvrir chaque élément un par un.

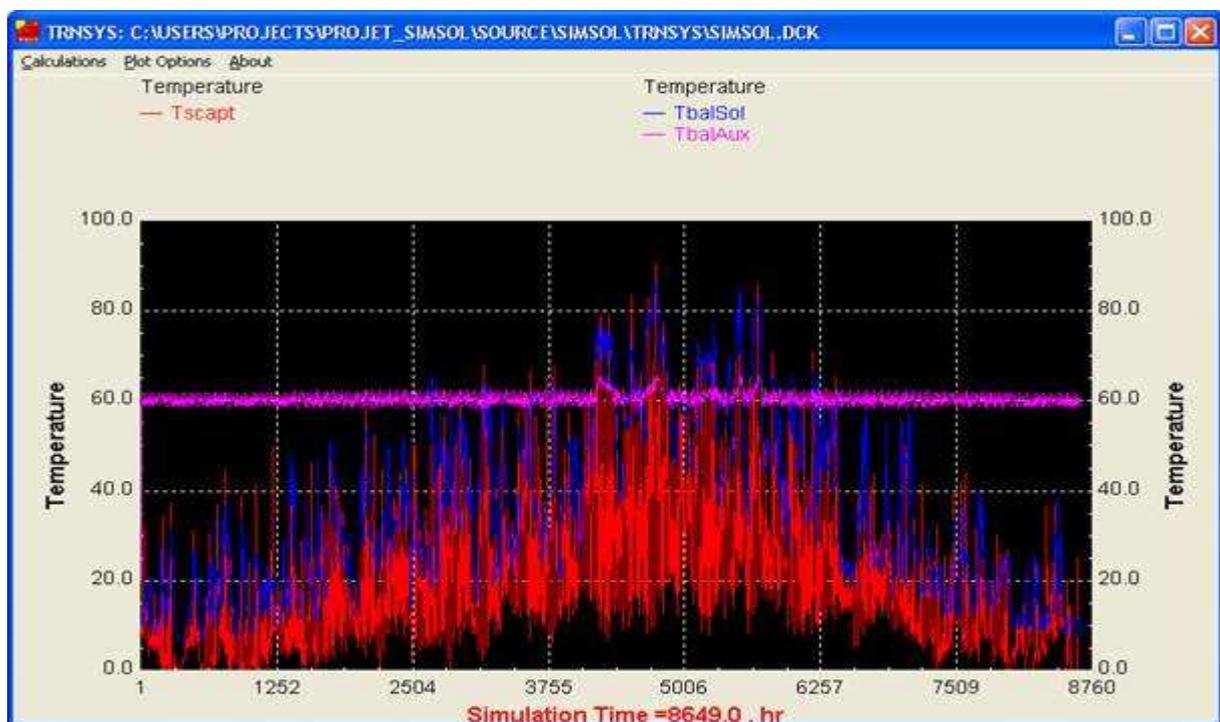


- Une fois tous les paramètres saisis, la simulation peut être lancée. Noter que les menus Résultats sont grisés tant qu'une simulation n'a pas eu lieu.



V.1.3 Lancement de la simulation

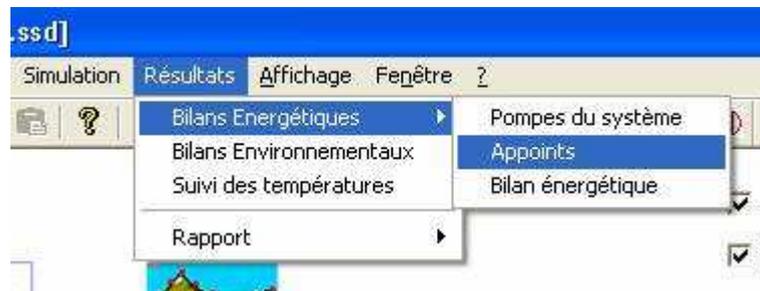
- Pour lancer la simulation, cliquer sur le menu « Simulation \ Lancer ». Noter que s'il s'agit de la première simulation pour un projet donné, il est demandé de sauver le projet sur le disque avant. Dans ce cas sauver, puis la simulation se lance.
- La fenêtre de simulation du moteur de calcul TRNSYS se lance alors, et reste affichée plus ou moins longtemps suivant la longueur de la simulation définie dans le menu « Paramètres \ Climat ».



- Cette fenêtre affiche plusieurs courbes. Suivant la configuration choisie, on peut voir : la température en sortie du capteur et les températures de sortie des ballons solaires et d'appoints.
- Cette fenêtre se ferme automatiquement à la fin de la simulation.

V.1.4 Exploitation des résultats

- Une fois la simulation terminée, les menus résultats deviennent accessibles.



- Les résultats sont visibles graphiquement ainsi que sous formes de tableaux.



- Si le projet est modifié ultérieurement, les fichiers résultats sont effacés et les menus sont à nouveaux grisés tant que la simulation n'a pas été relancée.

V.1.5 Edition des rapports

- Une fois la simulation terminée, le menu rapport est accessible sous « Résultats \ Rapport ». Ce menu est grisé si la simulation n'a pas été lancée.



Deux rapports différents sont disponibles :

- simplifié
- détaillé

Le rapport simplifié contient un résumé des données météo saisies ainsi que tous les paramètres de l'installation, puis les résultats de la simulation sous la forme d'un tableau.

Le rapport détaillé est une extension du rapport simplifié car il contient en plus sous forme graphique le bilan énergétique, les consommations des pompes et des appoints ainsi que le bilan environnemental.

V.2 Estimation du besoin en eau chaude sanitaire pour un logement :

J'ai choisi de traiter deux types d'installations de production d'eau chaude sanitaire :

- Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé
- Pas d'échangeur de chaleur primaire et appoint centralisé séparé

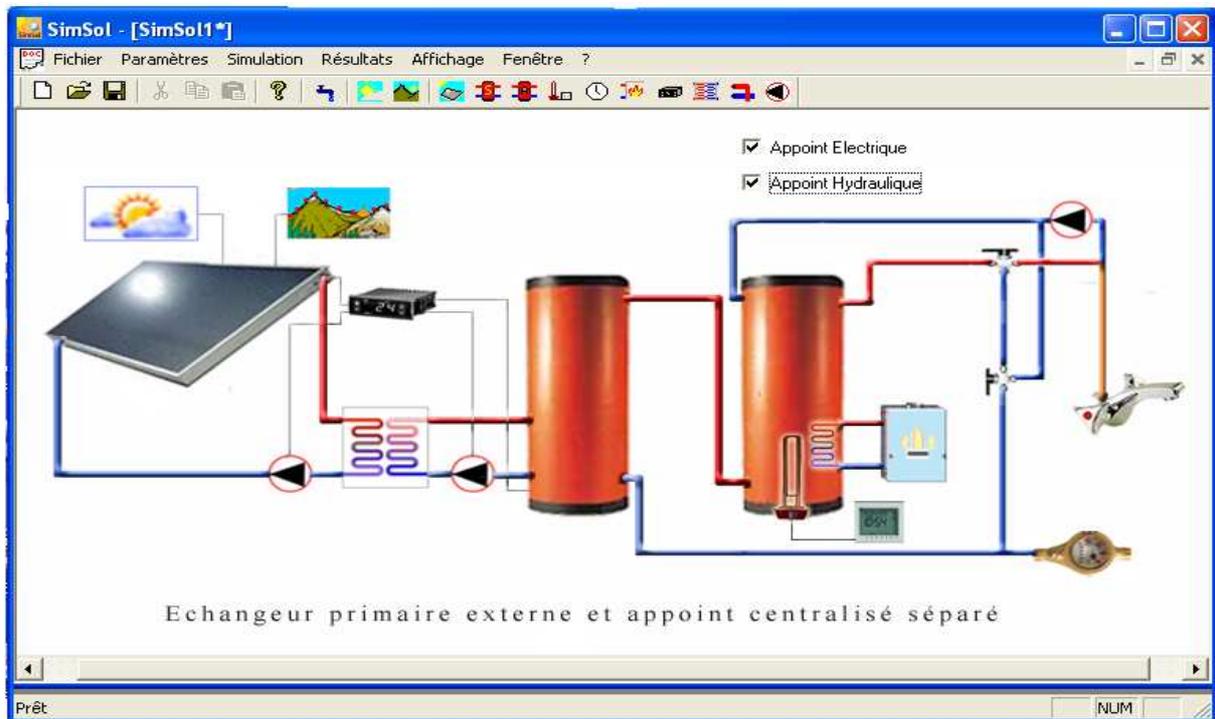
V.2.1 Installation 01 : Echangeur primaire externe et appoint centralisé séparé

Ce schéma hydraulique est le plus courant pour une installation collective de production d'ECS solaire en France métropolitaine.

Les caractéristiques de cette configuration sont :

- ❖ Un échangeur de chaleur externe au ballon solaire (meilleure efficacité pour de grosses installations et facilités d'entretien),
- ❖ Un ballon spécifique au solaire et un ballon collectif spécifique à l'appoint. Dans le cas de plusieurs ballons en série (solaire ou appoint), on définira un seul ballon équivalent de capacité égale à la somme des capacités des ballons,
- ❖ L'appoint peut être de type électrique, hydraulique ou les deux,
- ❖ Le mitigeur se trouve en sortie du ballon d'appoint,

- ❖ Un maintien en température de l'ECS distribuée par bouclage est assuré par le ballon d'appoint,
- ❖ Le circulateur secondaire est asservi à celui du primaire.



a) Données météorologiques

Station météo : Paris

Températures extérieures moyennes (°C):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
3.9	4.1	7.2	9.9	13.9	16.5	19.5	19.5	15.9	11.7	6.6	5.0

Irradiation solaire sur le plan horizontal (kWh/m².jour):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0.77	1.49	2.38	3.72	4.39	5.01	5.11	4.41	3.14	1.89	1.08	0.62

Température d'eau froide (°C):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
7.1	7.1	8.2	10.1	12.3	14.2	15.3	15.3	14.2	12.3	10.1	8.2

b) Données sur la consommation d'eau chaude sanitaire

Température de l'eau chaude sanitaire au départ de la distribution vers les utilisateurs: 55°C.

Le besoin est défini par un profil simple quotidien.

La consommation journalière de référence est estimée pour chaque mois, en litres/jour :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1250	1200	1100	1050	1000	800	500	600	900	1050	1150	1400

c) Caractéristiques des composants solaires

Capteurs solaires :

Fabriquant : Clipsol
 Produit : Clipsol TGD
 Laboratoire de test : CSTB
 n° d'avis ou rapport : 14+5/03-839
 Surface totale d'entrée : 4 m²
 Inclinaison : 43 °
 Orientation : 0 °
 Caractéristiques : $\eta = 0.73$
 $a_1 = 4.26 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 $a_2 = 0.00 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Ballon solaire :

Volume total de stockage : 1000 litres
 Nombre de ballons : 1 ballon(s)
 Volume de chaque ballon : 1000 litres
 Epaisseur d'isolation : 50 mm
 Constante de refroidissement : 0.13 Wh/l.K.jour

d) Caractéristiques de l'installation

Boucle solaire :

Longueur aller et retour : 50 m
 Longueur extérieure : 20 m
 Diamètre extérieur des tuyaux : 34 mm
 Coefficient de déperditions linéique : 0.09 W/m.K
 Débit : 1000 l/h
 Coefficient de transfert thermique (échangeur) : 2 kW/K

Ballon d'appoint :

Volume total de stockage : 1000 litres
 Nombre de ballons : 1 ballon(s)
 Volume de chaque ballon : 1000 litres
 Epaisseur d'isolation : 60 mm
 Constante de refroidissement : 0.11 Wh/l.K.jour

Boucle de distribution :

Longueur aller et retour : 60 m
 Diamètre extérieur des tuyaux : 28 mm
 Coefficient de déperditions linéique : 0.16 W/m.K

e) Bilan énergétique

❖ *Cas 01 : avec appoint électrique*

KWh	Energie incidente sur le plan des capteurs	Energie récupérée par les capteurs	Pertes dans le circuit solaire	Pertes ballon solaire	Pertes ballon d'appoint	Pertes totales du circuit de distribution
Total	5036	2281	50	5	490	2246
Janvier	173	61	0	-9	33	151
Février	272	115	2	-7	29	131
Mars	395	168	2	-6	39	181
Avril	517	233	4	-1	40	285
Mai	572	276	4	2	45	209
Juin	594	284	6	6	45	212
Juillet	646	283	11	15	55	238
Aout	622	317	9	14	52	232
Septembre	497	247	6	5	44	207
Octobre	360	162	3	-1	42	198
Novembre	242	82	3	-4	36	165
Décembre	146	53	0	-9	30	137

Tableau V.1 : Bilan énergétique du système avec appoint électrique

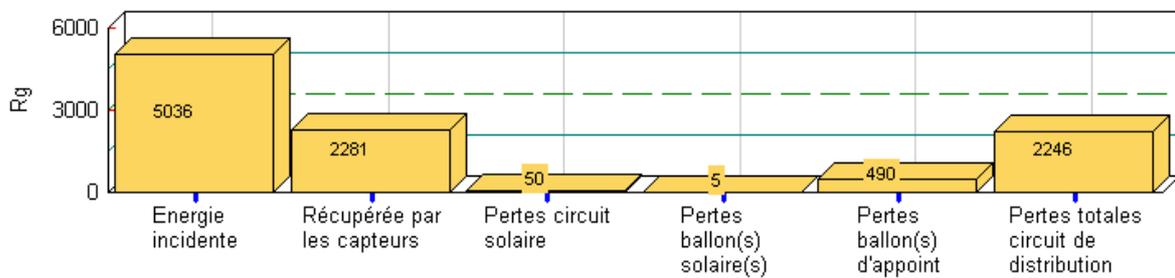


Figure V.1 : Répartition de l'énergie dans le système

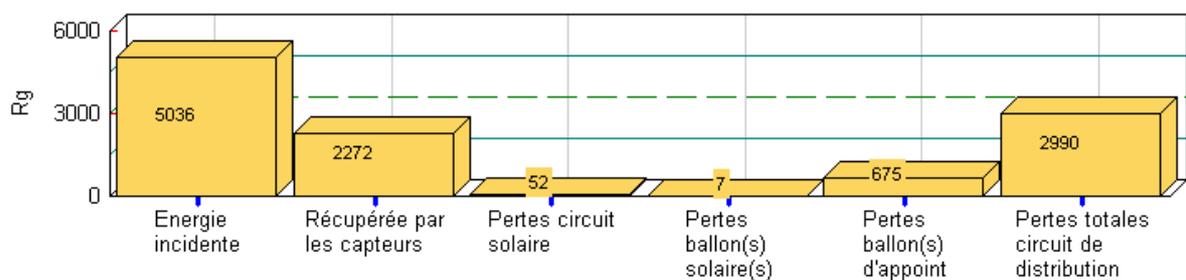
❖ *Cas 02 : avec appoint hydraulique*

Figure V.2 : Répartition de l'énergie dans le système

KWh	Energie incidente sur le plan des capteurs	Energie récupérée par les capteurs	Pertes dans le circuit solaire	Pertes ballon solaire	Pertes ballon d'appoint	Pertes totales du circuit de distribution
Total	5036	2272	52	7	675	2990
Janvier	173	61	0	-9	56	253
Février	272	115	2	-7	52	229
Mars	395	166	2	-6	57	254
Avril	517	233	4	-1	56	246
Mai	572	276	5	2	57	254
Juin	594	283	6	7	55	246
Juillet	646	281	11	16	61	254
Aout	622	313	10	14	59	254
Septembre	497	247	6	5	55	246
Octobre	360	162	3	-1	56	254
Novembre	242	82	3	-4	55	246
Décembre	146	53	0	-9	56	254

Tableau V.2 : Bilan énergétique du système avec appoint hydraulique

❖ Comparaison entre les deux cas

L'énergie d'appoint peut être fournie soit par une résistance électrique intégrée dans le ballon d'appoint soit par une chaudière (au gaz, au fioul, au charbon) raccordée au ballon d'appoint par un circuit hydraulique (via un échangeur hydraulique).

Pour l'appoint hydraulique, la consommation intègre les pertes de la ou des chaudière(s), la consommation des auxiliaires spécifiques de génération ainsi que la consommation de la veilleuse le cas échéant. C'est pour ça les pertes sont plus grandes que celles de l'appoint électrique qui est économiquement intéressant d'asservir le fonctionnement de l'appoint aux heures creuses tarifaires de nuit pour compenser les pertes thermiques.

V.2.2 Installation 02 : Pas d'échangeur de chaleur primaire et appoint centralisé séparé

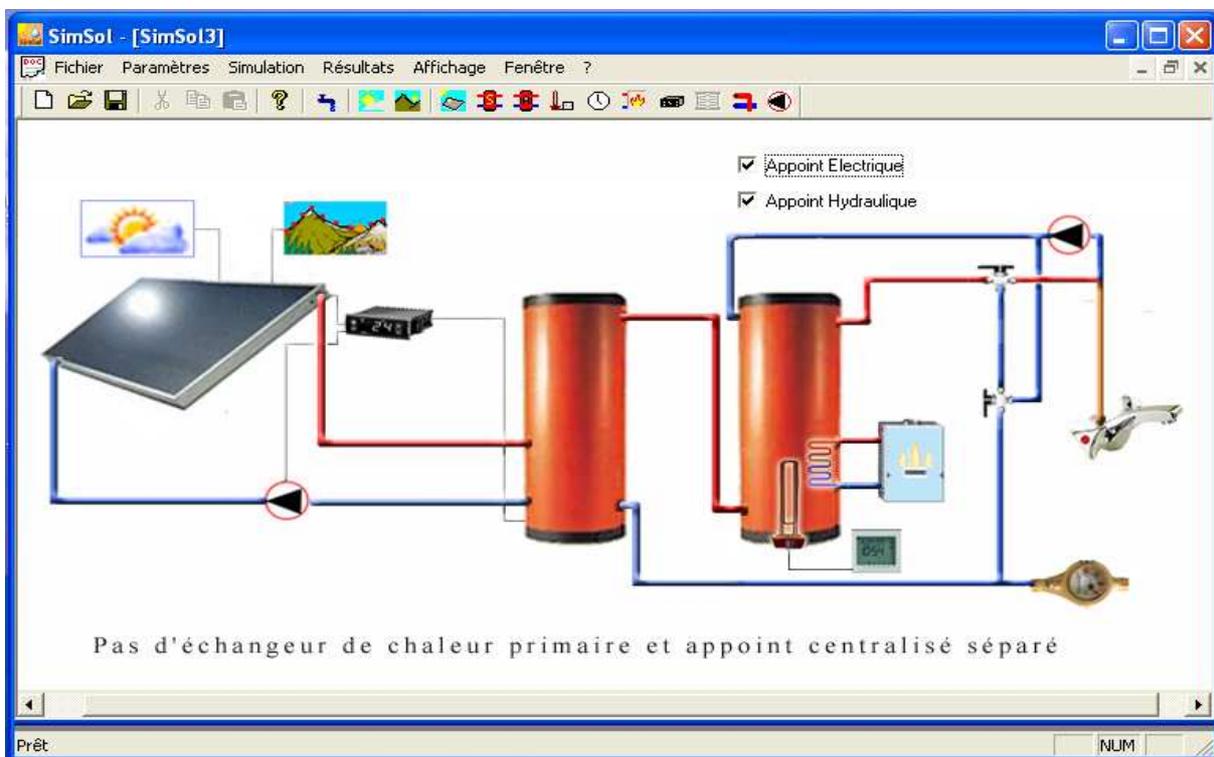
Ce schéma hydraulique est assez peu courant en France métropolitaine, mais se rencontre plus fréquemment dans les pays chauds.

Les caractéristiques de cette configuration sont :

- ❖ Pas d'échangeur de chaleur au ballon solaire,
- ❖ Un ballon spécifique au solaire et un ballon collectif spécifique à l'appoint. Dans le cas de plusieurs ballons en série (solaire ou appoint), on définira un seul ballon équivalent de capacité égale à la somme des capacités des ballons,

- ❖ L'appoint peut être de type électrique, hydraulique ou les deux. La configuration sans appoint se modélise en annulant la puissance de l'appoint,
- ❖ Le mitigeur se trouve en sortie du ballon d'appoint,
- ❖ Un maintien en température de l'ECS distribuée par bouclage est assuré par le ballon d'appoint.

Pour représenter une installation avec distribution directe (sans bouclage), il suffit d'annuler le débit de la pompe de bouclage. Cette configuration respecte la réglementation sanitaire que si la longueur totale de canalisation entre la boucle et chaque point de puisage ne dépasse pas 6 m.



a) Données météorologiques

Station météo : Paris.

Températures extérieures moyennes (°C):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
3.9	4.1	7.2	9.9	13.9	16.5	19.5	19.5	15.9	11.7	6.6	5.0

Irradiation solaire sur le plan horizontal (kWh/m².jour):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0.77	1.49	2.38	3.72	4.39	5.01	5.11	4.41	3.14	1.89	1.08	0.62

Température d'eau froide (°C):

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
7.1	7.1	8.2	10.1	12.3	14.2	15.3	15.3	14.2	12.3	10.1	8.2

b) Données sur la consommation d'eau chaude sanitaire

Température de l'eau chaude sanitaire au départ de la distribution vers les utilisateurs: 55°C.

Le besoin est défini par un profil simple quotidien.

La consommation journalière de référence est estimée pour chaque mois, en litres/jour :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1250	1200	1100	1050	1000	800	500	600	900	1050	1150	1400

c) Caractéristiques des composants solaires

Capteurs solaires :

Fabriquant : Clipsol
 Produit : Clipsol TGD
 Laboratoire de test : CSTB
 n° d'avis ou rapport : 14+5/03-839
 Surface totale d'entrée : 4 m²
 Inclinaison : 43 °
 Orientation : 0 °
 Caractéristiques : $\eta = 0.73$
 $a_1 = 4.26 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 $a_2 = 0.00 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Ballon solaire :

Volume total de stockage : 1000 litres
 Nombre de ballons : 1 ballon(s)
 Volume de chaque ballon : 1000 litres
 Epaisseur d'isolation : 50 mm
 Constante de refroidissement : 0.13 Wh/l.K.jour

d) Caractéristiques de l'installation

Boucle solaire :

Longueur aller et retour : 50 m
 Longueur extérieure : 20 m
 Diamètre extérieur des tuyaux : 34 mm
 Coefficient de déperditions linéique : 0.09 W/m.K
 Débit : 1000 l/h

Ballon d'appoint :

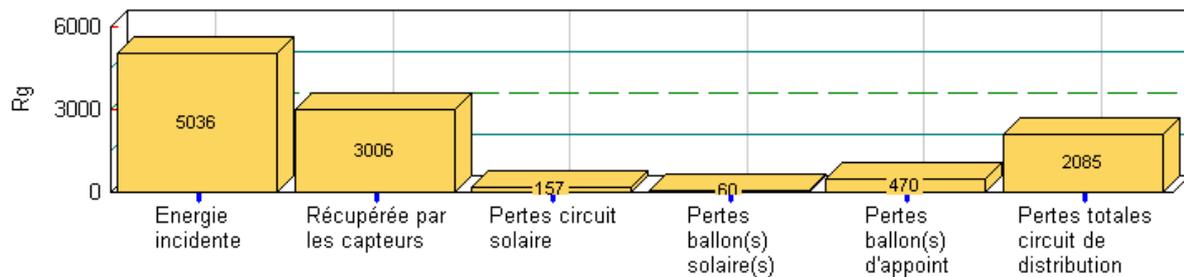
Volume total de stockage : 1000 litres
 Nombre de ballons : 1 ballon(s)
 Volume de chaque ballon : 1000 litres
 Epaisseur d'isolation : 60 mm
 Constante de refroidissement : 0.11 Wh/l.K.jour

Boucle de distribution :

Longueur aller et retour : 60 m
 Diamètre extérieur des tuyaux : 28 mm
 Coefficient de déperditions linéique : 0.16 W/m.K

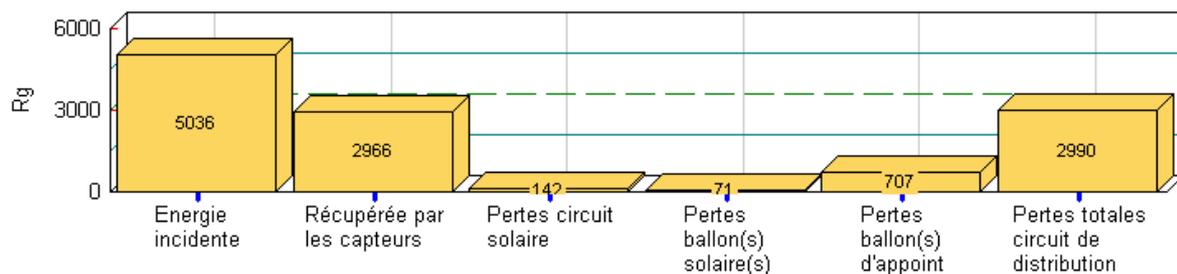
e) **Bilan énergétique**❖ Cas 01 : avec appoint électrique

KWh	Energie incidente sur le plan des capteurs	Energie récupérée par les capteurs	Pertes dans le circuit solaire	Pertes ballon solaire	Pertes ballon d'appoint	Pertes totales du circuit de distribution
Total	5036	3006	157	60	470	2085
Janvier	173	86	-12	-8	33	145
Février	272	143	9	-6	30	135
Mars	395	241	12	-3	39	174
Avril	517	331	26	3	38	164
Mai	572	368	29	7	38	173
Juin	594	368	35	13	41	186
Juillet	646	359	18	29	57	228
Aout	622	382	24	24	52	220
Septembre	497	321	4	10	39	177
Octobre	360	216	9	1	36	169
Novembre	242	121	3	-2	37	166
Décembre	146	70	0	-8	30	139

Tableau V.3 : Bilan énergétique du système avec appoint électrique**Figure V.3 : Répartition de l'énergie dans le système**

❖ Cas 02 : avec appoint hydraulique

KWh	Energie incidente sur le plan des capteurs	Energie récupérée par les capteurs	Pertes dans le circuit solaire	Pertes ballon solaire	Pertes ballon d'appoint	Pertes totales du circuit de distribution
Total	5036	2966	142	71	707	2990
Janvier	173	86	-11	-8	57	253
Février	272	144	9	-6	52	229
Mars	395	241	10	-1	59	254
Avril	517	328	25	4	59	246
Mai	572	360	25	8	60	254
Juin	594	362	35	15	59	246
Juillet	646	353	19	31	68	254
Aout	622	373	20	25	65	254
Septembre	497	314	0	11	59	246
Octobre	360	214	7	2	58	254
Novembre	242	121	3	-2	56	246
Décembre	146	70	0	-8	55	254

Tableau V.4 : Bilan énergétique du système avec appoint hydraulique**Figure V.4 : Répartition de l'énergie dans le système**❖ Comparaison entre les deux cas

Pour l'utilisation de l'appoint hydraulique on remarque que les pertes sont élevées par rapport aux celles lors l'utilisation de l'appoint électrique. C'est la même chose que la première installation.

V.2.3 Comparaison entre les deux installations

Dans la première installation la présence de l'échangeur provoque toutes choses étant égales par ailleurs, une augmentation de la température de l'eau dans les capteurs, et donc une augmentation dans les pertes thermiques des capteurs, par contre l'absence de ce dernier dans la deuxième installation entraîne une baisse de ces pertes thermique.