



méGoPICS

Préconisations pour le prédimensionnement des installations collectives



*Installations solaires pour le rafraîchissement,
et le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire*

L31 v02 du 10/03/2014

Ce guide de préconisation est à destination des bureaux d'études et concepteurs techniques d'installations solaires de rafraîchissement ou climatisation avec chauffage et/ou production d'eau chaude sanitaire. Il présente les principales règles de prédimensionnement des installations.

AVANT-PROPOS

L'Europe et la France se sont fixé des objectifs ambitieux en termes de réduction des consommations énergétiques du bâtiment. En réhabilitation comme dans la construction neuve, le potentiel de réduction des charges de climatisation et de chauffage par des mesures passives est élevé, néanmoins, dans certains bâtiments elles ne pourront être réduites à zéro. Dans ces applications particulières, la mise en œuvre de systèmes de production de chaleur et de froid utilisant des énergies renouvelables décentralisées prend alors tout son sens, puisqu'elle permet de réduire la consommation en énergie primaire fossile ou nucléaire, tout en couvrant les besoins.

Des systèmes de 'climatisation/chauffage solaire' sont actuellement disponibles sur le marché et il existe une centaine d'installations dans le monde. Ces technologies présentent l'avantage d'un haut potentiel de valorisation de la ressource solaire toute l'année, d'une faible consommation électrique et d'utiliser des fluides frigorigènes non nocifs pour l'environnement.

Le projet MeGaPICS a pour objectif de créer les outils d'ingénierie nécessaires à l'amélioration de la qualité des installations, notamment au niveau de leur mise en œuvre et de l'évaluation de leurs performances, dans le but d'améliorer les performances annuelles globale et de pouvoir à terme garantir celles-ci.

Ces travaux ont été en partie financés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du programme Habitat intelligent et solaire photovoltaïque (projet MEGAPICS n°ANR-09-HA BISOL-007).

Le projet MEGAPICS est coordonné par le Bureau d'études TECSOL, et regroupe au sein d'un consortium les partenaires suivants :

- Le CEA à l'INES
- EDF R&D
- ENERPLAN
- GDF SUEZ
- Le laboratoire PIMENT de l'Université de la Réunion



Préconisations pour le prédimensionnement

TABLE DES MATIERES

_Toc382226351

Avant-propos	2
TABLE DES MATIERES	3
1 Le schéma de principe	4
1.1 Les différentes utilisations et les principes associés.....	4
1.2 Les configurations	5
1.3 Le schéma de principe	6
2 Les composants de l'installation	7
2.1 Les machines à sorption.....	7
2.2 Le champ de capteurs	8
▪ Les capteurs plans.....	8
▪ Les capteurs à tubes sous vide.....	9
▪ Rendement des capteurs	9
2.3 Les systèmes de refroidissement.....	11
3 Prédimensionnement des installations.....	12
3.1 Processus de prédimensionnement.....	12
3.2 Calcul manuel de la puissance de la machine à sorption	13
3.3 Calcul manuel de la surface du champ de capteurs	14
3.4 Calcul manuel des volumes de stockage/tampon chaud et froid.....	14
▪ Ballon chaud.....	14
▪ Ballon tampon froid	16
3.5 Evaluation du productible solaire et des performances.....	17
ANNEXE 1 – Schéma de principe des configurations	20
ANNEXE 2 – Nomenclature des énergies présentées sur les schémas de principe	22
ANNEXE 3 – Liste et caractéristiques des machines a sorption diponibles dans le commerce	24
ANNEXE 4 – Logiciel PISTACHE	26

1 LE SCHEMA DE PRINCIPE

Le schéma de principe d'une installation solaire se conçoit en fonction de l'utilisation de l'installation. Si l'énergie solaire est utilisée d'abord pour la production de frigorie, en rafraîchissement ou en climatisation, elle peut aussi être valorisée pour la production de calorie, pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire.

1.1 Les différentes utilisations et les principes associés

Rafrâichissement : l'installation solaire fonctionne de manière autonome, sans appoint par un système frigorifique électrique (groupe frigorifique à compression). Elle assure une production centralisée et collective de frigorie, qui doit ensuite être distribuée au bâtiment, au moyen d'un réseau hydraulique ou d'un échangeur et d'un réseau aéraulique.

Climatisation : le principe est le même qu'en rafraîchissement, mais l'installation solaire n'assure que le pré-refroidissement. L'installation solaire doit être installée sur le retour bâtiment, elle permet de traiter tout ou partie du fluide de retour. L'appoint frigorifique assure sa production à la température de consigne (7° ou 11°C).

Chauffage au fil du soleil : l'installation solaire fonctionne de manière autonome, sans appoint sur le circuit hydraulique. La production est collective et centralisée, directement issue du champ de capteur, sans utiliser la machine à ab/adsorption ; les calories doivent ensuite être transférées dans le bâtiment, au moyen d'un réseau hydraulique ou aéraulique.

Chauffage : le principe est le même qu'en rafraîchissement, mais l'installation solaire n'assure que le préchauffage. L'installation solaire doit être installée sur le retour bâtiment, elle permet de traiter tout ou partie du fluide de retour. L'appoint calorifique assure sa production à la température de consigne (55° ou 80°C).

Production d'eau chaude sanitaire solaire : l'installation solaire assure le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, l'appoint la porte à sa température de consigne (60°C). Les installations collectives centralisées sont équipées d'un volume de stockage solaire dimensionné en fonction des besoins et de la production solaire journalière. L'appoint peut être de type à accumulation (cas des productions électriques notamment), semi-accumulée ou semi-instantanée (cas des productions avec chaudière gaz). Ces installations sont bouclées c'est-à-dire qu'une circulation permanente est maintenue dans le réseau de distribution de l'eau chaude sanitaire.

1.2 Les configurations

Les principales combinaisons d'utilisation qui peuvent être rencontrées sont les suivantes :

Pour les installations dites « collectives » :

- A1 : rafraîchissement
- B1 : climatisation
- A2 : rafraîchissement + chauffage au fil du soleil
- B2 : climatisation + chauffage au fil du soleil
- A3 : rafraîchissement + chauffage
- B3 : climatisation + chauffage
- A4 : rafraîchissement + production ECS
- B4 : climatisation + production ECS
- A5 : rafraîchissement + chauffage + production ECS
- B5 : climatisation + chauffage + production ECS

Pour les installations « packagées / SSC+ » :

- C : rafraîchissement + chauffage + production ECS
- D : climatisation + chauffage + production ECS

Ces combinaisons seront appelées « configurations » dans la suite du document. Quelques installations de rafraîchissement / climatisation solaire existantes sont répertoriées dans le tableau suivant :

Services	Appoint chaud	Appoint froid	Exemple d'installations existantes	N° schéma (Cf. Annexe 1)
Installations collectives				
RAF : rafraîchissement				
CLIM : climatisation				
CHAUF : chauffage				
ECS : eau chaude sanitaire				
RAF	✗	✗	RAFSOL, GICB	A1
RAF + CHAUF	✗	✗	SOLA CLIM	A2
RAF + CHAUF	✓	✗	MACLAS, SONNENKRAFT	A3
RAF + ECS	✓	✗	VENELLES	A4
RAF + CHAUF + ECS	✓	✗	GIVAUDAN	A5
CLIM	✗	✓	Port Louis	B1
CLIM + CHAUF	✗	✓	Saint Maxime	B2
CLIM + CHAUF	✓	✓	ISTAB	B3
CLIM + ECS	✓	✓		B4
CLIM + CHAUF + ECS	✓	✓	CRES	B5
Installations type « SSC+ »				
RAF + CHAUF + ECS	✓	✗	SOLERA (sans ECS)	C
CLIM + CHAUF + ECS	✓	✓		D

1.3 Le schéma de principe

Pour chaque « combinaison » ou « configuration » il existe un schéma de principe approprié. La figure suivante présente le schéma générique. Ordonnés par fonction, à savoir la production, la transformation des calories, l'utilisation et les rejets de chaleur sont représentés :

- les composants de l'installation
- les flux d'énergie entre chaque composant

Le schéma de principe de chaque configuration est donné en **Annexe 1**. Les énergies mises en jeu et présentées sur ce schéma (E1, E2, Q1, Q2, etc..) sont répertoriées en **Annexe 2**.

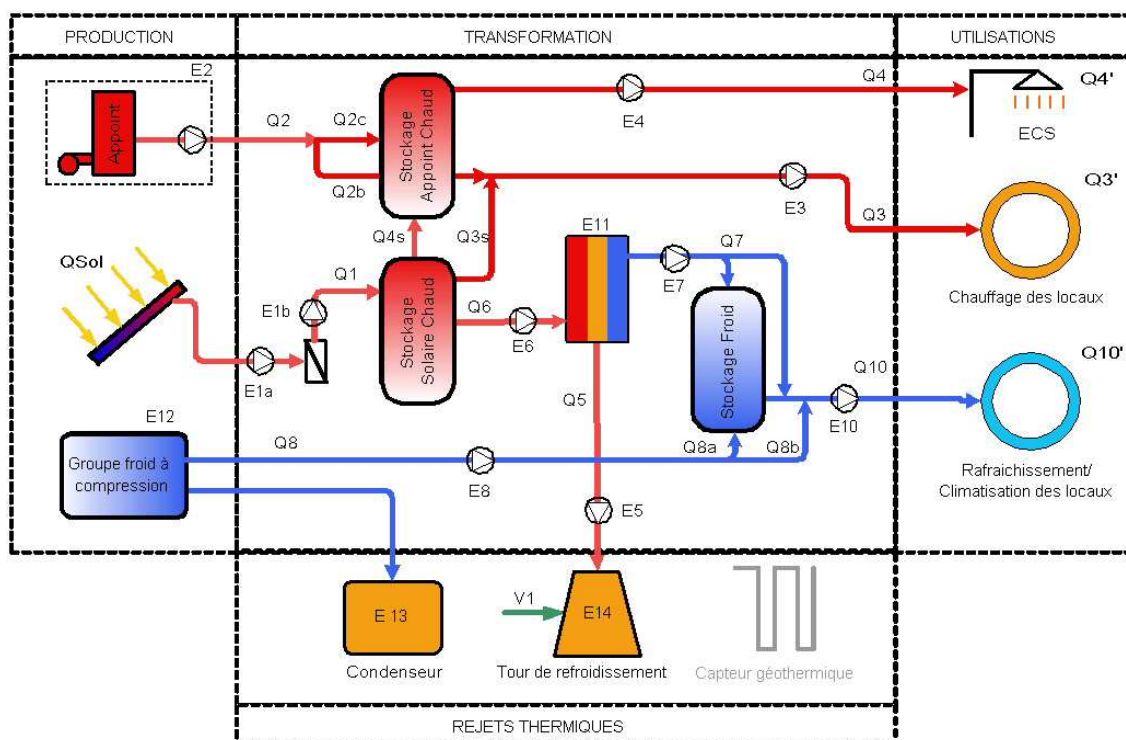


Figure 1 – Schéma générique des installations collectives

2 LES COMPOSANTS DE L'INSTALLATION

Les composants de l'installation ont différentes technologies, le choix de cette technologie peut être technique ou commercial. Les choix de composant à effectuer sont les suivants :

- Le champ de capteurs plans vitrés ou à tubes sous vide,
- Le ballon tampon ou de stockage chaud,
- La machine à absorption ou à adsorption,
- Le système de rejet de la chaleur.

Outre le champ de capteur, le volume tampon/stockage chaud solaire, la machine à ab/adsorption et son système de refroidissement, les autres composants des installations sont les volumes tampon et de stockage supplémentaires pour l'ECS et le froid et les appoints ; la présence de ces derniers dans les différentes configurations sont précisés dans le tableau ci-dessous.

N°schéma	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
Ballon ECS solaire	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓
Appoint froid	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Appoint chaud	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓

2.1 Les machines à sorption

Il existe deux technologies de machine :

- les machines à Absorption
- les machines à Adsorption

La fiche explicative détaillée « #2 Machines frigorifiques à sorption » du Guide pour la maîtrise d'œuvre (livrable L32 du projet MeGaPICS) présente ces deux technologies, avantages et inconvénients.

Les caractéristiques nominales principales des machines à sorption sont fournies par les fabricants pour un ensemble de conditions de fonctionnement tel que le régime de température au niveau des entrées et sorties de la machine et les débits de chacun de ces circuits. Les données nominales principales sont :

- la puissance frigorifique nominale de la machine (en kW)
- le COP nominal (sans unité)

La liste des machines disponibles dans le commerce et leur caractéristiques sont données en **Annexe 3** de ce document.

Les machines à sorption sont dites « tri-termes » car elles mettent en jeu trois sources d'énergie thermique, en des quantités différentes et à des niveaux de température différents. Les performances des machines varient avec ces températures.

Ces trois sources sont :

Source	Quantité d'énergie [kWh]	Niveau de température	Circuit à connecter à la machine
Chaude	Q6	60 à 98°C	Apport de chaleur solaire
Froide	Q7	-5 à 20°C	Circuit de climatisation
Rejet de chaleur	Q6 + Q7	22 à 35°C	Chaleur à rejeter

Les équipements des 3 circuits connectés à la machine devront par conséquent permettre de fournir, d'évacuer, de transporter, les niveaux de température souhaités, ainsi que la quantité d'énergie nécessaire.

2.2 Le champ de capteurs

Deux grandes familles de technologie de capteurs sont adaptées au fonctionnement avec les machines à sorption ceux sont :

- les capteurs plans « hautes performances » ou « hautes températures »
- les capteurs à tubes sous-vide

▪ Les capteurs plans

Ces capteurs sont des capteurs vitrés, composés d'un coffre, d'isolation, d'une vitre traitée pour optimiser l'absorption du rayonnement solaire et d'un absorbeur en cuivre ou en aluminium sur lequel est soudé un tube (cuivre en général) parcouru par un fluide caloporteur (de l'eau ou un mélange d'eau et d'antigel spécifiquement adapté).

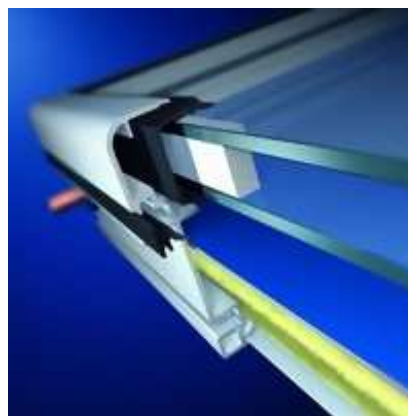


Figure 2 - Exemple de capteurs plan hautes performances : Capteur plan avec film téflon grande surface (marque ARCON – à gauche) et capteur plan avec double-vitrage (marque SCHUCO – à droite)

▪ **Les capteurs à tubes sous vide**

Ces capteurs sont composés d'un tube en verre dans lequel la plaque d'absorbeur et le tube du caloporteur sont glissés. Le tube de caloporteur est raccordé à un collecteur général. Une fois le raccordement et l'étanchéité effectués, le vide est fait dans le tube en verre, ce qui limite les pertes thermiques. Plusieurs variantes technologiques existent visant à apporter plus de flexibilité et de facilité au montage et à l'entretien (tube sous vide avec caloduc : le tube et le collecteur sont dissociables par exemple) ou de meilleures performances (refléc-teur miroir en sous-face des tubes par exemple). Ces capteurs sont à surface utile égale plus cher que les capteurs plans, mais comme ils ont de meilleures performances, il est souvent possible d'en mettre moins.



Figure 3 - Exemple de capteurs à tube sous vide à caloduc (marque SAED-VIESSMANN à droite)

▪ **Rendement des capteurs**

En première approche, les performances des capteurs peuvent être évaluées par le calcul du rendement de captation qui s'exprime de la façon suivante :

$$R_{capt} = \eta_0 - a_1 \times \frac{(T_m - T_{ext})}{Ens_{incl}} - a_2 \times \frac{(T_m - T_{ext})^2}{Ens_{incl}}$$

Avec :		
R_{capt}	[-]	Rendement des capteurs à chaque pas de temps
T_m	[°C]	Température moyenne du fluide dans les capteurs
T_{ext}	[°C]	Température extérieure
Ens_{incl}	[W/m ²]	Rayonnement total incident sur la surface du capteur
η_0	[-]	Facteur optique
a_1	[W/m ² .K]	Coefficient de transmission thermique
a_2	[W/m ² .K ²]	Coefficient de perte du deuxième ordre

L'ensoleillement dans le plan des capteurs s'obtient à partir de la connaissance du lieu (localisation géographique), de l'orientation et de l'inclinaison du champ de capteur.

La performance des capteurs solaires est fonction des quelques caractéristiques constructives mais aussi de l'environnement dans lequel il est implanté. Ainsi, si son implantation permet d'améliorer l'ensoleillement globalement reçu par sa surface de collecte (l'absorbeur), l'énergie calorifique qu'il pourra « capter » et transmettre au fluide caloporteur varie en fonction d'autres facteurs, tels que la température extérieure et la température du fluide qui le parcourt. Ce sont ces 3 éléments qui sont pris en compte dans la norme pour quantifier la performance des capteurs.

Le graphique suivant retrace les performances de 3 types de capteurs au sens de la norme. Il est important de noter que quelque soit la technologie, marque et modèle de capteur, plus la température dans le capteur augmente, moins le rendement de captation est bon. Le choix de la technologie de capteur doit être effectué en fonction de l'usage qui en est fait. Dans la plage de température des installations de rafraîchissement/chauffage solaire (>40°C), à performance égale, plus la température moyenne dans le capteur augmente, plus le prix du capteur est élevé.

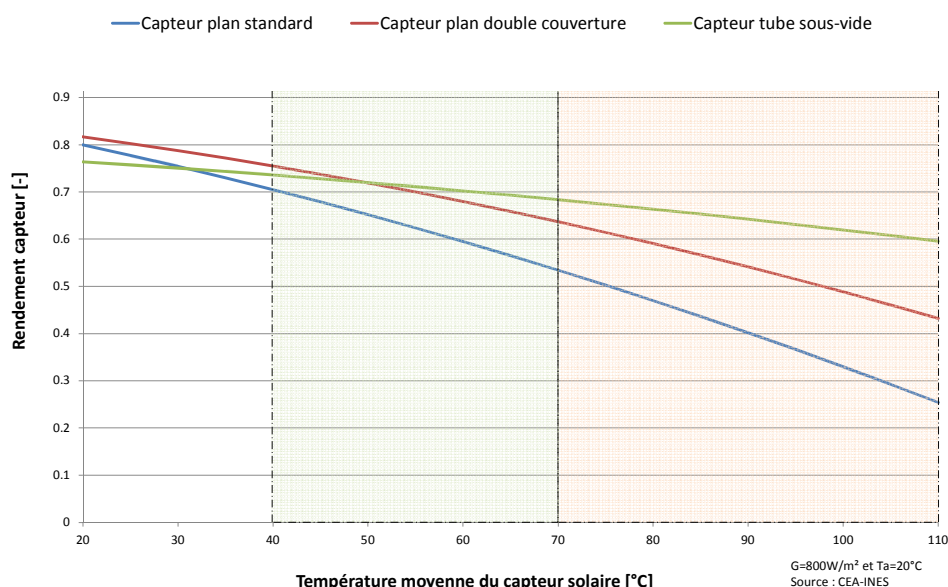


Figure 4 – Profil des rendements de capteurs

Remarque : dans la réalité, l'angle d'incidence du rayonnement solaire, la vitesse du vent ainsi que d'autres paramètres influencent aussi sur le rendement. Dans la phase de pré-dimensionnement, leur impact peut être considérés comme négligeable sur les performances globales annuelles, par rapport à l'influence des caractéristiques nominales, dimensionnelles, des températures de fonctionnement et du rayonnement solaire sur le capteur.

La principale grandeur dimensionnelle qui devra être calculée est fonction des conditions de fonctionnement et des caractéristiques de performance unitaires des capteurs. Il s'agit de la **surface utile (ou surface d'entrée) du champ de capteur**.

2.3 Les systèmes de refroidissement

Il existe de nombreux moyens de refroidir les machines à sorption. Le domaine de température d'utilisation est compris entre 23°C et 35°C pour la plupart des machines. La température de refroidissement impacte de manière importante le fonctionnement de la machine ; la quantité de chaleur à rejeter est égale à la somme de l'énergie frigorifique produite au niveau de la machine (Q7) et de l'énergie calorifique apportée à la machine (Q6), l'unité de refroidissement doit donc être dimensionnée en conséquence. Les différentes technologies adaptées à cette fonction sont :

- Les tours de refroidissement humide ouvertes,
- Les aérorefroidisseurs secs, avec asperseur éventuellement ou média humide,
- Les sondes géothermiques horizontales ou verticales,
- Les échangeurs à eau (rivière, mer, etc...)

Leurs avantages, inconvénients et caractéristiques sont présentées dans la fiche explicative détaillée « **#4 Systèmes de refroidissement** » du **Guide de maîtrise d'œuvre (L32)** Les paramètres qui influencent le plus le choix du matériel et son dimensionnement sont les contraintes météorologiques du site, la localisation (zone urbaine) et la disponibilité de la ressource eau.

Remarque : bien que l'unité de rejet de chaleur soit en règle générale dimensionnée en fonction de la machine à sorption et du climat, elle peut dans certains cas être un critère dimensionnant limitant la puissance de la machine à sorption (échangeur sur eau de rivière ou système existant par exemple).

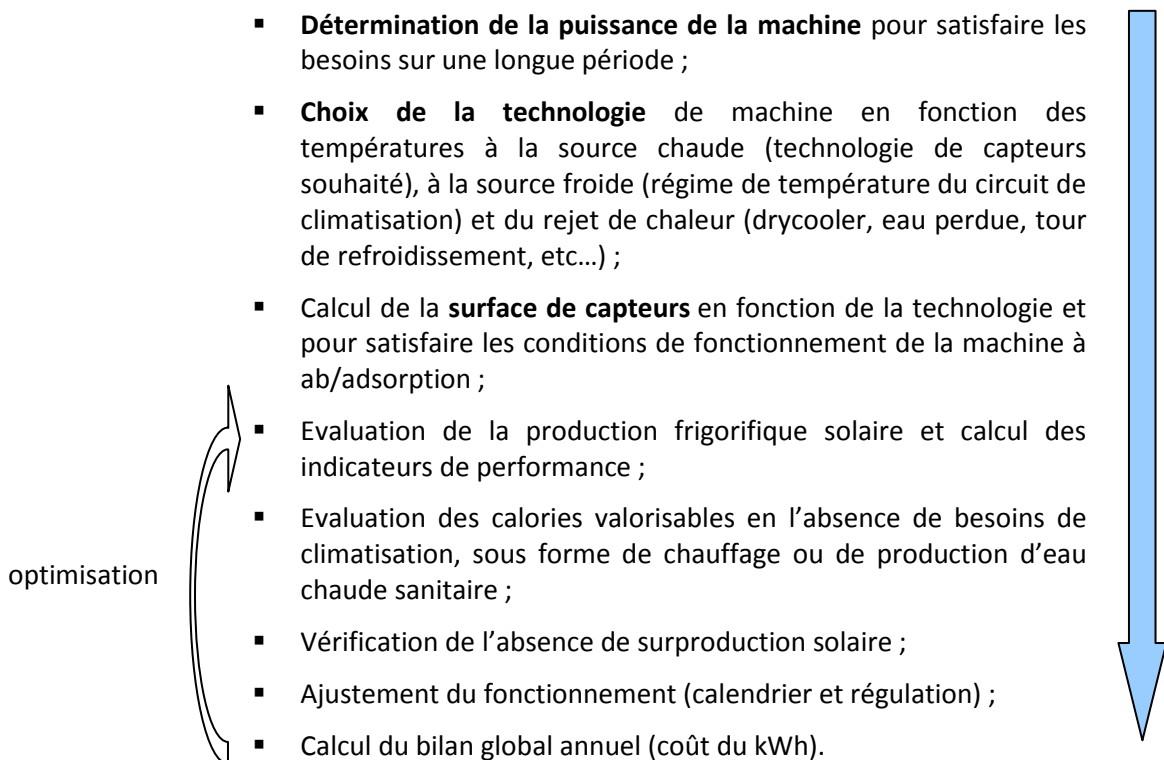
3 PREDIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS

3.1 Processus de prédimensionnement

Le prédimensionnement consiste à déterminer les « dimensions » des principaux composants de l'installation c'est-à-dire :

- la puissance nominale de la machine à sorption, de manière à choisir un modèle de machine disponible dans le commerce qui soit adapté aux besoins,
- la surface de capteurs, pour des capteurs de caractéristiques donnés,
- les volumes des ballons tampon et de stockage.

Le processus de prédimensionnement d'une installation de rafraîchissement solaire, pour une production de frigorie maximale sur l'année et en dehors de toute contrainte dimensionnelle sur l'un ou l'autre des composants est le suivant :



L'optimisation consiste à déterminer la priorité des différents modes, les lois de régulation ou le calendrier, pour lesquelles il est plus judicieux de valoriser l'énergie solaire en calorie ou en frigorie.

Compte-tenu de l'investissement, des économies d'énergies électriques réalisables en été et du fonctionnement des machines à sorption, lorsqu'il existe des besoins la **priorité doit être donnée au mode rafraîchissement/climatisation.**

3.2 Calcul manuel de la puissance de la machine à sorption

Le choix de la machine ab/adsorption est primordial lors de la conception de l'installation car :

- les installations surdimensionnées présentent de moins bonnes performances (tant au niveau solaire que de l'appoint) car la température du circuit eau glacée a tendance à s'abaisser ;
- le fonctionnement à charges partielles peut conduire à des surchauffes et des dysfonctionnements de l'installation solaire, surtout dans le cas où il y a un appoint froid.

Il est donc nécessaire de trouver le point optimal pour lequel la machine fonctionne le plus de temps possible dans son régime de fonctionnement, tout en assurant un service satisfaisant.

Un profil de besoins de climatisation pour un bâtiment de bureau (70% des installations existantes) dans le sud de la France est donné à titre d'illustration ci-dessous. La courbe monotone (besoins dans l'ordre croissant d'occurrence) a aussi été tracée, pour mettre en valeur le fait que les besoins maximum (ici environ 180 kW) n'arrivent que de rare fois dans l'année. Il est donc plus judicieux de mettre en place un système solaire, pour le rafraîchissement, qui permettra d'assurer une couverture des besoins plus basse en puissance mais plus longue en durée.

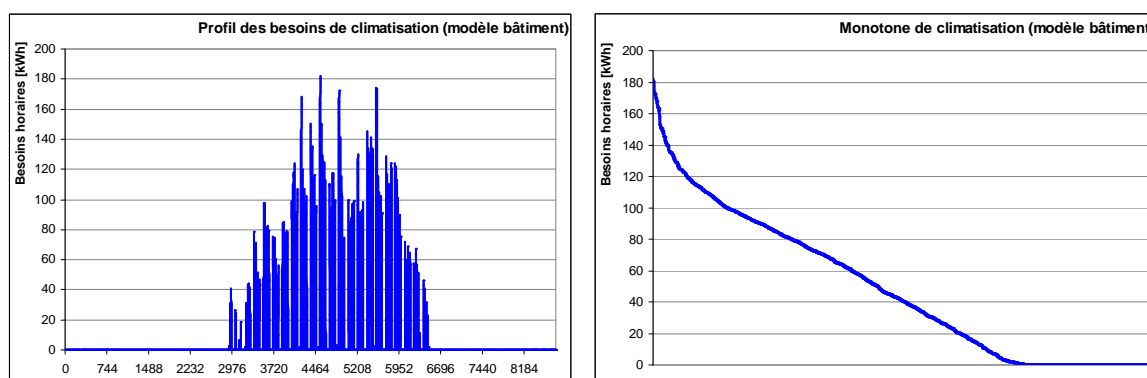


Figure 5 – profil et monotone des besoins de climatisation pour un modèle théorique de bâtiment

La méthode la plus conservatrice consiste à identifier la puissance frigorifique correspondante au moment où se combinent l'ensoleillement le plus élevé et la demande la plus faible. Ce cas de dimensionnement permet de ne pas avoir recours à un stockage (optimum coût/performance). Pour l'exemple donné ci-dessus, le besoin de climatisation correspondant à l'ensoleillement le plus élevé et le plus faible besoin est de 44 kW (soit 24% des besoins maximaux).

Pour un profil standard de bureau en France métropolitaine, la puissance de machine conseillée **ne doit pas dépasser 70% des besoins maximum de climatisation**.

3.3 Calcul manuel de la surface du champ de capteurs

La surface de capteur sera calculée pour satisfaire les besoins en calorie de la machine à sorption à partir des équations suivantes :

$$S_{capt} = \frac{Pn_{totale} \times 1000}{Ens \times COP_n \times R_{capt} \times \eta_{éch} \times \eta_{bc}} \quad \text{avec} \quad R_{capt} = \eta_0 - a_1 \times \frac{(T_m - T_{ext})}{Ens} - a_2 \times \frac{(T_m - T_{ext})^2}{Ens}$$

Avec :	Unité	Définition	Exemple de valeurs
S_{capt}	[m ²]	Surface du champ de capteurs	calculé
Pn	[kW]	Puissance nominale de la machine à sorption	donnée machine
COP_n	[-]	COP nominal de la machine à ab/adsorption	donnée machine
Ens	[W/m ²]	Ensoleillement global horizontal	900 W/m ²
R_{ps}	[-]	Rendement primaire/secondaire solaire	0.90
R_{bc}	[-]	Rendement du ballon chaud	0.90
R_{capt}	[-]	Rendement des capteurs à chaque pas de temps	calculé
T_m	[°C]	Température moyenne du fluide dans les capteurs	85°C
T_{ext}	[°C]	Température extérieure	25°C
η_0	[-]	Facteur optique	donnée capteurs
a_1	[W/m ² .K]	Coefficient de transmission thermique	donnée capteurs
a_2	[W/m ² .K ²]	Coefficient de perte du deuxième ordre	donnée capteurs

Remarque : Le sous-dimensionnement de ce champ conduit à un mauvais fonctionnement de la machine, un surdimensionnement peut conduire à des surchauffes et donc à la dégradation du système dans son ensemble.

3.4 Calcul manuel des volumes de stockage/tampon chaud et froid

Les volumes tampons permettent d'absorber les variations rapides d'apport de chaleur ou de demande en froid ; ils doivent donc être calculés pour stocker l'énergie utile pendant environ 10 minutes.

▪ Ballon chaud

Les retours d'expériences montrent que pour un certain nombre d'entre elles, la machine effectue à son démarrage un appel de puissance. Ce phénomène est illustrés dans les figures suivantes (étude de l'installation « RAFSOL ») : des pics de température (ici en différentiel entrée-sortie) sont visibles.

La mise en place entre le champ de capteur et la machine d'un ballon tampon chaud placé et alimenté correctement permet de compenser cet appel de puissance.

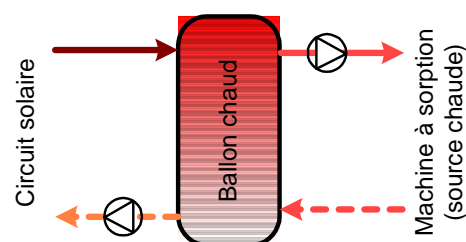


Figure 6 – Raccordement du ballon chaud

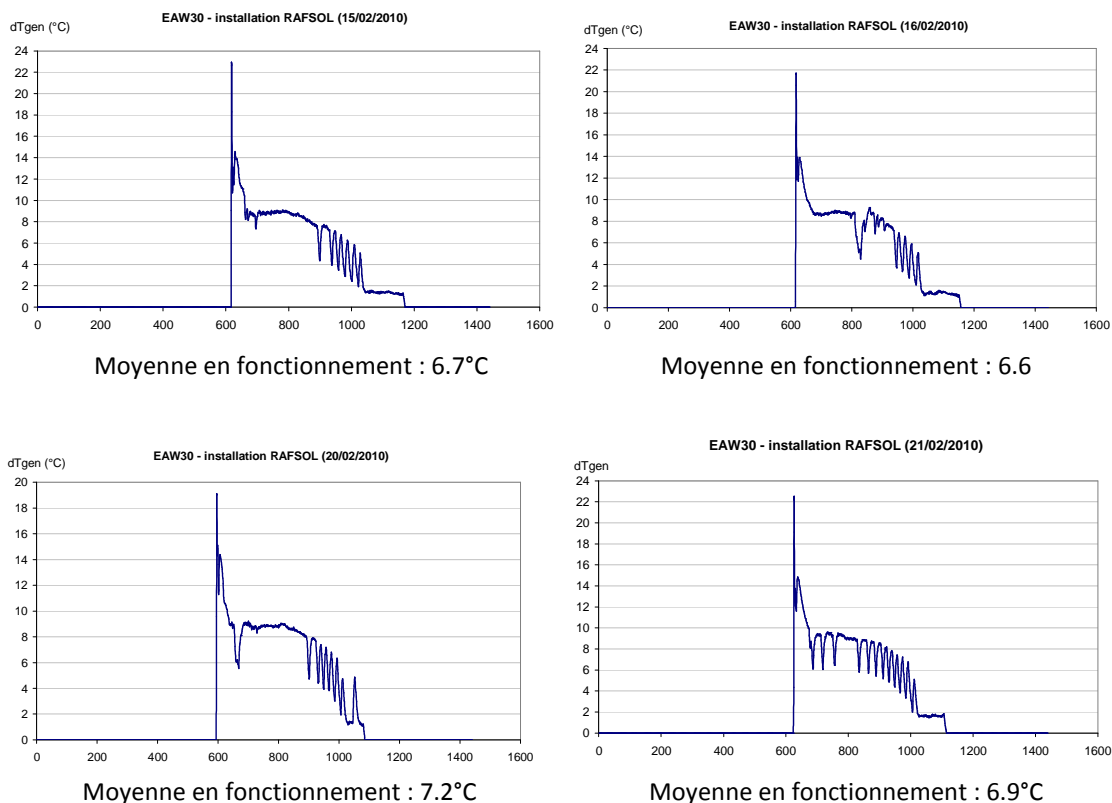


Figure 7 – Différentiel de température au générateur de la machine de l'installation RAFSOL

Le volume tampon chaud peut donc être évalué, en première approche à :

$$V_{st_c} = \frac{P_n}{0.9 \times COP_n} \times \frac{1}{6} \times \frac{1000}{1.163 \times dT_{gen}}$$

Avec :			Valeur
V_{st_c}	[litres]	Volume du ballon tampon chaud	calculée
P_n	[kW]	Puissance nominale de la machine à ab/adsorption	donnée machine
COP_n	[-]	COP nominal de la machine à ab/adsorption	donnée machine
dT_{gen}	[°C]	Différentiel de température au générateur	6.2

En ce qui concerne les coefficients numériques :

1.163 Capacité calorifique volumique de l'eau

1/6 Pour un stockage de 10 minutes

0.9 Dégradation du COP nominal pour prendre en compte les conditions réelles

Remarque : si on avait utilisé la donnée constructeur pour le dT_{gen} , le volume tampon aurait pu n'être pas suffisant dans le cas des EAW, voir dans le cas de la INVENSOR HTC11 car le régime de fonctionnement nominal porte le delta de température entrée/sortie générateur à une valeur élevée (fonctionnement en low flow).

Le prédimensionnement du volume tampon chaud pour quelques machines du commerce avec cette méthode et en utilisant des volumes de ballon disponibles dans le commerce sont les suivants :

Ballon tampon chaud	P_n (kW)	COP_n	P_{gen}	dT_{gen}	V_c (L)	V_{st_c} (L)
YAZAKI WFC-SC5	17.6	0.70	27.9	6.2	645	600
YAZAKI WFC-SC10	35.2	0.70	55.9	6.2	1291	1500
YAZAKI WFC-SC20	70.3	0.70	111.1	6.2	2568	2500
YAZAKI WFC-SC30	105	0.70	167.8	6.2	3878	4000
EAW WEGRACAL SE15	15	0.71	23.5	6.2	543	500
EAW WEGRACAL SE30	30	0.75	44.4	6.2	1027	1000
PINK PC19	18.6	0.62	33.3	6.2	770	800
SORTECH ACS 08	8	0.60	14.8	6.2	342	300
SORTECH ACS 15	15	0.60	27.8	6.2	642	750
INVENSOR HTC11	11	0.53	23.1	6.2	533	500
INVENSOR LTC09	9	0.61	16.4	6.2	379	400

▪ **Ballon tampon froid**

Le volume tampon froid est calculé avec la même méthode, pour stocker environ 10 minutes d'énergie. Il permet également de limiter l'amplitude des variations de température. La formule de calcul est la suivante :

$$V_{st_f} = P_n \times \frac{1}{6} \times \frac{1000}{1.163 \times dT_{eau\ glacée}}$$

Avec :

V_{st_f}	[litres]	Volume du ballon stockage froid
P_n	[kW]	Puissance nominale de la machine à ab/adsorption
$dT_{eau\ glacée}$	[°C]	Différentiel de température eau glacée

En ce qui concerne les coefficients numériques :

1.163	Capacité calorifique volumique de l'eau
1/6	Pour un stockage de 10 minutes

Le différentiel de température sera prise constant et égal au delta T d'eau glacée sur la distribution. Les régimes de température conventionnels sont les suivants :

- 7/12°C → $dT_{eg} = 5^\circ\text{C}$
- 9/14°C → $dT_{eg} = 5^\circ\text{C}$
- 11/17°C → $dT_{eg} = 6^\circ\text{C}$

Les résultats pour différentes machines, sont les suivants pour un $dT_{\text{eau glacée}}$ de 5°C et pour des ballons dont les volumes sont disponibles dans le commerce sont :

Ballon tampon froid	P_n (kW)	V (L)	V_{stf} (L)
YAZAKI WFC-SC5	17.6	504	500
YAZAKI WFC-SC10	35.2	1009	1000
YAZAKI WFC-SC20	70.3	2015	2000
YAZAKI WFC-SC30	105	3009	3000
EAW WEGRACAL SE15	15	430	400
EAW WEGRACAL SE30	30	860	800
PINK PC19	18.6	533	500
SORTECH ACS 08	8	229	200
SORTECH ACS 15	15	430	400
INVENSOR HTC11	11	315	300
INVENSOR LTC09	9	258	300

3.5 Evaluation du productible solaire et des performances

Les paragraphes précédents ont montrés que le premier prédimensionnement d'une installation utilisée en rafraîchissement solaire s'effectue sur la base des besoins en froid. Une fois les composants choisis, il faut avoir recours à un logiciel de calcul permettant d'évaluer les performances potentielles d'une telle installation.

L'outil utilisé pour la simulation devra rendre possible, pour un schéma de principe simple et pour des charges de climatisation, de chauffage et des besoins d'eau chaude sanitaire (si nécessaire) couplées aux données météorologiques correspondantes l'évaluation de :

- différentes tailles de composants,
- différentes stratégies d'utilisation de la chaleur solaire tant au niveau de l'usage complémentaire (utilisation en chauffage et/ou en production d'eau chaude sanitaire) que de la période.

Les outils qui permettent aujourd'hui ces simulations sont [source : livrable MeGaPICS L11] :

	Bâtiment	Solaire thermique *	Climatisation solaire **
TRNSYS 16	✓	✓	✓
EnergyPlus	✓	✓	✓
SPARK	(✓)	✓	✓
INSEL	X✓	✓	✓
PolySun	✗	✓	✓
TRANSOL	✗	✓	✓
SOLO	✗	✓ (ECS seule)	✗
SHC-NEGST	✗	✗	✓ (en anglais)
ODIRSOL	✗	✗	✓ (plus distribué)
PISTACHE	✗	✓	✓

* Le terme solaire thermique regroupe la production d'eau chaude sanitaire solaire et le chauffage.

** Tous les logiciels de simulation d'installations de climatisations solaires prennent en compte le fonctionnement saisonnier été/hiver.

On peut noter que le projet MeGaPICS a permis la mise à disposition gratuite du **logiciel PISTACHE**, qui permet le prédimensionnement et la prévision des performances des installations de climatisation / chauffage solaire. L'**Annexe 4** présente le logiciel et comment se le procurer.

Les résultats de la simulation qui permettront de conclure sur la pertinence du dimensionnement sont :

- les bilans mensuels et annuels d'énergie
- les indicateurs de performances et de qualités tels que définit dans **Guide pour le télécontrôle** (livrable L33 du projet MeGaPICS) des installations de rafraîchissement solaires (voir site internet de SOCOL <http://www.solaire-collectif.fr>)

L'utilisation d'un tableau récapitulatif permet de visualiser les résultats de bilan et les indicateurs de performances (voir figure suivantes). Ces tableaux sont disponibles sur le site de SOCOL.



OUTIL DE TRAITEMENT DES DONNEES DE SUIVI DES INSTALLATIONS DE CLIMATISATION/CHAUFFAGE/PRODUCTION D'EC'S

Cet outil a été en partie financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du programme Habitat intelligent et solaire photovoltaïque (projet MEGAPICS n°ANR-09-HA-EISOL-007)...

[Version 13 du 13/02/2013]

1. INFORMATIONS ET REPRESENTATION SCHEMATIQUE

1.1. Informations générales sur l'installation

Nom de l'installation
Responsable
Société
Ville
Pays
Contact

France

1.2. Informations sur l'exploitation des données

Date d'exploitation des données
Exploitation des données réalisée par
Société
Ville
Contact

1.4. Caractéristiques de l'installation

Schema d'installation
Type d'installation (Collectif : 1 | SSC+ : 2)

Captteurs solaires
Surface d'entrée des capteurs solaires
Stockage chaud
Volume total de stockage chaud
Stockage froid
Volume total de stockage froid
Appoint chaud
Existant (L : oui | 0 : non)
Rendement de génération App. Chaud
Coeff. de conversion en énergie primaire
PCS/PCI (gaz : 1.11 | fioul : 1.07 | autre : 1)
Appoint froid
Existant (L : oui | 0 : non)
Rendement de génération App. Froid
Position de l'App. Froid (L : ligne | 0 : stock)
Coeff. de conversion en énergie primaire
Tarifs énergétiques
Coût du kWh électrique
Coût du kWh de l'énergie de l'appoint chaud
Coût du kWh de l'énergie de l'appoint froid
Coût du m3 d'eau

1.3. Schéma type de l'installation

Schema de type Collectif

1.5. Paramètres pour l'analyse des performances

Analyse des données
Nbre de mois de données
Nbre de mois de climatisation
Stockages chaud & froid
Nombre de stockage chaud
Température ambiante
Nombre de stockage froid
Machine à sorption
COP thermique nominal
Captteurs solaire
a0
a1
a2
T. ext. moyenne annuelle

10 //
4 //
1 //
20 //
0 //
0.7 //
0.799 //
2.9 //
0.001 //
1 //
1 //
1 //
1 //

1.6. Description de l'installation

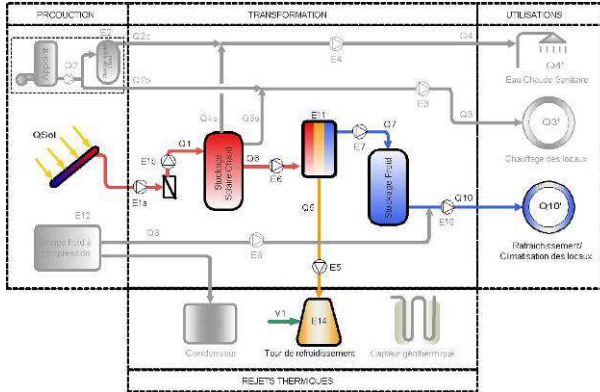
ANALYSE DES PERFORMANCES

	Valeurs	Seuils	Analyse
Indicateurs d'efficacité thermiques			
n stock chaud [-]	1.27	0.95	132.5
n stock froid [-]	1.00	1.00	100.0
COPth [-]	0.60	0.56	107.4
Indicateurs de performance globaux			
PER [-]	7.4	1.0	200.0
Indicateurs de performance solaire			
PSU [kWh/m²]	399.5	291.7	137.0
R sol [-]	0.29	0.19	150.5
R capt [-]	0.23	0.43	47.3
COP élec sol [-]	20.3	5.0	200.0
Indicateur d'impact écologique			
CE spé [t/kWh]	0.1	7.2	198.7
Indicateur économique			
Coût kWh [€/kWh]	0.0005	0.079	191.9
Indicateur de confort			
I confort [%]	0.0	90.0	0.0
Indicateur de bon fonctionnement			
I fct [%]	62.7	90.0	69.7
I données [%]	38.6	10.0	0.0

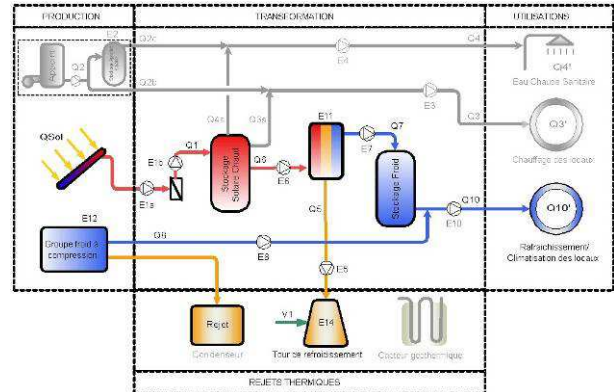
2. SUIVI DE L'INSTALLATION	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	Global	
2.1. Type de fonctionnement														
Nom du mois et de l'année (nom-"/AA)	[-]												0	
Mode de fonctionnement de l'installation (L : froid, 2 : chaud, 3 : mixte)	[-]												3	
2.2. Energie Solaire														
Irradiation totale sur la surface d'entrée des capteurs Qsol	[kWh]	1991.3	2372.4	3563.3	4222.6	4916.2	5314.6	5894.3	5785.1	3675.4	3086.6	2008.7	1881.4	445 499
2.3. Energies thermiques														
Energie thermique calorifique solaire fournie au st O1	[kWh]	5823.8	6648.7	10663.1	12571.0	14292.8	20116.3	24726.1	24583.5	19917.7	9796.6	6161.4	5523.2	154 814
Energie thermique calorifique totale fournie par l' O2a	[kWh]													0
Energie thermique calorifique d'appoint fournie au O2b	[kWh]													0
Energie thermique calorifique solaire fournie par l' O3	[kWh]	3004.1	2123.1	24794.2	19151.9	19708.0	22474.6	24357.5	24230.2	24107.1	23340.1	24374.6	29844.8	287 631
Energie thermique calorifique totale fournie par l' O3	[kWh]													0
Besoins en chauffage O3'	[kWh]													0
Energie thermique calorifique solaire fournie pour l' O4	[kWh]	5528.6	6063.1	9290.5	10372.3	12074.8	4537.4	4914.5	5249.3	3097.1	889.1	5917.6	5281.6	81 192
Energie thermique fournie pour l'eau chaude sanit O4	[kWh]	35642.7	27302.2	34084.7	29524.2	31782.8	27012.0	28272.0	28480.2	27204.2	32199.2	30292.2	35126.4	368 823
Besoins en ECS O4'	[kWh]	35642.7	27302.2	34084.7	29524.2	31782.8	27012.0	28272.0	28480.2	27204.2	32199.2	30292.2	35126.4	368 823
Energie thermique calorifique rejetée par la machi O5	[kWh]													0
Energie thermique calorifique fournie à la machi O6	[kWh]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15288.4	19475.9	19043.3	10626.8	0.0	0.0	0.0	64 443
Energie thermique frigorifique fournie par l'évapor O7	[kWh]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8444.5	10086.8	10136.4	5984.0	0.0	0.0	0.0	34 632
Energie thermique frigorifique fournie par l'appoint O8	[kWh]													0
Energie thermique frigorifique fournie au bâtiment O10	[kWh]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8444.5	10086.8	10136.4	5984.0	0.0	0.0	0.0	34 632
Besoins en climatisation O10'	[kWh]	0.9	3.8	6765.9	36528.0	65847.5	66452.3	155884.0	120791.0	67185.4	3306.8	0.0	0.0	525 745
2.4. Energies électriques														
Consommation électrique de la pompe primaire sc E1a	[kWh]	261.5	279.1	367.2	405.1	499.9	1768.1	2095.4	1970.9	1257.4	395.0	281.8	265.5	9 767
Consommation électrique de la pompe secondaire E1b	[kWh]													0
Consommation électrique auxiliaire de l'appoint d E2	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe de distribu E3	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe primaire de E4a	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe secondaire E4b	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe absorbeur/ E5	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe générateur E6	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe évaporateur E7	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe de l'appoint E8	[kWh]													0
Consommation électrique de la pompe de distribu E10	[kWh]													0
Consommation électrique de la machine à sorption E11	[kWh]													0
Energie électrique de production de l'appoint frigo E12	[kWh]													0
Consommation électrique du ventilateur de la tour E14	[kWh]													0
2.5. Eau														
Consommation en eau du système de refroidissement V1	[litres]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8232	2883.4	646.0	303.0	0.0	0.0	0.0	4 756

ANNEXE 1 – SCHEMA DE PRINCIPE DES CONFIGURATIONS

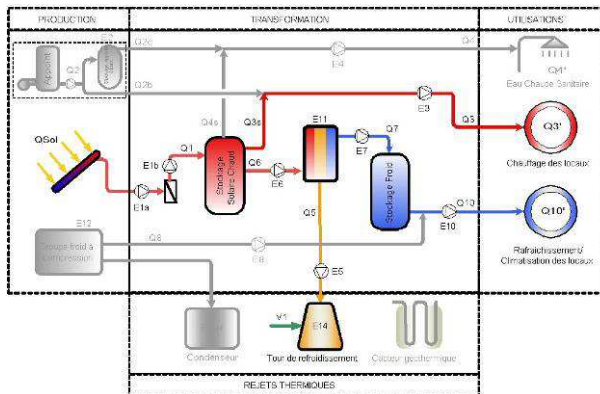
A1



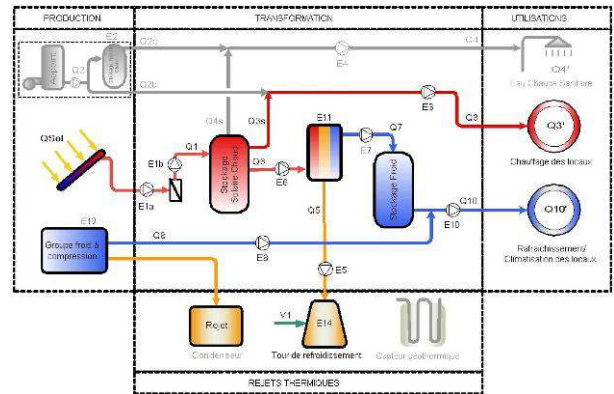
B1



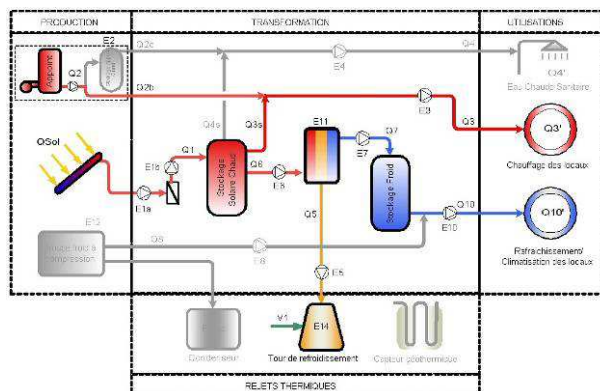
A2



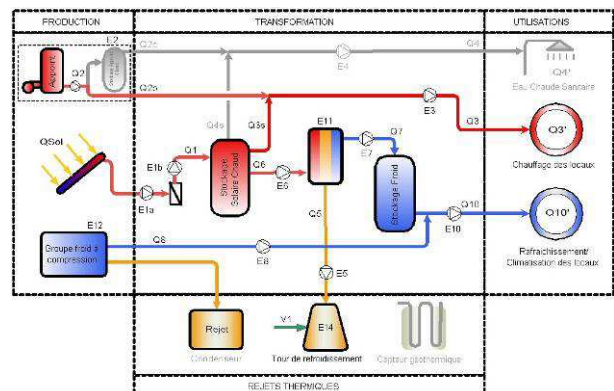
B2



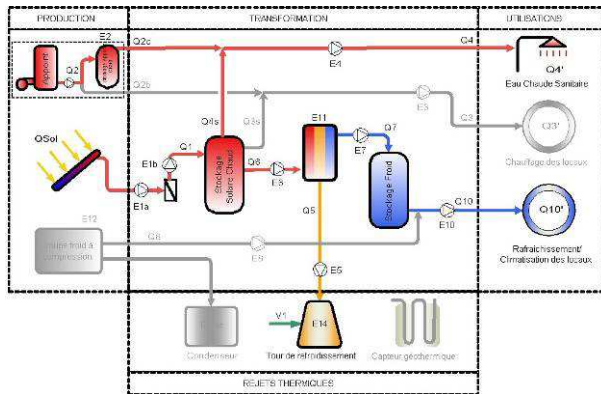
A3



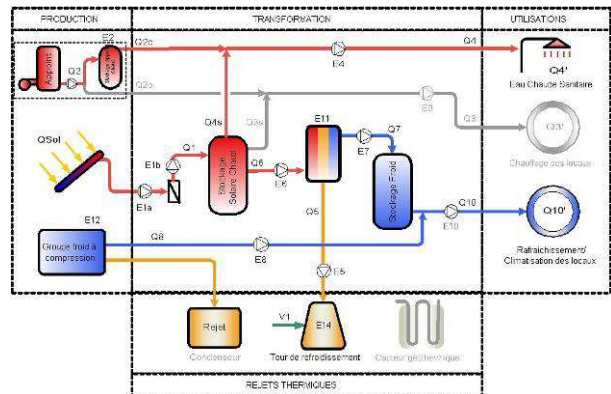
B3



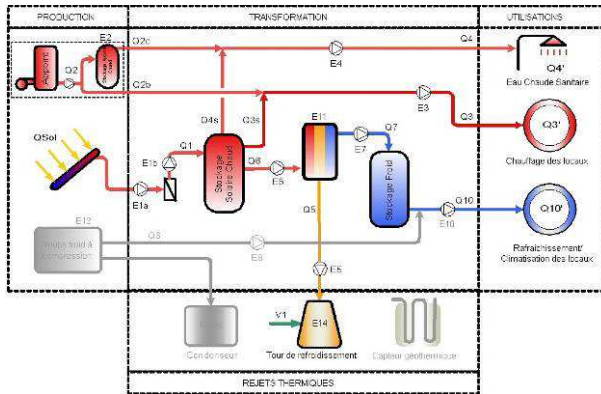
A4



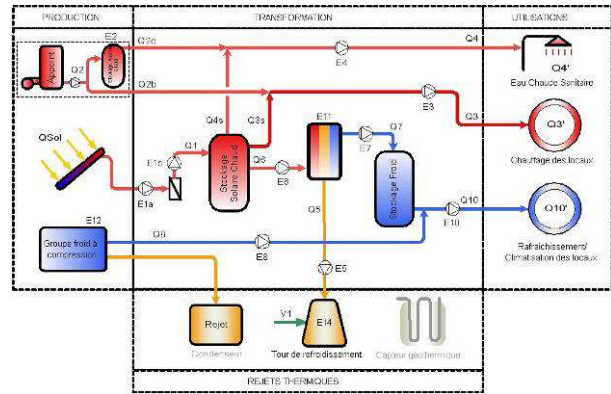
B4



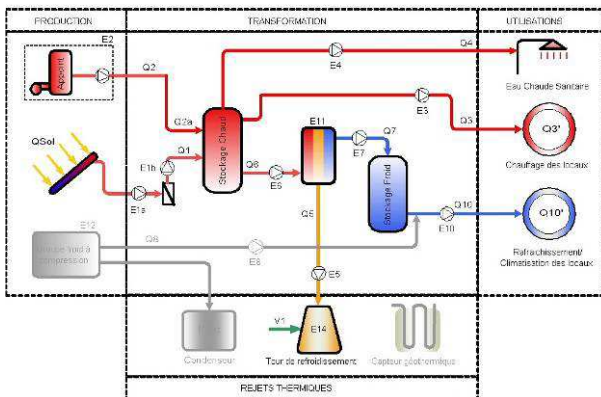
A5



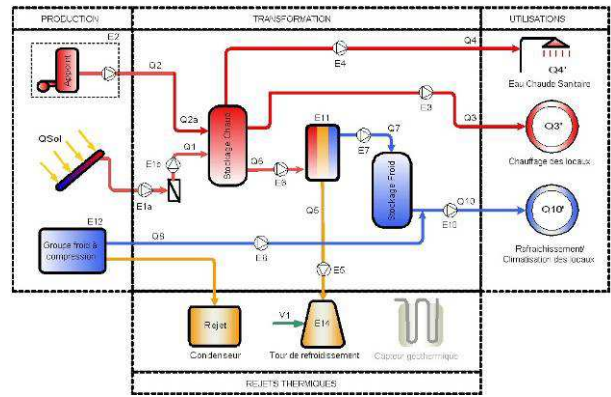
B5



C



D



ANNEXE 2 – NOMENCLATURE DES ENERGIES PRESENTEES SUR LES SCHEMAS DE PRINCIPE

Energies thermiques

Nom.	Signification	Unité
Qsol	Irradiation totale sur la surface d'entrée des capteurs	kWh
Q1	Energie calorifique <u>solaire</u> fournie au stockage chaud	kWh
Q1lost	Energie calorifique <u>solaire</u> perdue (non valorisée)	kWh
Q2	Energie calorifique <u>totale</u> fournie par l'appoint chaud	kWh
Q2a	Energie calorifique <u>d'appoint</u> fournie au stockage chaud pour le chauffage et l'ECS	kWh
Q2b	Energie calorifique <u>d'appoint</u> fournie au bâtiment pour le chauffage dans les configurations « collectif »	kWh
Q2c	Energie calorifique <u>d'appoint</u> pour la production ECS dans les configurations « collectif »	kWh
Qstc	Energie calorifique stockée dans le volume de stockage chaud	kWh
Q3	Energie calorifique <u>totale</u> fournie au bâtiment pour le chauffage	kWh
Q3s	Energie calorifique <u>solaire</u> fournie pour le chauffage	kWh
Qstecs	Energie calorifique <u>solaire</u> stockée dans le volume stockage solaire ECS	kWh
Q4	Energie calorifique <u>totale</u> utile pour la production d'ECS (hors pertes de bouclage)	kWh
Q4s	Energie calorifique <u>solaire</u> pour le préchauffage d'ECS	kWh
Q6	Energie calorifique fournie à la machine à ab/adsorption	kWh
Q7	Energie frigorifique fournie par l'évaporateur de la machine à ab/adsorption	kWh
Q8	Energie frigorifique fournie par l'appoint froid	kWh
Qstf	Energie frigorifique stockée dans le volume stockage froid	kWh
Q10	Energie frigorifique <u>totale</u> fournie au bâtiment	kWh

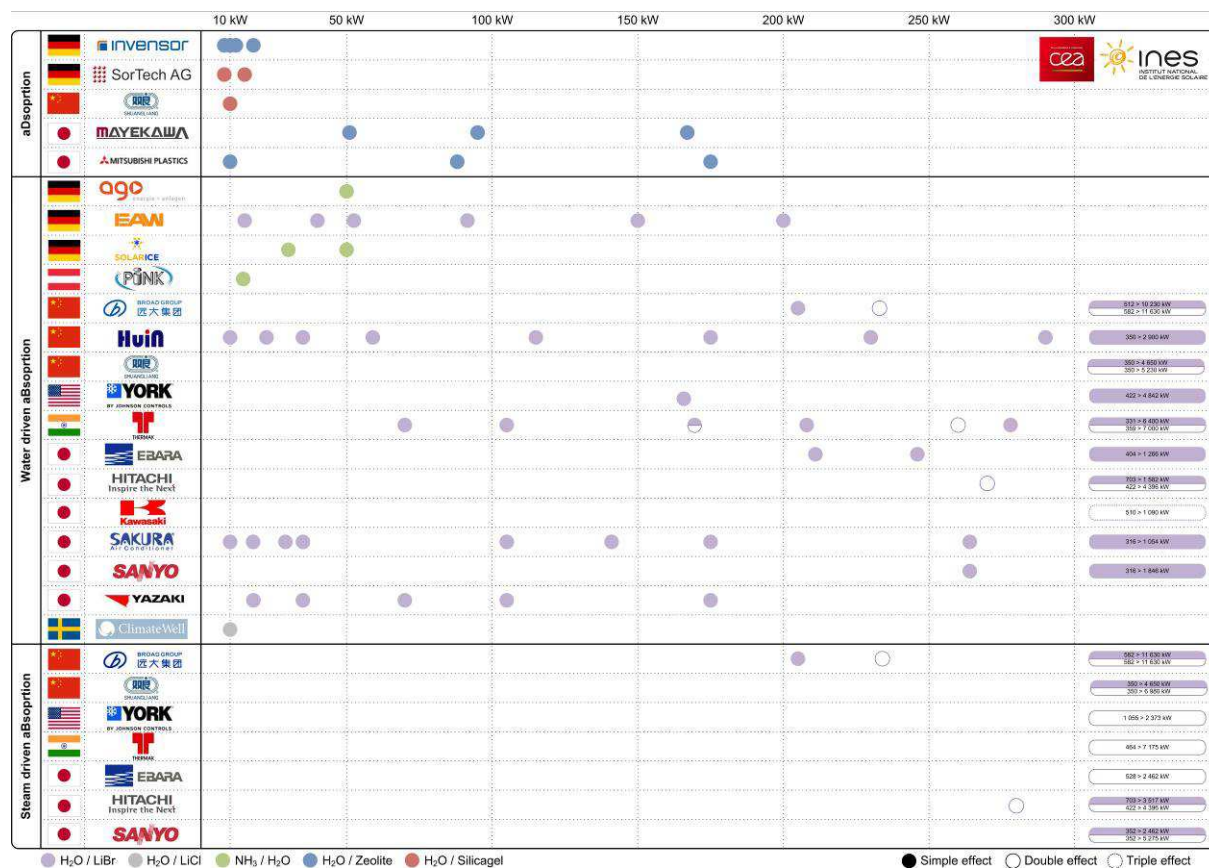
Consommation des auxiliaires

Nom.	Signification	Unité
V1	Consommation en eau du système de refroidissement	m ³
E1	Consommation électrique des pompes solaires (primaire & secondaire)	kWh
E2	Consommation électrique auxiliaire de l'appoint chaud	kWh
E3	Consommation électrique de la pompe de distribution de chauffage	kWh
E4	Consommation électrique de la pompe secondaire de distribution d'ECS	kWh
E5	Consommation électrique de la pompe absorbeur/condenseur	kWh
E6	Consommation électrique de la pompe générateur	kWh
E7	Consommation électrique de la pompe évaporateur	kWh
E8	Consommation électrique de la pompe de l'appoint frigorifique	kWh
E10	Consommation électrique de la pompe de distribution d'eau glacée	kWh
E11	Consommation électrique de la machine à sorption	kWh
E14	Consommation électrique du ventilateur de la tour de refroidissement	kWh

ANNEXE 3 – LISTE ET CARACTERISTIQUES DES MACHINES A SORPTION DIPONIBLES DANS LE COMMERCE

Les informations suivantes sont issues d'un sourcing réalisés notamment dans le cadre de la Tâche 48 de l'Agence Internationale de l'Energie (programme Solar Heating and Cooling) à partir des informations disponibles sur le site des fabricants ou fournies par ceux-ci. Bien que ces informations semblent complètes, l'exhaustivité ne peut être garantie.

■ Aperçu du marché des machines à absorption et à adsoption en juillet 2012



▪ **Caractéristiques nominales des machines (données constructeurs des machines à absorption de puissances frigorifiques inférieures à 200 kW**

Le tableau suivant présente les caractéristiques principales (COPth nominaux, puissances frigorifiques, nombre d'effet, fluide d'alimentation au générateur) des machines à absorption commercialisées de puissances inférieures à 200 kW frigorifiques.

Pays	Fabricants	Modèles	Techno- logie	Couple	Nbr d'effet	Fluide moteur	Pn [kW]	COP _n
Allemagne	Ago	Congelo 50	aB	NH ₃ /H ₂ O	1	Eau	50.0	0.61
Allemagne	Eaw	Wegracal SE 15	aB	H ₂ O/LiBr	1	Eau	15.0	0.71
		Wegracal SE 30					30.0	0.75
		Wegracal SE 50					54.0	0.75
		Wegracal SE 80					83.0	0.75
		Wegracal SE 150					150.0	0.75
		Wegracal SE 200					200.0	0.75
Allemagne	Invensor	LTC 09	aD	H ₂ O/Zéolithe	-	Eau	9.0	0.61
		LTC 10 plus					10.0	0.60
		HTC 11					11.0	0.53
		HTC 18 plus					18.0	0.52
Allemagne	Tranter Solarice	XS 50	aB	NH ₃ /H ₂ O	1	Eau	50.0	0.60
		XS 30					30.0	0.50
Allemagne	Sortech	ACS 08	aD	H ₂ O/Silica Gel	-	Eau	8.0	0.60
		ACS 15					15.0	0.60
Autriche	Pink	PC19	aB	NH ₃ /H ₂ O	1	Eau	19.0	0.63
Chine	Jiangsu Huineng	RXZ-11	aB	H ₂ O/LiBr	1	Eau	10.0	0.70
		RXZ-23					23.0	0.70
		RXZ-35					35.0	0.70
		RXZ-58					58.0	0.70
		RXZ-115					115.0	0.70
		RXZ-175					175.0	0.70
Chine	Shuangliang	SWAC-10	aD	H ₂ O/Silica Gel	-	Eau	10	0.39
Inde	Thermax	LT 2	aB	H ₂ O/LiBr	1	Eau	70.0	0.78
		LT 3					105.0	0.78
		LT 5			171.0		0.78	
		HD 10A CU			2		169.0	1.40
Japon	Mayekawa Mycom	ADR-Z3515	aD	H ₂ O/Zéolithe	-	Eau	92.0	0.46
		ADR-Z3525					184.0	0.46
Japon	Mitsubishi Plastics	AHP10	aD	H ₂ O/Zéolithe	-	Eau	10.0	0.45
		AQSOA-Z3515					88.0	
		AQSOA-Z3525					175.0	
Japon	Sakura	SHL003	aB	H ₂ O/LiBr	1	Eau	10.5	0.72
		SHL005					17.6	0.71
		SHL008					28.1	0.72
		SHL010					35.2	0.71
		SHL030					105.0	0.80
		SHL040					141.0	0.80
Japon	Yazaki	SHL050	aB	H ₂ O/LiBr	1	Eau	176.0	0.80
		WFC SC 5					17.6	0.70
		WFC SC 10					35.2	0.70
		WFC SC 20					70.3	0.70
		WFC SC 30					105.6	0.70
	WFC SC 50	175.8	0.70					
Suède	Climatewell	CW 10	aB	H ₂ O/LiCl	1	Eau	10	0.68

aB = absorption / aD = adsorption

Pn : puissance frigorifique nominale

COP_n : coefficient de performance nominal

ANNEXE 4 – LOGICIEL PISTACHE



Le logiciel PISTACHE est un outil de prédimensionnement et de prévision des performances des installations solaires de rafraîchissement ou climatisation et de chauffage, production d'eau chaude sanitaire avec ou sans systèmes d'appoint d'énergie.

Pour utiliser PISTACHE, des données horaires annuelles météorologiques du site concerné et des charges de climatisation, de chauffage et de la demande en eau chaude sanitaire utiles sont nécessaires. Ces données devront être fournis dans un fichier texte avec une mise en forme spécifique ; le format est précisé dans l'aide pas-à-pas du logiciel.

PISTACHE est mis à disposition gratuitement. Il a été développé par TECSOL et le CEA à l'INES dans le cadre du projet MeGaPICS, en partie financé l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du programme HABISOL. Il est disponible en version française et en anglais.

Se procurer le logiciel : <http://www.tecsol.fr/pistache/>

Support par mail : pistache@tecsol.fr

