

# GUIDE POUR LA MISE EN ŒUVRE DU TELECONTROLE



Mai 2013

Ce guide de mise en œuvre du télécontrôle s'adresse aux maîtres d'ouvrage, bureaux d'études et concepteurs, utilisateurs et exploitants, entreprises d'installation et de maintenance des installations solaires de rafraîchissement et climatisation avec valorisation de l'énergie calorifique en chauffage solaire et/ou production d'eau chaude sanitaire.

Il fournit une liste de mesures à effectuer, du matériel à utiliser, des vérifications à faire et des bonnes pratiques concernant le télé-contrôle de ce type d'installation.

## LE PROJET MEGAPICS

---

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.

Les systèmes solaires thermiques basse température couplés à des machines à sorption constituent aujourd'hui une réponse technique pertinente à la demande en frigories des bâtiments. 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 propose de développer une **Méthode pour Garantir les Performances des Installations de Climatisation / Chauffage Solaire**. Il 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-HABISOL-007).

Le projet MEGAPICS est coordonné par TECSOL, et regroupe au sein d'un consortium les partenaires suivants : Le CEA à l'INES, EDF R&D, ENERPLAN, GDF SUEZ, PIMENT (ex LPBS, Université de la Réunion).



# Guide pour la mise en œuvre du télécontrôle

## Table des matières

<b>LE PROJET MEGAPICS .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>1. SCHEMA DE PRINCIPE.....</b>	<b>5</b>
<b>2. GRANDEUR A EVALUER POUR LE TELESUIVI .....</b>	<b>7</b>
♣ Energie solaire .....	7
♣ Energies thermiques.....	7
♣ Energies électriques .....	8
♣ Eau.....	9
<b>3. COMMENT MESURER ? .....</b>	<b>10</b>
♣ Energie solaire .....	10
♣ Energies thermiques.....	10
♣ Energie électriques .....	10
♣ Eau.....	11
♣ Télécontrôleur .....	11
<b>4. CONTROLE DES DONNEES JOURNALIERES .....</b>	<b>12</b>
♣ Pré requis : le tableau de bord de l'installation .....	12
♣ 1ère étape : calcul des indicateurs journaliers.....	12
♣ 2ème étape : mise en forme des données journalières.....	13
En mode rafraîchissement / climatisation : .....	13
En mode chauffage :.....	14
En mode production ECS : .....	14
♣ 3ème étape : alarmes et analyse du fonctionnement .....	15
Rappels.....	15
Mise en place d'alarmes automatiques .....	15
Vérification à distance et à l'instant "t" du bon fonctionnement de la journée en cours.....	16
Vérification du bon fonctionnement de la journée passée .....	17
Vérification du bon fonctionnement in-situ.....	17
<b>5. BILANS MENSUELS ET ANNUELS .....</b>	<b>18</b>
♣ Calcul des indicateurs de performance.....	18

---

♣	Seuils des indicateurs de performance et de qualité .....	19
♣	Vérification des performances globales .....	20
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>23</b>
<b>8.</b>	<b>TABLES DES ANNEXES</b> .....	<b>25</b>
	Annexe 1 : Représentation graphique de différentes configurations.....	26
	Annexe 2 : Préconisation pour l'implantation des matériels de mesure .....	28
	Annexe 2a : Sondes d'ensoleillement .....	28
	Annexe 2b : compteurs d'énergie thermique .....	29
	Annexe 2c : Mesureurs de volume (eau froide) ou débit (eau chaude) .....	33
	Annexe 2d : compteurs d'énergie électrique .....	37
	Annexe 2e : Implantation des sondes de température .....	38
	Annexe 3 : Préconisations pour les télécontrôleurs .....	41
	Annexe 4 : protocoles et standards de communication .....	43
	Annexe 5 : modèle de tableau de bord de l'installation.....	44
	Annexe 6 : définitions et formules de calcul des indicateurs de performance et de qualité .....	50
	Annexe 7 : Définition et formule de calcul des seuils des indicateurs.....	55
	Annexe 8 : Valeurs des rendements de génération calorifique et des efficacités de génération frigorifique.....	60
	Annexe 9 : Liste des machines à ab/adsorption commercialisée .....	64

## INTRODUCTION

L'utilisation des énergies renouvelables dans les bâtiments est un challenge très important à remporter pour diminuer les consommations en énergie primaire. Au sud de l'Europe, la plupart des bâtiments, en particulier ceux du secteur tertiaire, ont besoin d'un moyen de climatisation actif pour assurer un niveau de confort estival acceptable ; l'utilisation de l'énergie solaire pour cette application peut-être un moyen de réduire les consommations en énergie fossile. Les technologies de climatisation solaire existent et ont déjà prouvé leur efficacité sur des installations de démonstration.

**Le télécontrôle est indispensable au bon fonctionnement des installations solaires** ; en effet, la plus part des installations sont secourues par un appoint et leur dysfonctionnement sont masquées par eux. Le télécontrôle intervient **en complément de l'entretien/maintenance** des installations ; il permet non seulement de **quantifier les performances globales** de l'installation surveillée, mais également de **détecter les baisses de performances** engendrées par des problèmes sur l'installation.

La mise en œuvre des instruments utiles au télécontrôle doit être de qualité, permettant d'atteindre les objectifs de qualification des performances de l'installation, tout en maintenant un coût acceptable pour le maître d'ouvrage.

**Ce document a pour objectif de définir :**

- **les grandeurs et indicateurs permettant de qualifier la performance des installations et la méthode d'analyse de leurs valeurs ;**
- **la sélection et la mise en œuvre des équipements nécessaire à ces mesures ;**
- **la nature et le format des données de suivi à réaliser et sauvegarder ;**
- **des notions de base pour l'analyse du fonctionnement des installations de climatisation / chauffage solaire, et la détection des dysfonctionnements.**

## 1. SCHEMA DE PRINCIPE

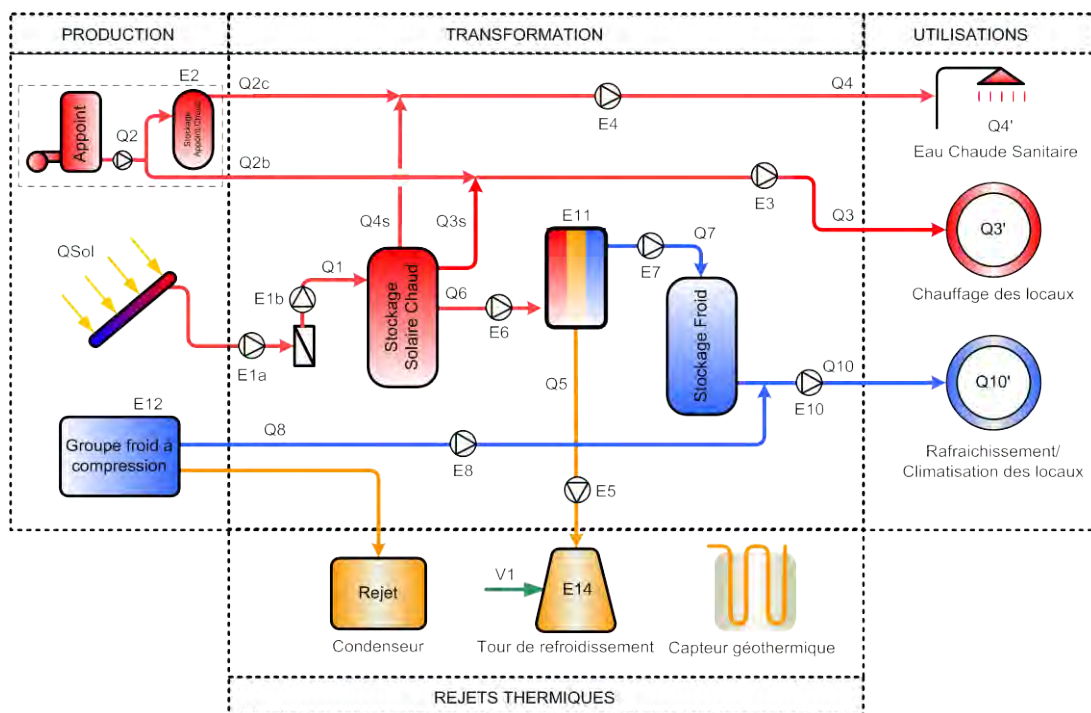
Dans l'ensemble de ce document, **deux architectures de systèmes** seront considérées, afin de prendre en compte les différentes configurations de système :

- **les installations de type collectif**, dimensionnées et réalisées sur-mesure pour une application donnée ;
- **les installations de type SSC+** (Système Solaire Combiné +), à priori plus compactes et réservées aux installations de petites puissances.

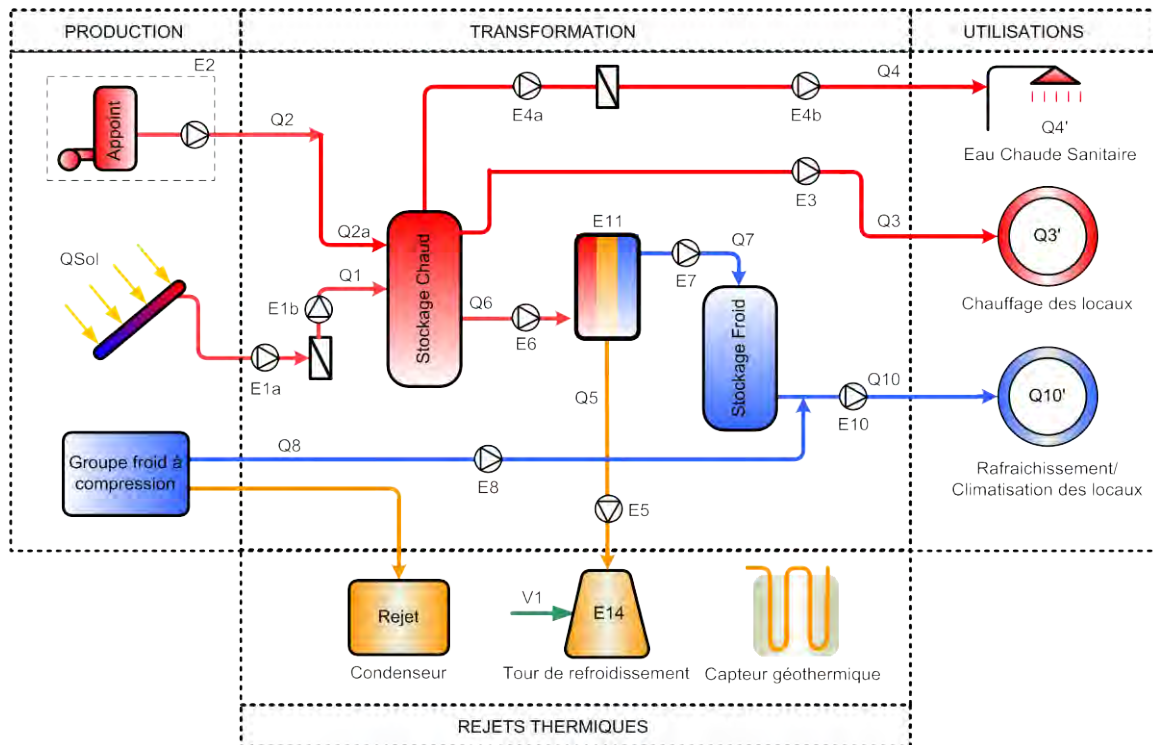
Une représentation graphique commune permettant d'identifier les flux d'énergie à mesurer est ici proposée. Cette représentation graphique permet la distinction entre :

- les équipements de production d'énergie : champ de capteur solaire, appoints chaud et froid ;
- les équipements de transfert et de transformation de l'énergie : stockages chaud et froid, auxiliaires, échangeurs, canalisations, etc. ;
- les systèmes de rejets de chaleur : condenseur de l'appoint froid, tour de refroidissement, capteurs géothermiques horizontaux ou verticaux ;
- les utilisations : production d'Eau Chaude Sanitaire, de chauffage et de climatisation ou rafraîchissement ;

Les schémas « globaux » sont présentés sur la Figure 1 et la Figure 2 suivantes. Elles prennent en compte une majorité des configurations d'installation possibles, sans pour autant être exhaustives. En revanche, elles correspondent à des configurations d'installations existantes et à même de présenter de bonnes performances.



**Figure 1 - Schéma de principe d'une installation de climatisation / chauffage / ECS solaire de type «collectif»**



**Figure 2 - Schéma de principe d'une installation de Climatisation / chauffage / ECS solaire de type «SSC+»**

En fonction de la configuration de l'installation, certains composants ou liaisons hydrauliques peuvent s'avérer inutiles et ne doivent ainsi pas être considérées.

**Des représentations graphiques issues des deux architectures génériques ont été établies pour différentes applications et sont données en [Annexe 1](#).**

## 2. GRANDEUR A EVALUER POUR LE TELESUIVI

Pour accéder aux indicateurs de la performance de l'installation, il est indispensable de connaître les différentes énergies mises en jeu stipulées sur la Figure 1 ou sur la Figure 2, dont la signification est explicitée ci-après.

En fonction du schéma de l'installation et avec l'objectif de limiter le coût d'investissement en métrologie, le nombre de compteurs peut être limité sous réserve que l'on puisse calculer l'ensemble des indicateurs de performances et disposer des informations nécessaires au suivi de l'installation.

Pour effectuer les opérations de mise en service et de réglage, et le suivi de l'installation, les énergies à mesurer ou à minima évaluer par le calcul sont données dans les suivantes :

### ♣ Energie solaire

**Qsol** Irradiation totale sur la surface d'entrée des capteurs kWh

### ♣ Energies thermiques

Les énergies thermiques représentent la quantité de chaleur ou de froid produite, stockée et transférée dans l'installation. Elles permettent d'évaluer ce qui est réellement produit par l'installation, la partie solaire et l'appoint.

<b>Q1</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie au stockage chaud	kWh
<b>Q2</b>	Energie thermique calorifique totale fournie par l'appoint chaud	kWh
<b>Q2a</b>	Energie thermique calorifique d'appoint fournie au stockage	kWh
<b>Q2b</b>	Energie thermique calorifique d'appoint fournie au bâtiment (chauffage)	kWh
<b>Q2c</b>	Energie thermique calorifique d'appoint fournie au bâtiment (ECS)	kWh
<b>Q3s</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie pour le chauffage	kWh
<b>Q3</b>	Energie thermique calorifique fournie au bâtiment pour le chauffage	kWh
<b>Q3'</b>	Besoins en chauffage	kWh
<b>Q4s</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie pour la production d'ECS	kWh
<b>Q4</b>	Energie thermique fournie pour l'eau chaude sanitaire	kWh
<b>Q4'</b>	Besoins en ECS	kWh
<b>Q5</b>	Energie thermique calorifique rejetée par la machine à ab/adsorption	kWh
<b>Q6</b>	Energie thermique calorifique fournie à la machine à sorption	kWh
<b>Q7</b>	Energie thermique frigorifique fournie par l'évaporateur	kWh
<b>Q8</b>	Energie thermique frigorifique fournie par l'appoint froid	kWh
<b>Q10</b>	Energie thermique frigorifique fournie au bâtiment	kWh
<b>Q10'</b>	Besoins en rafraichissement ou en climatisation du bâtiment	kWh



## ♣ Energies électriques

Les consommations électriques dues à l'installation doivent aussi être évaluées. Elles sont composées de la manière suivante :

- la consommation des **auxiliaires du système solaire** ( $E_{aux\ sol}$ ) :

**Collectif :** 
$$E_{aux\ sol} = E1a + E1b + E5 + E6 + E7 + E11 + E14$$

**SSC+ :** 
$$E_{aux\ sol} = E1a + E1b + \sum_{c\ lim} (E5 + E6 + E7 + E11 + E14) \cdot \frac{Q1}{Q1 + Q2a}$$

**Remarque :** dans la configuration SSC+, la consommation des auxiliaires du système solaire est considérée au prorata des contributions du solaire et de l'appoint chaud dans le stockage chaud, uniquement sur la période de production de froid.

- la consommation des **auxiliaires du système** ( $E_{aux}$ ) de climatisation + chauffage / production d'eau chaude sanitaire **dans son ensemble**, c'est-à-dire incluant les consommations des auxiliaires d'appoints :

**Collectif :** 
$$E_{aux} = E1a + E1b + E2 + E5 + E6 + E7 + E8 + E11 + E14$$

**SSC+ :** 
$$E_{aux} = E1a + E1b + E2 + E5 + E6 + E7 + E8 + E11 + E14$$

**Remarque :** la mesure des auxiliaires des appoints d'énergies chaud ou froid ( $E2$ ,  $E8$ ) pourront être estimée comme égale à 2% de l'énergie distribuée correspondante ( $Q2$ ,  $Q8$ ), en accords avec la Tâche 38 de l'AIE SHC [5]. Dans ce cas, seul l'énergie électrique des auxiliaires solaires ( $E_{aux\ sol}$ ) pourra être mesurée.

Avec :

<b>E1a</b>	Consommation électrique de la pompe primaire solaire	kWh
<b>E1b</b>	Consommation électrique de la pompe secondaire	kWh
<b>E2</b>	Consommation électrique auxiliaire de l'appoint chaud	kWh
<b>E3</b>	Consommation électrique de la pompe de distribution de chauffage	kWh
<b>E4a</b>	Consommation électrique de la pompe primaire de distribution d'ECS	kWh
<b>E4b</b>	Consommation électrique de la pompe secondaire de distribution d'ECS	kWh
<b>E5</b>	Consommation électrique de la pompe absorbeur/condenseur	kWh
<b>E6</b>	Consommation électrique de la pompe générateur	kWh

<b>E7</b>	Consommation électrique de la pompe évaporateur	kWh
<b>E8</b>	Consommation électrique de la pompe de l'appoint frigorifique	kWh
<b>E10</b>	Consommation électrique de la pompe de distribution d'eau glacée	kWh
<b>E11</b>	Consommation électrique de la machine à sorption	kWh
<b>E12</b>	Energie électrique de production de l'appoint frigorifique	kWh
<b>E14</b>	Consommation électrique du ventilateur de la tour de refroidissement	kWh

- le dernier associé à la distribution ( $E_{dist}$ ) et définie de la manière suivante :

$$E_{dist} = E3 + E4b + E10$$

### ♣ Eau

La consommation en eau du système de refroidissement doit être mesurée.

<b>V1</b>	Consommation en eau du système de refroidissement	m <sup>3</sup>
-----------	---	----------------

### 3. COMMENT MESURER ?

Les différentes grandeurs, énergies et consommations doivent en priorité être mesurées à partir d'appareils spécifiques dédiés. Ces appareils doivent être communiquant et connectés à un appareil permettant l'acquisition et le stockage des données appelé **télécontrôleur**.

#### ♣ Energie solaire

**Pour l'énergie radiative Qsol**, une **sonde d'ensoleillement** doit être mise en place dans le plan des capteurs solaires. Cette sonde d'ensoleillement ([Annexe 2a](#)) sera raccordée au télécontrôleur, et sa valeur Esol sera intégrée dans le temps. Qsol sera obtenue par le produit d'Esol et de la surface d'entrée (Aa) des capteurs solaires installés.

La sonde d'ensoleillement aura une précision de  $\pm 5\%$  en moyenne annuelle.

#### ♣ Energies thermiques

Les énergies thermiques (Q1 à Q10) seront mesurées :

- **soit par des compteurs d'énergies thermiques** : ceux-ci devront disposer à minima d'une sortie impulsion, permettant le raccordement au télé-contrôleur. Un compteur d'énergie avec transmission des informations températures/débit/énergie par bus au télé-contrôleur sera un réel avantage permettant d'accéder aux détails des mesures. Celles-ci s'avèrent indispensables en cas de dysfonctionnement pour déceler l'anomalie. Les compteurs d'énergie thermique seront de classe 1 ([Annexe 2b](#)), et leur programmation tiendra compte du fluide utilisé (eau, fluide caloporteur antigel) ;
- **soit par une paire de sondes appairées et un compteur volumétrique (pour l'ECS) ou un compteur de débit pour les autres circuits** ([Annexe 2c](#)). Les sondes de température seront de type Pt1000 classe A ([Annexe 2e](#)), avec, pour chaque paire, une longueur de câble identique. Les câbles de prolongation seront en 2x1mm<sup>2</sup>, pour limiter les résistances de ligne. La mise en œuvre des sondes doit être effectuée selon les recommandations de l'[Annexe 2e](#), sous peine d'augmenter considérablement les erreurs de mesures. Les compteurs volumétriques (pour la mesure de Q4) seront de classe C pour les compteurs d'eau froide ou D pour les compteurs d'eau chaude<sup>1</sup>, avec un poids d'impulsion adapté à la fois au débit et aux capacités du télé-contrôleur.

Les énergies mesurées seront intégrées dans le temps.

#### ♣ Energie électriques

Les énergies électriques E1 à E15 peuvent être :

- mesurées par des **compteurs d'énergie électriques** ([Annexe 2d](#)) ; il est préconisé d'implanter des compteurs électriques de classe 1 avec émetteurs d'impulsion et raccordés au télé-contrôleur

<sup>1</sup> Attention, peu de compteurs d'eau chaude de classe D sont disponibles sur le marché, il est donc préférable de positionner le compteur sur l'eau froide et d'utiliser un compteur eau froide de classe C.

- calculées à **partir des temps de fonctionnement** des appareils et de la connaissance de la puissance électrique absorbée, mesurée lors de la mise en service et indiquée sur le rapport de réglage ;

**La mesure est à privilégier sur le calcul car elle permet d'identifier des dysfonctionnements.**

### ♣ Eau

La consommation d'eau du système de refroidissement sera mesurée par un **compteur volumétrique** eau froide de classe C.

Il est préférable de privilégier un raccordement au télécontrôleur et donc de prévoir un émetteur d'impulsion sur le compteur.

### ♣ Télécontrôleur

Afin de récolter et stocker les mesures, faire des calculs élémentaires et transférer les informations à une personne distante, **un télécontrôleur** ([Annexe 3](#)) sera mis en place, dont la configuration sera adaptée au nombre de voies de mesures requises.

Il est préconisé de prévoir les fonctions suivantes :

- **faire l'acquisition des mesures ;**
- **réaliser une série de calculs permettant d'intégrer les valeurs mesurées sur un pas de temps de 1 minute ;**
- **réaliser une série de calculs simples permettant d'accéder aux indicateurs (voir cette rubrique) ;**
- **de sauvegarder sur le poste local, 3 fichiers historiques, sous forme de fichiers glissants :**
  - o **1 fichier de données à 10'** contenant 1 semaine de données complète de l'installation (# 1008 enregistrements x nombre de données) avec données d'état (température) et données de comptage (temps de fonctionnement, volume, énergie) récupéré à minima toutes les semaines, archivé en local pendant à minima 2 mois (# 2 Mo) et permettant l'analyse du fonctionnement ;
  - o **1 fichier de données journalières** contenant 1 mois + 10 jour de données (de 38 à 41 enregistrements x nombre de données) avec bilan d'énergie et les indicateurs + extrema de certaines températures récupéré à minima tous les 15 jours et permettant d'établir les bilans énergétiques mensuels et le calcul des indicateurs ;
  - o **1 fichier de données mensuelles** contenant 1 an + 1 mois de données (# 13 enregistrements x nombre de données) avec bilan d'énergie et indicateurs récupéré à minima une fois par an ;
- **de transmettre les fichiers d'historique à un poste central** par mode de communication sortant via réseau téléphonique RTC, Internet ADSL, GPRS, messagerie électronique, etc., ou d'être interrogé à distance depuis un poste central par mode de communication entrant via GPRS, Internet, réseau téléphonique, etc.

**La définition des protocoles et standards de communication filaire et sans fil sont présentés en [Annexe 4](#).**

## 4. CONTROLE DES DONNEES JOURNALIERES

La réalisation de mesures sur l'installation permet de mettre en place **un suivi de bon fonctionnement de l'installation**. La **procédure de vérification** du bon fonctionnement consiste à :

- tous les jours, collecter et archiver les données de suivi ;
- automatiquement, mettre en forme les données de suivi (1 fichier par jour conseillé) sous forme de bilan journalier et de graphiques ;
- prendre connaissance des alarmes automatiques, évaluer et analyser les causes de dysfonctionnement, prévenir le maître d'ouvrage, l'exploitant et l'entreprise de maintenance ;
- 1 fois par semaine, effectuer une analyse des bilans, si nécessaire des données journalières détaillées.

### ♣ Pré requis : le tableau de bord de l'installation

Le « **tableau de bord de l'installation** » synthétise l'ensemble des caractéristiques de l'installation, mais également des grandeurs et **des valeurs de réglage** obtenues lors de la mise en service, ainsi que des **règles de régulation** en détail. Pour ce chapitre, on considère que la mise en service inclue la phase de réglage et d'optimisation. **Le tableau de bord doit être annexé au schéma hydraulique détaillé de l'installation.**

L'**Annexe 5** présente un modèle de tableau de bord.

### ♣ 1ère étape : calcul des indicateurs journaliers

**Les indicateurs journaliers** sont calculés à partir des cumuls des énergies sur 1 journée. Les indicateurs qu'il est préconisé de calculer sont les suivants :

- le coefficient de performance de la machine à ab/adsorption ( $COP_{th}$ ) ;
- le coefficient de performance électrique solaire de l'installation ( $COP_{elec, sol}$ ) ;
- le rendement de captation solaire ( $R_{capt}$ ) ;
- le rendement solaire de l'installation ( $R_{sol}$ ).

**Les définitions et formules de calcul des indicateurs sont données en **Annexe 6**.**

**Remarque** : une erreur à ne pas commettre consiste à calculer l'indicateur sur le pas de temps et à en faire la moyenne. Il faut au contraire privilégier le calcul des indicateurs sur la somme des énergies journalières.

## ♣ 2ème étape : mise en forme des données journalières

Les données journalières sont mises en forme en graphiques et bilans journalier afin qu'elles puissent être facilement et rapidement exploitables lors de l'analyse du fonctionnement de l'installation solaire.

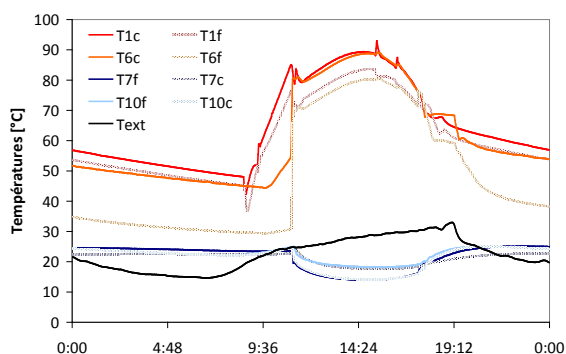
### En mode rafraîchissement / climatisation :

Le bilan à afficher pour chaque jour comprend :

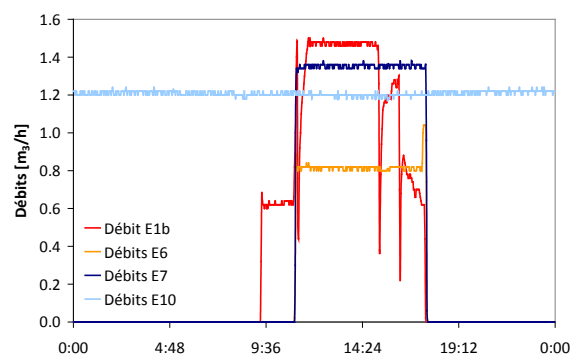
<b>Qsol</b>	Ensoleillement total sur la surface d'entrée des capteurs	kWh
<b>Q1</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie au stockage chaud	kWh
<b>Q6</b>	Energie thermique calorifique fournie à la machine à sorption	kWh
<b>Q7</b>	Energie thermique frigorifique fournie par l'évaporateur	kWh
<b>Q8</b>	Energie thermique frigorifique fournie par l'appoint froid	kWh
<b>Q10</b>	Energie thermique frigorifique fournie au bâtiment	kWh
<b>V1</b>	Volume d'eau consommée sur la journée	l
<b>COP<sub>th</sub></b>	Coefficient de Performance de la machine à ab/adsorption	-
<b>COP<sub>élec, sol</sub></b>	Coefficient de performance électrique solaire de l'installation	-
<b>R<sub>capt</sub></b>	Rendement de captation solaire	-
<b>R<sub>sol</sub></b>	Rendement solaire de l'installation	-

Les graphiques pertinents en mode production de froid sont les suivants :

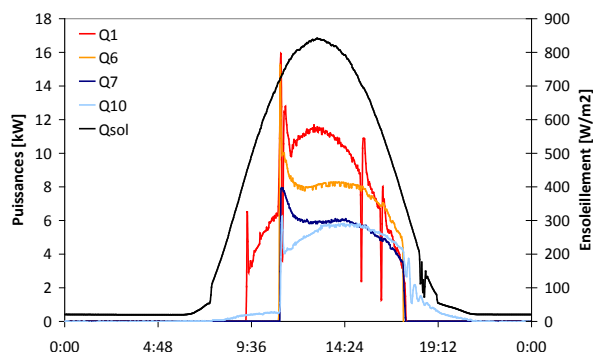
- **Graph(T)** : évolution des températures et de l'ensoleillement sur la journée, Figure 1 ;
- **Graph(Q)** : évolution des différents débits sur la journée, Figure 2 ;
- **Graph(P)** : évolution des puissances instantanées sur la journée, Figure 3 ;
- **Graph(COP<sub>th</sub>)** : évolution du COP<sub>th</sub> et des températures d'entrée au générateur, à l'absorbeur-condenseur et en sortie de l'évaporateur, Figure 4.



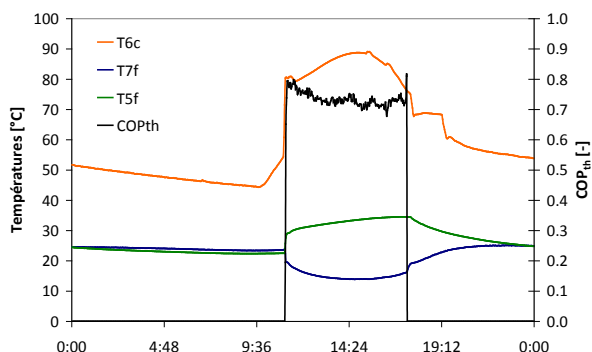
**Figure 3 – Graph(T) type d'une installation de climatisation/chauffage solaire en mode climatisation, [11]**



**Figure 4 - Graph(Q) type d'une installation de climatisation/chauffage solaire en mode climatisation, [11]**



**Figure 5 - Graph(P) type d'une installation de climatisation/chauffage solaire en mode climatisation, [11]**



**Figure 6 - Graph(COPth) type d'une installation de climatisation/chauffage solaire en mode climatisation, [11]**

### **En mode chauffage :**

Le bilan à afficher pour chaque jour comprend :

<b>Qsol</b>	Ensoleillement total sur la surface des capteurs	kWh
<b>Q1</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie au stockage chaud	kWh
<b>Q2</b>	Energie thermique calorifique totale fournie par l'appoint chaud	kWh
<b>Q3s</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie pour le chauffage	kWh
<b>Q3</b>	Energie thermique calorifique fournie au bâtiment pour le chauffage	kWh
<b>E<sub>aux sol</sub></b> <b>et/ou E<sub>aux</sub></b>	Energie électrique des auxiliaires solaires et de l'installation consommée sur la journée	kWh
<b>COP<sub>élec sol</sub></b>	Coefficient de performance électrique solaire de l'installation	-
<b>R<sub>capt</sub></b>	Rendement de captation solaire	-
<b>R<sub>sol</sub></b>	Rendement solaire de l'installation	-

Les graphiques qui peuvent être pertinents en mode chauffage sont les suivants :

- **Graph(T)** : évolution des températures + ensoleillement sur la journée ;
- **Graph(Q)** : évolution des différents débits sur la journée ;
- **Graph(P)** : évolution des puissances instantanées sur la journée.

### **En mode production ECS :**

Le bilan à afficher pour chaque jour comprend :

<b>Qsol</b>	Ensoleillement total sur la surface (d'entrée) des capteurs	kWh
<b>Q1</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie au stockage chaud	kWh

<b>Q2</b>	Energie thermique calorifique totale fournie par l'appoint chaud	kWh
<b>Q4s</b>	Energie thermique calorifique solaire fournie pour la production d'ECS	kWh
<b>Q4</b>	Energie thermique fournie pour l'eau chaude sanitaire	kWh
<b>Q4'</b>	Besoins en ECS	kWh
<b>E<sub>aux sol</sub> et/ou E<sub>aux</sub></b>	Energie électrique des auxiliaires solaires et de l'installation consommée sur la journée	kWh
<b>COP<sub>élec sol</sub></b>	Coefficient de performance électrique solaire de l'installation	-
<b>R<sub>capt</sub></b>	Rendement de captation solaire	-
<b>R<sub>sol</sub></b>	Rendement solaire de l'installation	-

Les **graphiques** qui peuvent être pertinents en mode production d'ECS sont les suivants :

- **Graph(T)** : évolution des températures + ensoleillement sur la journée ;
- **Graph(Q)** : évolution des différents débits sur la journée ;
- **Graph(P)** : évolution des puissances instantanées sur la journée.

### ♣ 3ème étape : alarmes et analyse du fonctionnement

#### **Rappels**

La réalisation d'analyse du fonctionnement à distance nécessite la connaissance :

- du fonctionnement général des installations solaires de rafraîchissement avec chauffage et production d'eau chaude sanitaire ;
- des caractéristiques de l'installation (puissances, surfaces, etc...) telles que réellement mises en œuvre ;
- des conditions et les règles de fonctionnement réellement mises en œuvre (débits attendus, régulation, etc.) ;
- des problèmes potentiellement rencontrés sur ce type d'installation.

Pour ce dernier point, le Guide ADEME « Conception, réception, suivi des opérations de démonstration de production de froid solaire » (2007) recense les anomalies rencontrées sur différentes installations de démonstration ; il complète mais ne remplace pas les compétences acquises ou à acquérir issues de retour d'expérience.

#### **Mise en place d'alarmes automatiques**

Compte-tenu de la précision des instruments de mesures, des constantes de temps des différents organes du circuit et du régime transitoire, il est bien souvent difficile d'établir des alarmes automatiques et des garde-fous pour les indicateurs instantanés.

Néanmoins, **des alarmes automatiques de base** peuvent être implémentées facilement sur les différentes boucles hydrauliques, notamment :

- débit mesuré nul mais état de pompe = 1 (pompe en marche) ;
- énergie mesurée négative.



Lorsqu'une alarme est reçue, il convient de procéder à une vérification du bon fonctionnement de la journée en cours.

### Vérification à distance et à l'instant "t" du bon fonctionnement de la journée en cours

La Figure 7 présente un aperçu de la supervision d'une installation de climatisation/chauffage solaire fonctionnant en mode climatisation.

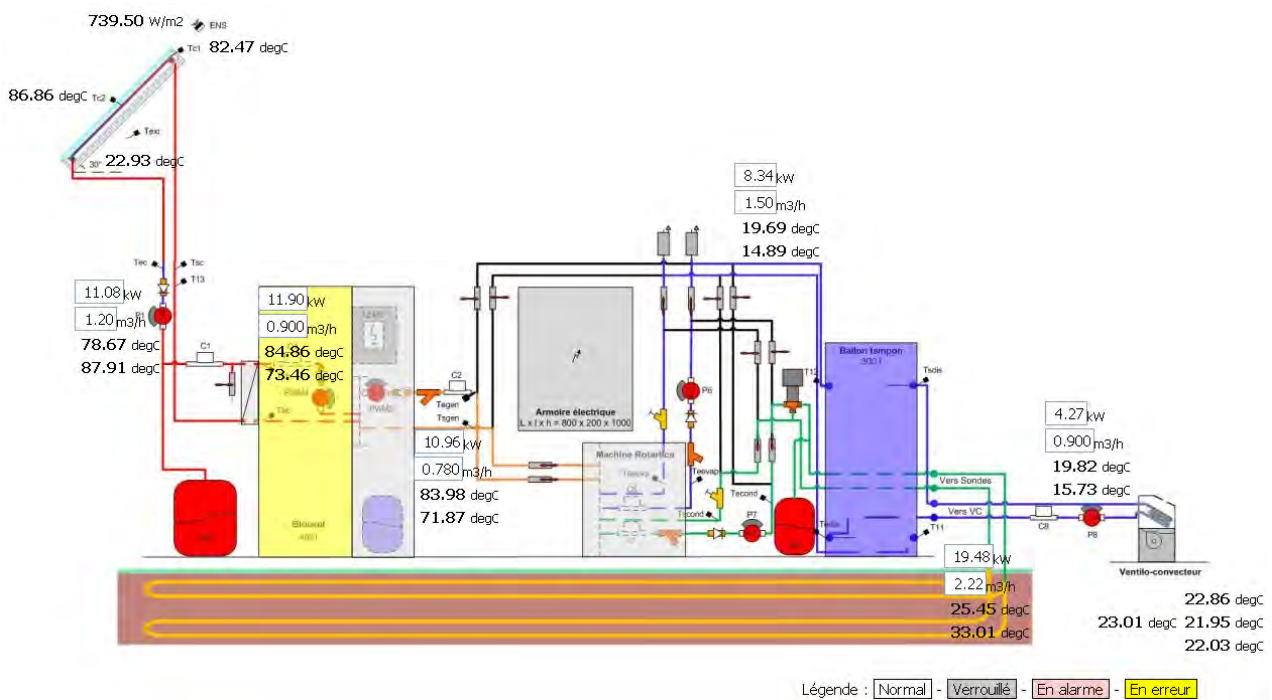
Afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'installation, il convient dans un premier temps de vérifier les points suivants :

- Température : les niveaux de températures doivent être conformes à l'application de la boucle énergétique correspondante, par exemple en mode climatisation :

**T circuit solaire > T circuit générateur > T circuit refroidissement > T circuit évaporateur**

A titre indicatif, les régimes de température conventionnels **en régime permanent** (pompe de circulation en marche) sont les suivants :

- circuits solaire (primaire et secondaire) et générateur : entre 55°C et 100°C ;
  - circuit de refroidissement / rejet de chaleur : entre 23 et 40°C ;
  - circuit évaporateur : entre 5 et 20°C et cohérente avec le régime de température de la distribution.
- Débits : en fonction des seuils de déclenchement définis pour la mise en route des circulateurs, il convient de vérifier la présence de débits sur les différents circuits. **La valeur des débits doit être constante si la pompe est à débit constant** (ce qui est recommandé actuellement pour les circuits hydrauliques des machines à sorption) **et proche à la valeur de réglée**.



**Figure 7 - Aperçu de la supervision d'une installation de climatisation/chauffage solaire fonctionnant en mode climatisation [11]**

**Remarque importante** : ces vérifications simples ont pour but d'analyser si l'alarme n'a pas été envoyée par un « bruit » de mesure, qui peut induire des erreurs non représentatives, comme cela se produit souvent lorsque les valeurs correspondent à des valeurs moyennes sur un pas de temps trop faible. Dans ce cas, il convient d'effectuer une vérification sur des valeurs moyennées sur un pas de temps plus important.

**Si des anomalies ou des valeurs anormales sont observées**, il convient de vérifier si les règles de régulation sont correctement respectées. Pour cela, il faut se référer au tableau de bord et vérifier si les valeurs de l'ensoleillement et les différents niveaux de températures et différentiels sont cohérents avec le fonctionnement des pompes.

**Pour identifier l'origine d'un problème, d'un dysfonctionnement**, il peut être nécessaire de remonter aux journées passées. Cette vérification peut également être complétée par une vérification in-situ par comparaison entre la valeur mesurée avec le télécontrôleur, la valeur mesurée sur un organe de réglage (vanne d'équilibrage par exemple) et avec le volume passé en 10 minutes sur un compteur volumétrique.

### **Vérification du bon fonctionnement de la journée passée**

La vérification de la journée passée peut se faire à deux niveaux :

- de manière globale : par l'utilisation des indicateurs définis dans la 2<sup>ème</sup> étape. Les valeurs obtenues doivent s'inscrire dans les plages de bon fonctionnement définies (Annexe 7) ;
- de manière détaillée : par l'analyse précise du fichier de mesure à 10'. Dans ce cas, les profils d'évolution de température (Figure 1), de débits (Figure 2) et de puissance (Figure 3) journaliers sont analysés. Les objectifs de cette analyse sont multiples et il est notamment nécessaire de vérifier :
  - la cohérence du fonctionnement des pompes par rapport à la régulation ;
  - l'adéquation des niveaux de températures et le respect des valeurs maximales de fonctionnement (surchauffe par exemple) ;
  - la présence de courts-cycles intempestifs (machine à sorption, pompes, etc.) ;
  - la cohérence des valeurs des puissances de fonctionnement.

Par exemple, on observe que sur la Figure 4, le débit de distribution du froid (Débit E10) n'est pas contrôlé par l'installation et la pompe est en permanence en fonctionnement.

### **Vérification du bon fonctionnement in-situ**

Les analyses à distance peuvent conclure à la nécessité de vérification in-situ. Il est alors nécessaire de demander l'intervention de personnel technique présent sur site ou de recommander au maître d'ouvrage de commander une intervention de contrôle.

Les procédures de contrôle sont référencées dans le « Guide de préconisation pour la maintenance » rédigé dans le cadre du projet MeGaPICS et disponible sur le site internet de SOCOL<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Projet MéGaPICS, site de SOCOL : <http://www.solaire-collectif.fr/index.php?pid=21>

## 5. BILANS MENSUELS ET ANNUELS

### ♣ Calcul des indicateurs de performance

Les indicateurs de performance et de qualité doivent permettre de quantifier le système de climatisation/chauffage solaire à différents niveaux :

- Indicateurs d'efficacité thermique : ces indicateurs traduisent l'efficacité thermique (pertes) des composants les plus impactant du système (machine à sorption et stockages) ;
- Indicateurs de performance solaire : ces indicateurs regroupent les indicateurs qui évaluent la capacité du système à valoriser l'énergie solaire ;
- Indicateurs de performance globale du système : ces indicateurs regroupent les indicateurs prenant en compte le solaire et les énergies d'appoints du système afin d'évaluer sa performance face aux demandes énergétiques du bâtiment ;
- Indicateur d'impact écologique : cet indicateur se traduit par la consommation en eau du système ;
- Indicateur économique : cet indicateur vise à définir le coût (d'exploitation et d'investissement) et la rentabilité de l'installation ;
- Indicateur de confort : cet indicateur traduit l'écart en termes d'utilisation entre le service attendu par l'utilisateur et celui rendu par l'installation ;
- Indicateurs de bon fonctionnement : ces indicateurs permettent d'évaluer la fiabilité de l'installation au travers de la prise en compte des pannes et opération de maintenance.

Des grandeurs dimensionnelles supplémentaires ont été définies afin de permettre le calcul de ces indicateurs.

**Les définitions et formules de calcul des indicateurs sont données en [Annexe 6](#).**

**La plupart des indicateurs doivent être calculés à des pas de temps de l'ordre du mois ou de l'année faute de quoi leur valeur n'est PAS SIGNIFICATIVE.**

Les différents indicateurs peuvent être appliqués aux différentes phases de réalisation d'une installation de climatisation/chauffage solaire (étude de faisabilité, dimensionnement, exécution et suivi du fonctionnement) de la manière suivante (Tableau 1).

TABLEAU 1 – DOMAINE D'APPLICATION DES INDICATEURS DE PERFORMANCES

Etude de faisabilité	Dimensionnement	Exécution	Télé-suivi
Indicateurs d'efficacité thermique			
$n_{stock}$ (chaud et froid)		$n_{stock}$ (chaud et froid)	
COP <sub>th</sub>	COP <sub>th</sub>		COP <sub>th</sub>
Indicateur de performance globale			
PER	PER		PER
Indicateurs de performance solaire			
PSU	PSU		PSU
	$R_{sol}$		$R_{sol}$
$R_{capt}$	$R_{capt}$		$R_{capt}$
COP <sub>élec sol</sub>	COP <sub>élec sol</sub>		COP <sub>élec sol</sub>
Indicateur d'impact écologique			
CE <sub>spé</sub>			CE <sub>spé</sub>
Indicateur économique			
Coût <sub>kwh</sub>			Coût <sub>kwh</sub>
Indicateurs de bon fonctionnement			
			$I_{fct}$
			$I_{Données}$
Indicateur de confort			
			$I_{Confort}$

**Remarque :** tous les indicateurs définis ci-après ne prennent pas en compte les pompes de distribution vers le bâtiment (eau glacée E10, eau de chauffage E3 et eau chaude sanitaire secondaire E4b).

### ♣ Seuils des indicateurs de performance et de qualité

Des **valeurs cibles** ont été déterminées pour les différentes catégories (indicateurs d'efficacité thermique, de performance globale, de performance solaire, écologique, économique et de qualité).

La définition de valeurs cibles ou de seuils est un aspect particulièrement important du fait qu'**une valeur absolue seule d'un indicateur ne suffit pas à démontrer la qualité ou les performances d'une installation**. En effet, celle-ci peut être fortement fonction des conditions extérieures (climats, besoins) ou des technologies utilisées (machine à adsorption ou à absorption, type d'appoints, technologies de capteurs solaires, etc.).

**Les définitions et formules de calcul des seuils des indicateurs sont données en [Annexe 7](#).**

## ♣ Vérification des performances globales

**La vérification des performances globales de l'installation doit être effectuée sur une période suffisante : mensuelle, saisonnière ou annuelle.**

Les performances globales de l'installation **sont établies à partir du calcul des indicateurs de performances** et en comparaison avec les valeurs cibles correspondantes à atteindre.

De plus, comme il est très difficile d'identifier un seul indicateur représentatifs de la qualité et des performances d'un système de climatisation/chauffage/production d'eau chaude sanitaire solaire, il est proposé d'utiliser la représentation graphique de la **Figure 8**, basée sur les écarts entre les indicateurs définis et les valeurs cibles associées.

**Ainsi, deux méthodes sont définies pour calculer les valeurs des indicateurs comparées à leurs valeurs cibles correspondantes (en pourcentage), selon la nature de la valeur cible :**

- **La valeur cible est une valeur minimale ( $I_{\min}$ ):**

$$I_{\%} = 100 \cdot \left[ 1 + (I - I_{\min}) / I_{\min} \right]$$

- **La valeur cible est une valeur maximale ( $I_{\max}$ ):**

$$I_{\%} = 100 \cdot \left[ 1 + (I_{\max} - I) / I_{\max} \right]$$

**En utilisant cette méthode, chaque indicateur est comparé à sa valeur cible.** Une bonne valeur de l'indicateur est une valeur égale ou supérieure à 100%. Dans le but d'obtenir une représentation adaptée, les valeurs obtenues sont bornées à 0% pour les valeurs négatives et à 200% pour les valeurs positives.

A partir de la méthode précédente, **la Figure 8** présente une représentation possible des différents indicateurs pour 4 installations de climatisation solaire au cours de différentes années de fonctionnement.



**Figure 8 – Représentation des performances globales d’installation de chauffage/climatisation/production d’eau chaude sanitaire solaire (Installations SOLERA [23], SOLACILM [20], RAFSOL [21] & Sonnenkraft [22])**

La méthodologie proposée ici permet :

- d’une part de dresser une cartographie complète et synthétique des performances d’une installation de climatisation/chauffage/production d’eau chaude sanitaire solaire ;
- d’identifier les points forts mais également les points d’amélioration/d’optimisation d’une installation ;
- d’observer l’évolution des performances de l’installation année après année.

## 6. CONCLUSIONS

La mise en œuvre d'équipement de mesure fait partie des recommandations nécessaires à la fois au bon fonctionnement de l'installation, mais également à la quantification de ses performances.

Cette mise en œuvre doit être de qualité, permettant d'atteindre les objectifs de qualification des performances de l'installation, tout en maintenant un coût acceptable pour le maître d'ouvrage.

Une mise en œuvre effectuée en respectant les règles évoquées dans ce document doit permettre d'atteindre ces objectifs. Elle permet également de disposer d'une base commune de méthodologie pour la mise en œuvre du télé-contrôle des installations de climatisation solaire, qui doit être systématisé dans cette phase d'émergence sur le marché de la technologie.

## 7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cette procédure de monitoring est basée principalement sur la procédure XnA du Fond Chaleur [4], sur l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif aux méthodes et procédures applicables au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants proposés à la vente en France métropolitaine [6], sur les résultats de la Tâche 38 du Programme « Solar Heating And Cooling » de l'AIE [5], sur la procédure de mise en œuvre du monitoring des installations de climatisation/chauffage solaire du programme EMERGENCE [7] et sur les travaux réalisés dans le cadre du projet ANR HABISOL 2009 MéGaPICS.

- [1] Décret n°2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions (JO du 25 mai 2006)
- [2] DPE, rendement de génération pour un immeuble collectif, paru au Journal Officiel de la République Française, le 28 septembre 2006, page 7
- [3] CEA INES - Cahier de préconisation pour Monitoring énergétique de bâtiments – Romain Nouvel – 2010.
- [4] Note sur la procédure XnA pour l'application au Fonds Chaleur – ADEME – 2009 :  
<http://www.ademe.fr/bretagne/upload/projet/fichier/74fichier.pdf>
- [5] Tâche 38 du Programme « Solar Heating And Cooling » de l'Agence Internationale de l'Energie : <http://www.iea-shc.org/task38/index.html>
- [6] Arrêté du 15 septembre 2006 relatif aux méthodes et procédures applicables au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants proposés à la vente en France métropolitaine, p 7 :  
[http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo\\_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060928&numTexte=11&pageDebut=14201&pageFin=14209](http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060928&numTexte=11&pageDebut=14201&pageFin=14209)
- [7] EMERGENCE, Procédure de mise en œuvre du monitoring des installations de climatisation/chauffage solaire : <http://www.solaire-collectif.fr/index.php?pid=20>
- [8] Guide de « Conception, réception, suivi des opérations de démonstration de production de froid solaire » du 15 janvier 2007 de l'ADEME.
- [9] EN ISO 9488 : (2000 – 01 – 01) : Energie solaire – vocabulaire
- [10] ORASOL : optimisation des installations de rafraichissement solaire, ORASOL, projet ANR PREBAT 2006, coordonné par PIMENT
- [11] Projet européen SOLERA : Integrated Small Scale Solar Heating and Cooling Systems for a Sustainable Air-conditioning of Buildings, Programme FP6, coordonné par le Fraunhofer ISE :  
<http://www.solera-project.eu>
- [12] RT2012 : Réglementation Thermique 2012, Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010, JO du 26 octobre 2010
- [13] RT2005 : Réglementation Thermique 2005, Décret n°2006-592 du 24 mai 2006, JO du 25 mai 2006
- [14] SUTER J M, Heat losses from storage tanks: up tp 5 times hugher than calculated!  
[http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat\\_losses\\_from\\_storage\\_tanks\\_by\\_jm\\_suter.pdf](http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat_losses_from_storage_tanks_by_jm_suter.pdf)



- [15] AIE SHC Tâche 48, Quality Assurance and Support Measures for Solar Cooling :  
<http://www.iea-shc.org/task48/>
- [16] Eurovent : air-conditioning and refrigeration certification programs :  
[www.eurovent-certification.com/](http://www.eurovent-certification.com/)
- [17] U. Eicker, Journal KI Kälte Klimatechnik, Nov. 2011, Technologien und Betriebserfahrungen mit solarer Kühlung im Nichtwohnungsbau.
- [18] NASA : Atmospheric Science Data Center, Processing, archiving, and distributing Earth science data at NASA Langley Research Center : <http://eosweb.larc.nasa.gov>
- [19] CEGIBAT, Equipement et systèmes de confort d'été – principe de fonctionnement, 2007.
- [20] Solaclim : SOLAIR : Increasing the Market Implementation of Solar Air-Conditioning Systems for Small and Medium Applications in Residential and Commercial Buildings – Solar Cooling, an intelligent option, p. 10-11
- [21] Rafsol : J.P. Praene & Al. Simulation and experimental investigation of solar absorption cooling system in Reunion Island, Applied Energy 88, 2011, p. 831–839
- [22] Sonnenkraft : Premier bilan d'un bâtiment tertiaire solaire, Chaud Froid Performance, 736, 2010, p. 46-47
- [23] Solera : D. Chèze & Al. SOLERA, demonstrator of small scale solar heating and cooling system in INES office building, 4<sup>th</sup> International conference Solar Air Conditioning, Larnaca (Cyprus), 2011, p. 140-145
- [24] P Boeuf, B. Senejean, C. Ladaurade. 2010. District cooling system: the most efficient system for urban application, Sustainable Refrigeration and Heat Pump Technology Conference, KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2010.
- [25] ADEME, CLIMESPACE, 2009, Environmental performances measurements for independent refrigeration systems
- [26] ADEME, 2007, les PAC géothermales en France : Marché, performances et outils financiers
- [27] J-B. Ritz, EDF, Annexe 28, Field test of High Temperature Heat Pump in France.
- [28] VALPAC, consulté en 11/2011 : <http://valpac-online.cstb.fr/>
- [29] P. Riederer, CSTB. Retour d'expériences sur les PAC géothermiques.
- [30] EDF. Field tests de PAC eau-eau.
- [31] Energy savings trust. Getting Warmer: a field trial of heat pumps, 09/2010
- [32] GDF Suez. Field tests de PAC électrique pour maison individuelle (environ 10 kW chaud), 10/2011

## 8. TABLES DES ANNEXES

- [Annexe 1](#) Représentation graphique de différentes configurations
- [Annexe 2](#) Préconisation pour l'implantation des matériels de mesure
  - [2a](#) Sonde d'ensoleillement
  - [2b](#) Compteur d'énergie thermique
  - [2c](#) Mesureurs de volume (eau froide) ou de débit (eau chaude)
  - [2d](#) Compteur d'énergie électrique
  - [2e](#) Implémentation des sondes de températures
- [Annexe 3](#) Préconisation pour les télécontrôleurs
- [Annexe 4](#) Protocoles et standards de communication
- [Annexe 5](#) Modèle de tableau de bord d'installation
- [Annexe 6](#) Définition et formule de calcul des indicateurs
- [Annexe 7](#) Définition et formules de calcul des seuils des indicateurs
- [Annexe 8](#) Valeurs des rendements de génération calorifique et des efficacités frigorifiques
- [Annexe 9](#) Liste des machines à ab/adsorption commercialisées

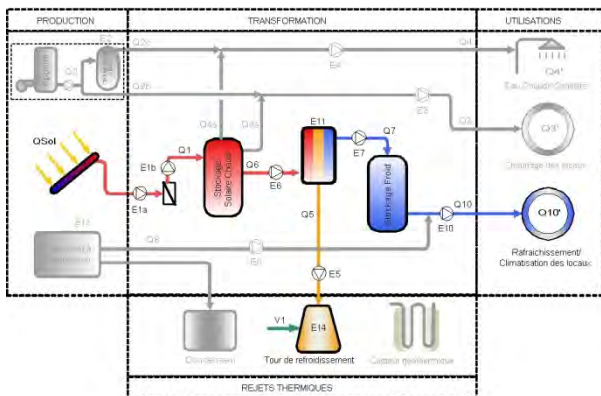
## Annexe 1 : Représentation graphique de différentes configurations

A partir des schémas génériques définis dans le [1<sup>er</sup> chapitre](#), les représentations graphiques établis pour différentes applications sont présentés dans cette annexe.

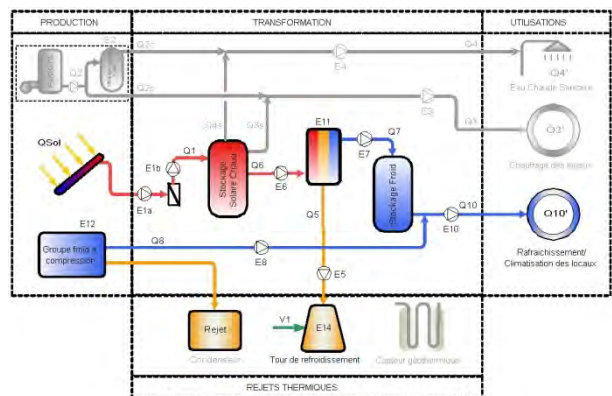
### LISTE DES REPRESENTATIONS GRAPHIQUES ETABLIS POUR DIFFERENTES APPLICATIONS

Services	Appoint chaud	Appoint froid	Exemple d'installations existantes	N° schéma
RAF : rafraîchissement CLIM : climatisation CHAUF : chauffage ECS : eau chaude sanitaire				
Installations collectives				
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+ »				
CLIM + CHAUF + ECS	✓	✗	SOLERA (sans ECS)	C
CLIM + CHAUF + ECS	✓	✓		D

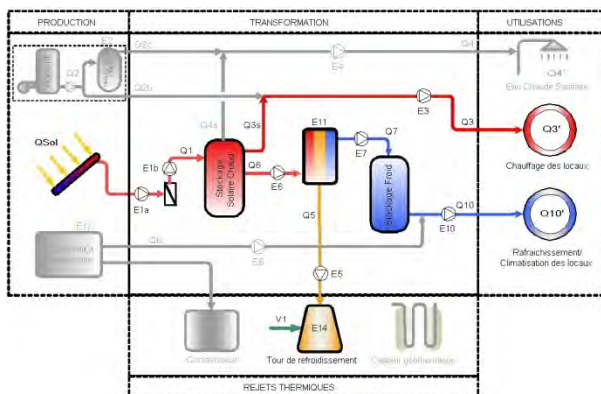
A1



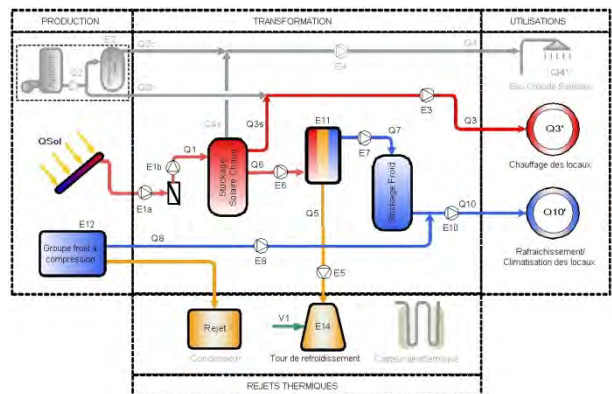
B1



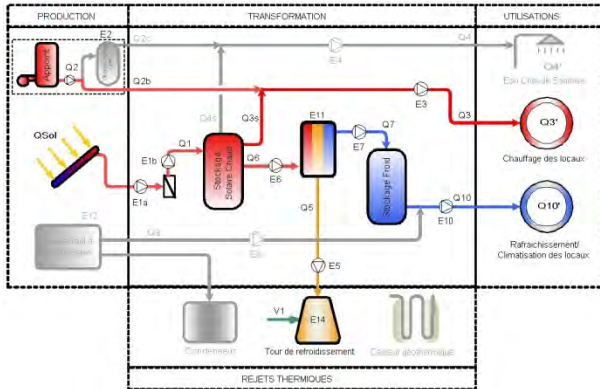
A2



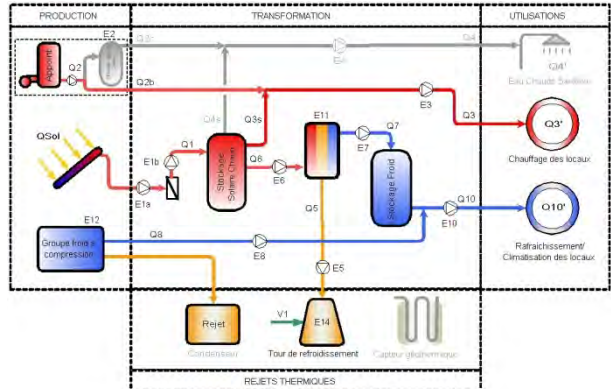
B2



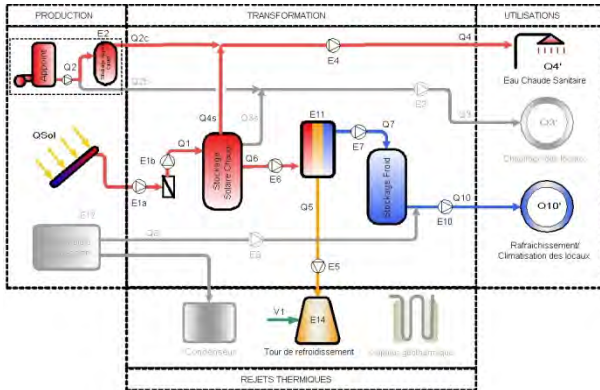
A3



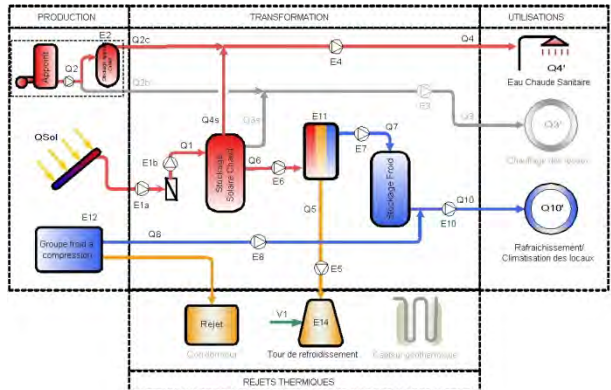
B3



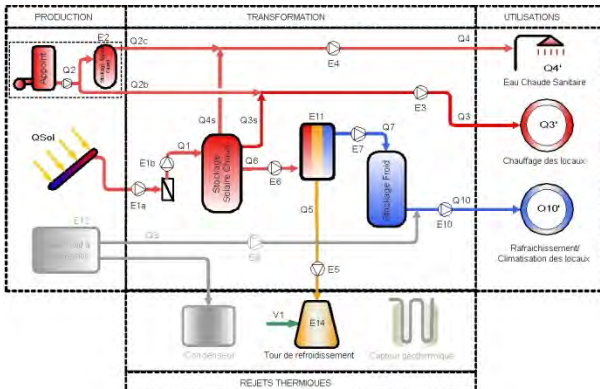
A4



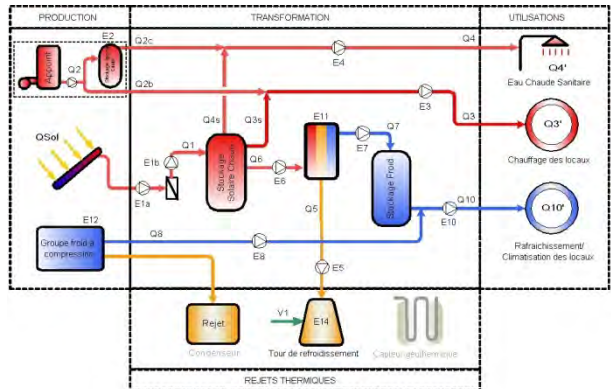
B4



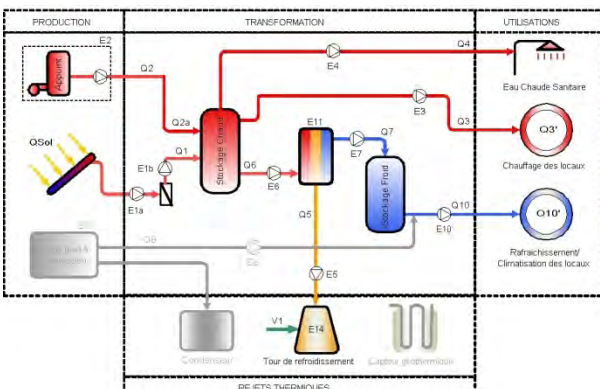
A5



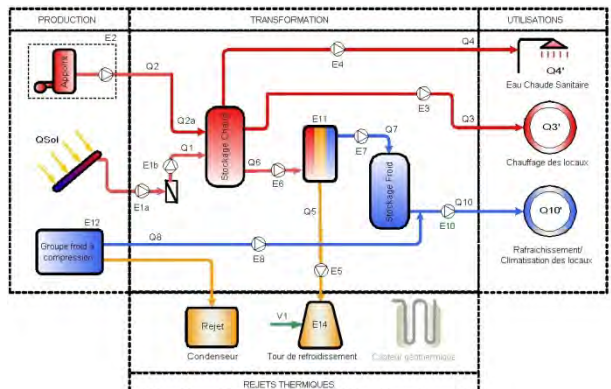
B5



C



D



## Annexe 2 : Préconisation pour l'implantation des matériels de mesure

### Annexe 2a : Sondes d'ensoleillement

Il est indispensable de mettre en place une mesure d'ensoleillement dans le plan des capteurs solaires. Plutôt que de recourir à des **pyranomètres**, qui ont un coût élevé, **on privilégie les sondes d'ensoleillement** qui offrent une **précision suffisante** pour les opérations de monitoring in-situ. Dans le cadre des applications thermiques grand public, des sondes d'ensoleillement (généralement basées sur une cellule photovoltaïque calibrée) sont utilisées. Une électronique embarquée dans le capteur permet de conditionner le signal.

Le Tableau ci-dessous liste, de manière non-exhaustive, un certain nombre de capteurs pouvant être utilisés.

LISTE NON EXHAUSTIVE DES SONDES D'ENSOLEILLEMENT POUVANT ETRE UTILISEES

Fabricant	Modèle / Gamme	Spectre	Mesure maximale	Sortie	Prix HT approximatif
[-]	[-]	[nm]	[W/m <sup>2</sup> ]	[mA ou mV]	[€]
AKOOS	SPF 30	400... 1100	1300	4-20 mA 0-10 V	165
CAMPBELL SCIENTIFIC	CS 300	300...1100	2000	0,2 mV/W.m <sup>2</sup>	700
	CE 180	300... 2500		mV	1173
CIMEL	CE 183	300... 2500			4475
	CE 183 + suiveur	300... 2500			12840
DELTAOHM	LP PYRA xx	305...2800	2000	10 mV/kW.m <sup>2</sup>	
	HD2021T	400... 1000	2000	4-20 mA 0-10 V	
FUELHER SYSTEME	GSM/O	380...2500	1300	4-20 mA 0-10 V	919
KIMO	CR 100	400...1100	1300	4-20 mA 0-10 V	
	SP LITE 2	305...2800	4000	4-20 mA	285
	CMP 22	200... 3600	4000	0-15 mV	
KIPP&ZONEN	CMP 21	310... 2800	4000	0-15 mV	1771
	CMP 11	310... 2800	4000	0-15 mV	1775
	CMP 6	310... 2800	2000	0-15 mV	1180
	CMP 3	310... 2800	2000	0-15 mV	585
KRIWAN		320...1060	2000	4-20 mA	
PULSONIC	GSM 3.3			4-20 mA	1293
RESOL	CS 10				
TRITEC	SPEKTRON 310	400... 1100	1500	4-20 mA/0-10 V	220

## Annexe 2b : compteurs d'énergie thermique

**Les mesureurs d'énergie thermique combinent 2 sondes de température, 1 mesureur de débit ou volume et 1 intégrateur.** Ils permettent d'accéder directement à l'énergie thermique transitant par le circuit mesuré.

Aujourd'hui, les électroniques embarquées des mesureurs permettent d'offrir un certain nombre de fonctions : transmission filaire ou radio par protocole (Mbus, Jbus, ...) vers un poste central, détection de seuils haut et bas, gestion d'alarme, mesures chauffage et climatisation avec un même appareil, etc.

Un compteur d'énergie thermique est un instrument destiné à mesurer l'énergie qui est absorbée (refroidissement) ou cédée (chauffage) par un fluide caloporteur dans un circuit hydraulique. Le compteur fournit la quantité d'énergie thermique en unités de mesure légales (kilowattheure).



**Un compteur d'énergie thermique se compose des sous-ensembles suivants :**

- **un capteur hydraulique** qui, placé à l'entrée du ballon ou de l'échangeur et traversé par le liquide caloporteur, émet un signal fonction du débit volumique ou massique. Les plus couramment rencontrés pour les applications de comptage dans les bâtiments sont des compteurs mécaniques soit volumétriques (à piston oscillant) soit de vitesses (Woltman, à jet unique, à jets multiples). Mais on commence à voir apparaître des appareils sans pièce mobile, qui permettent de prolonger leur durée de vie : mesureur à ultrasons, à vortex ou à oscillateur fluide. Le calibre du capteur hydraulique sera choisi en fonction du débit traversant. Ce dernier peut être approximé par la formule suivante, connaissant la puissance maximum  $P_{max}$  à fournir et l'écart de température  $\Delta T_{estimé}$  sur le circuit (par défaut 20°C pour l'eau chaude et 70°C pour l'eau surchauffée) :

$$Q_{néstimé} = (0.86 \cdot P_{max}) / \Delta T_{estimé}$$

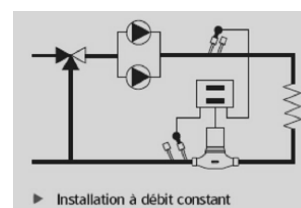
avec  $Q_n$  : débit auquel peut fonctionner le capteur hydraulique 24/24 en m<sup>3</sup>/h ;

- **une paire de sondes de température** (montées avec ou sans doigt de gant) qui mesure les températures du liquide caloporteur à l'entrée et à la sortie du circuit d'échange thermique ;
- **un calculateur** qui reçoit des signaux du capteur hydraulique et des sondes de température et qui calcule par intégration des différentes données successives mesurées, la quantité d'énergie thermique échangée (produit de la puissance produite ou dissipée par l'intervalle de temps (aussi court que possible) qui sépare deux mesures). La formule de calcul de la puissance est :  $P = Q \cdot C_v \cdot \Delta T$  en kW et avec  $C_v$  : capacité calorifique, fonction des propriétés du liquide caloporteur aux températures et à la pression correspondantes.

Remarque concernant les installations à débit constant :

Dans le cas d'un débit d'installation théorique, il est prudent de majorer  $Q_{installation} \times 1,25 < Q_n$  capteur hydraulique. Le débit à sélectionner est fonction du débit maximal permanent assuré par la pompe ou par la mise en parallèle des 2 pompes.

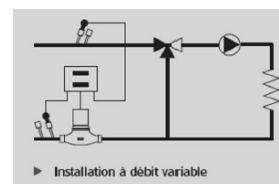
Recommandation :  $Q_{installation} < Q_n$  capteur hydraulique



### Remarque concernant les installations à débit variable :

Le débit variant en fonction de la demande, il faut choisir un capteur hydraulique ayant une grande dynamique de mesure. La dynamique de mesure est donnée par le rapport :  $Dy = Q_{\max} / Q_{\min}$ .

Recommandation :  $Q_{\max}$  installation < à  $1,5 \times Q_n$  capteur hydraulique



La précision du comptage dépend de la qualité métrologique de chaque sous ensemble précité (capteur hydraulique, sonde de température, calculateur). L'erreur maximale tolérée d'un compteur d'énergie thermique sera la somme arithmétique des erreurs maximales tolérées des sous-ensembles.

Conformément à la norme européenne EN 1434-1, les capteurs hydrauliques des compteurs d'énergie thermique peuvent appartenir à l'une des trois classes d'exactitude suivantes :

### CLASSE DE PRECISION DES CAPTEURS HYDRAULIQUES DES COMPTEURS D'ENERGIE THERMIQUE SELON LA EN 1434-1

Classe de tolérance ou de précision	Tolérance $E_f$	Tolérance $E_f$
	[l/s]	[%]
1	$\pm (1 + 0,01 Q_n/Q)$	$< \pm 3,5$
2	$\pm (2 + 0,02 Q_n/Q)$	$< \pm 5$
3	$\pm (3 + 0,05 Q_n/Q)$	$< \pm 5$

$Q_n$  débit nominal auquel peut fonctionner le capteur hydraulique 24/24

$Q$  débit réel de l'installation

L'erreur  $E_f$  relie la valeur indiquée à la valeur vraie conventionnelle de la relation entre le signal de sortie du capteur hydraulique et le débit volumique ou massique.

### Remarque concernant l'erreur maximale tolérée du calculateur :

$$E_c = \pm(0.5 + \Delta T_{\min} / \Delta T)$$

Avec : l'erreur  $E_c$  qui relie la valeur indiquée de l'énergie thermique à la valeur vraie conventionnelle de cette énergie.

### Remarque concernant l'erreur maximale tolérée de la paire de sondes de température :

$$E_t = \pm(0.5 + 3 \cdot \Delta T_{\min} / \Delta T)$$

Avec l'erreur  $E_t$  qui relie la valeur indiquée à la valeur vraie conventionnelle de la relation entre le signal de sortie de la paire de sondes de température et la différence de température.

Les compteurs d'énergie thermique sont également répartis en classes d'environnement en fonction de leur usage. La norme NF EN 1434 établit 3 classes :

## CLASSE D'ENVIRONNEMENT EN FONCTION DES USAGES DES COMPTEURS D'ENERGIE THERMIQUE SELON LA EN 1434

Classe d'environnement	Usages
A	Usage domestique, installations intérieures
B	Usage domestique, installations extérieures
C	Usage industriel

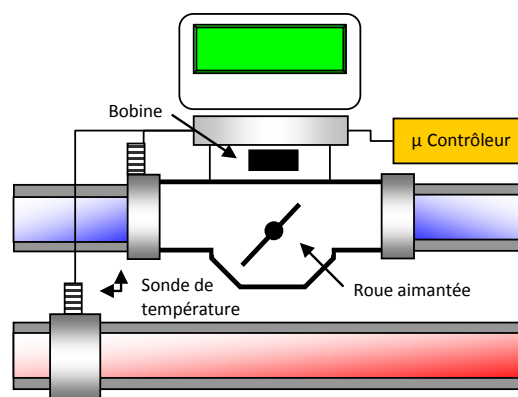
**Le compteur d'énergie thermique doit être installé conformément aux instructions du fournisseur, et des règles de l'art.** Des précautions doivent être prises en ce sens pour éviter, lors de conditions hydrauliques défavorables (cavitation, surpression, coup de bélier), d'occasionner des détériorations au compteur d'énergie thermique (vibrations, chocs,...).

Ce dernier doit également être installé à une distance suffisante des sources de perturbations électromagnétiques (appareillage de commutation, moteurs électriques, lampes fluorescentes...). Le cas échéant, il doit être relié à la terre et/ou être protégé par un dispositif externe de protection contre les surintensités dues à la foudre.

Le compteur d'énergie thermique doit être positionné de préférence sur le circuit dont le niveau de température est le plus faible. Il faut profiter du brassage de l'eau, créé par le compteur, et placer la sonde de mesure de température en aval de celui-ci.

Il est particulièrement important d'installer les deux sondes de température à plongeur de façon similaire et de les placer sur des canalisations droites de préférence. Les sondes appairées ne doivent pas être dissociées.

Les câbles transmettant les signaux de mesures ne doivent pas être positionnés directement le long d'autres câbles, tels que les câbles d'alimentation du secteur, les câbles d'alimentation basse tension et les câbles de commutation de données, et doivent être fixés séparément. La distance entre ces deux groupes de câbles ne doit pas être inférieure à 50 mm. En général, tous les compteurs proposés actuellement sur le marché sont de classe 1 et adaptés aux plages de débits et de températures mesurés. Les compteurs positionnés sur les circuits hydrauliques seront donc équipés de compteurs de classe 1.



SCHEMA D'UN COMPTEUR D'ENERGIE THERMIQUE

**On choisira de préférence des appareils sans pièce mobile,** afin de prolonger leur durée de vie. Cette prescription est particulièrement recommandée pour les circuits à débit continu ou permanent (appoint hydraulique, bouclage).

**Dans le cas d'un relevé manuel,** les compteurs seront équipés d'une mémorisation interne mensuelle des index, permettant de conserver une année de mesures.

**Dans le cas d'un télérelevé,** les compteurs seront équipés d'un report d'information de type impulsif (tout ou rien) ou M-Bus (adressage des différentes mesures, voire états d'erreur, etc.).



Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre de compteurs d'énergie.

### LISTE NON-EXHAUSTIVE DES FABRICANTS DES COMPTEURS D'ENERGIE

Fabricant	Modèle	Classe métrologique	Sondes de température	Température du calculateur Ecart de température du calculateur			Pression maximale [bar]	Température mesureur	Plage de mesure de débit		Sorties / Communication							Alimentation	Prix HT approximatif [€]
				Min / Max [°C]	Min / Max [°C]	Min / Max [°C]			Min / Max [°C]	Qdem Qi [m³/h]	Qp Qs [m³/h]	Impulsions	M-Bus	LonWorks	Modbus	Série	Radio		
ELSTER	F2/F22		Pt100 Pt500	0 / 190	3 / 120							x	x				x	x	
	F4		Pt100 Pt500	0 / 190	2 / 120							x	x	x			x	x	x
ITRON	CF800	1	Pt100	0 / 180	1 / 160							x	x	x			x	x	850 *
	CF550	1	Pt100	0 / 180	2 / 160							x	x					x	250 *
KAMSTRUP	Multical 401	1	Pt100 Pt500	10 / 160	3 / 150	20 / 50	16 / 25	15 / 130	- / Qp/100	0,6 à 15 2*Qp		x	x				x	x	165
	Multical 402	1	Pt100 Pt500	2 / 160	3 / 150	20 / 50	16 / 25	2 / 130	- / Qp/100	0,6 à 15 2*Qp		x	x				x	x	
	Multical 601	1	Pt100 Pt500	2 / 180	3 / 170							x	x	x	x		x	x	450 *
LANDIS+GYR	Ultra heat XS 2WR6	3	Pt500	5 / 105	3 / 80	20 / 25	16	5 / 105	- / Qp/100	0,6 à 2,5 2*Qp		x	x						
	Ultra heat UH50	2	Pt100 Pt500	2 / 180	3 / 120							x	x				x	x	
	Calec ST	2	Pt100 Pt500	5 / 180	3 / 175							x	x	x			x	x	700 *
	Pallas	1	Pt100 Pt500	0 / 150	3 / 150							x	x				x	x	400 *
SAPPEL	Ray	2	Pt500	0 / 150	3 / 147	15 / 40	16	5 / 90	0,0015 à 0,1 0,006 à 0,2	0,6 à 10 1,2 à 5		x	x						
	Shark Y	2	Pt500	0 / 180	3 / 177	15 / 65	16 / 25	5 / 150	0,003 à 0,05 0,006 à 0,25	1,5 à 25 2*Qp		x	x				x	x	300 1700
SENSUS	Pollu Com E	2	Pt500	-20 / 150	3 / 100	15 / 20	16	5 / 90	0,0015 à 0,003 Qp/100	0,6 à 2,5 2*Qp		x	x						143
	Pollu Com M	2 3	Pt500	-20 / 150	3 / 100	25 / 40	16	5 / 130	- / Qp/100	3,5 à 6 2*Qp		x	x						
	Pollu Wat Duo		Pt100 Pt500	0 / 200	3 / 150							x	x				x	x	670 *
	Pollustat E	2	Pt500	2 / 180	3 / 150	15 / 100	16 / 25		- / Qp/100	0,6 à 15 2*Qp			x				x	x	170 1000
	Pollutherm		Pt100 Pt500	-20 / 180	3 / 150							x	x	x	x		x	x	295 *
SOMESCA	Multi Data WR3		Pt100 Pt500 Pt1000	0 / 150	3 / 120							x	x				x	x	
	Multi Data N1		Pt100 Pt500	0 / 150	3 / 150							x					x	x	
	Calitherm Z960		Pt100	-15 / 200	3 / 40							x	x				x	x	720 *

\* : prix de l'intégrateur seul (sans sondes ni mesureur) si ensemble non intégré

Qdem : Débit de démarrage à partir duquel le compteur se met en fonctionnement

Qi : Débit minimal à partir duquel le compteur respecte les incertitudes indiquées par sa classe

Qp : Débit permanent auquel le mesureur peut fonctionner de manière satisfaisante sans interruption

## Annexe 2c : Mesureurs de volume (eau froide) ou débit (eau chaude)

### Au niveau des capteurs de débit, les principales technologies sont :

- des compteurs mécaniques volumétriques (à piston oscillant) ou de vitesses (Woltman, à jet unique, à jets multiples) ;
- des compteurs sans pièces mobiles : à ultrasons, à vortex ou à oscillateur fluide.



### Les principales caractéristiques qui seront recherchées pour ces capteurs de débit sont :

- le coût ;
- la qualité de mesure (précision, seuil de démarrage, plage de mesure, etc.) ;
- la fiabilité (durabilité, stabilité de la réponse dans le temps, etc.) ;
- la facilité de raccordement et de conditionnement du signal ;
- une faible perte de charge hydraulique pour éviter de perturber le circuit hydraulique mesuré.



Dans le cadre des applications thermiques grand public, les compteurs mécaniques sont encore largement utilisés, mais les compteurs sans pièces mobiles (qui offrent l'avantage de ne pas avoir de pièce mobile en mouvement) commencent également à être répandues.

**La consommation d'Eau Chaude Sanitaire est mesurée par un capteur hydraulique** qui, placé à l'entrée du ballon ou de l'échangeur, émet un signal chaque fois qu'une quantité volumique ou massique de fluide caloporteur le traverse. Il a aussi pour fonction de mesurer le débit du fluide en circulation dans le circuit hydraulique (d'où le nom de débitmètre). **Il doit créer aussi peu de pertes de charge possible, il doit avoir une précision suffisante et surtout être fiable dans le temps.**

Pour les mesures de consommation d'eau, la plage de mesure est particulièrement large puisque le débit peut varier d'une valeur très faible (un robinet de lave-mains ouvert) jusqu'à des valeurs très importantes (soutirage simultané dans de nombreuses salles de bains).

**On choisira donc l'appareil pour une plage de température de fonctionnement de 10 à 100°C en règle générale, et en fonction du débit maximum de puisage (ou débit de pointe  $V_{\text{Pointe}}$ ).**

Remarque : Pour les immeubles de logements, ce débit (en litres/10min) peut être estimé à l'aide des formules suivantes :

$$V_{\text{pointe}} = 50 \cdot N \cdot S \quad \text{avec : } S = 1 / \left( \sqrt{N-1} + 0.17 \right) \quad \text{et } N = \sum p \cdot N_{\text{réels}}$$

S est le coefficient de simultanéité, N le nombre de logements standards et  $N_{\text{réels}}$  le nombre de logement réels. p s'exprime en fonction du type de logement selon le tableau suivant :

### VALEURS DU COEFFICIENT P

Type	Equipement	coefficient p
F1	1 douche	0,6
F2	1 baignoire	1
F3	1 baignoire	1
F4	1 baignoire + 1 douche	1,3
F5	2 baignoires	1,5

Pour les compteurs d'eau froide, la précision du comptage dépend de la qualité métrologique de chaque appareil. Il existe 3 classes de précision A, B et C.

### CLASSE DE PRECISION DES COMPTEURS D'EAU FROIDE

Classe de tolérance ou de précision	Tolérance $q_{min}$	Tolérance $q_t$
[-]	[l/s]	[l/s]
A	0,04. $q_n$	0,100. $q_n$
B	0,02. $q_n$	0,080. $q_n$
C	0,01. $q_n$	0,015. $q_n$

*$q_{min}$  débit minimal de fonctionnement du compteur et  $q_t$  débit de transition*

Pour les compteurs d'eau chaude, la précision du comptage dépend de la qualité métrologique de chaque appareil. Il existe 4 classes de précision A, B, C et D.

### CLASSE DE PRECISION DES COMPTEURS D'EAU CHAUDE

Classe de tolérance ou de précision	Tolérance $q_{min}$	Tolérance $q_t$
[-]	[l/s]	[l/s]
A	0,04. $q_n$	0,100. $q_n$
B	0,02. $q_n$	0,080. $q_n$
C	0,01. $q_n$	0,060. $q_n$
D	0,01. $q_n$	0,015. $q_n$

*$q_{min}$  débit minimal de fonctionnement du compteur et  $q_t$  débit de transition*

Pour un débit compris entre  $q_{min}$  et  $q_t$ , la précision du compteur est meilleure que 5 %. Pour un débit supérieur au débit de transition  $q_t$ , la précision du compteur est meilleure que 2 %.

**Les compteurs principalement proposés par les constructeurs sont généralement des compteurs volumétriques à piston oscillant. Ils ne nécessitent aucune longueur droite et peuvent être posés dans n'importe quelle position.**

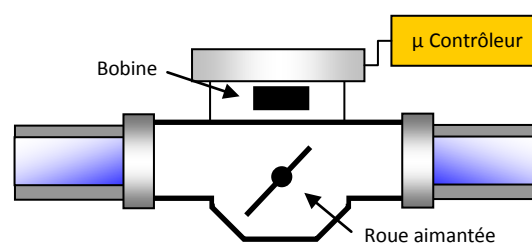
**Les compteurs à turbine ou à hélices** doivent être impérativement installés horizontalement (sauf préconisation spécifique du fabricant) et respecter en amont et en aval du compteur des longueurs droites préconisées par le fabricant (pouvant être remplacées parfois par des nids d'abeilles ou à grille).

Leur pose s'accompagne d'un certain nombre d'accessoires :

- un filtre en amont, obligatoire pour les compteurs à turbine ou à hélice. Le filtre doit être facilement démontable ;
- des vannes d'isolement, pour en simplifier le démontage en cas de dysfonctionnement ou d'entretien ;
- des cônes de réduction : le diamètre des attentes de raccordement du compteur peut être différent de celui des canalisations ;
- un robinet de vidange placé entre les deux vannes d'isolement ;
- des organes de purge, clapet anti-retour (en aval du compteur), etc. ;
- un raccordement par câbles blindés (il convient de respecter le sens de raccordement du compteur).

**Pour le télérelevé, les compteurs seront munis d'un dispositif d'émission à impulsions.**

Le poids d'impulsions est directement lié au débit nominal  $q_n$  et à la technologie du compteur. Pour les débits nominaux faibles, les poids d'impulsion fréquents sont de 0.1, 0.25, 0.5, ou 1 l/impulsion. La fréquence est fixée en usine. Le nombre d'impulsions est proportionnel au débit. Un registre comptabilise le nombre d'impulsions émises et reconstitue l'index du compteur.



SCHEMA D'UN COMPTEUR A IMPULSION

**Les compteurs positionnés sur l'ECS seront des compteurs volumétriques présentant une extrême précision, de classe C, capables de détecter de faibles débits.**

Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre de sondes de température d'ambiance pouvant être utilisées.

## LISTE NON-EXHAUSTIVE DES FABRICANTS DE COMPTEURS D'EAU CHAUDE OU FROIDE

Fabricant	Gamme	Technologie	Classe	DN	PN	Température		Plage de mesure		Prix HT approximatif
						Min	Max	Q <sub>dem</sub>	Q <sub>p</sub>	
						[°C]	[°C]	[l/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
				[mm]	[bar]					[€]
ITRON	US Echo II	Ultrasons	C	20	16	-	5 à 30	2,5 à 15	300 - 900	
				50		109	25 à 150	5 à 30		
	TD8	Volumétrique	B	25 50	16	- 90	- Q <sub>p</sub> /100	1.5 2*Q <sub>p</sub>		
	Aquadis+	Volumétrique	C	15	16	- 30	- Q <sub>p</sub> /100	1.5 2*Q <sub>p</sub>	150	
KAMSTRUP	Ultraflow 14	Ultrasons		15	16 25	2	-	1,5 à 100	420 - 3330	
				100		50	Q <sub>p</sub> /100	2*Q <sub>p</sub>		
	Ultraflow 54	Ultrasons	2/ 3	15 100	16 25	15 130	- Q <sub>p</sub> /100	0,6 à 100 2*Q <sub>p</sub>	420 - 3330	
			Ultraheat 2WR7	Ultrasons	20 100	16 25	5 130	2,4 à 240 Q <sub>p</sub> /100		
LANDIS +GYR	Super T	Electro-magnétique		25	10 40	-20	5 à 2827	1400 - 5000		
				600		130	45 à 55000			
SAPPEL	Altair V4	Volumétrique	2	15	16	-	0.5	75 - 380		
				40		50	5 à 15,6			
SENSUS	Polluflow	Ultrasons	2	20	16 25	5	-	Q <sub>p</sub> /100		
				100		130				
	AN 130	Jets multiples	B	20 40	16 25	10 130	- 30 à 200	120 - 220		

*Q<sub>dem</sub> : Débit de démarrage à partir duquel le compteur se met en fonctionnement*

*Q<sub>j</sub> : Débit minimal à partir duquel le compteur respecte les incertitudes indiquées par sa classe*

*Q<sub>p</sub> : Débit permanent auquel le mesureur peut fonctionner de manière satisfaisante sans interruption*

*Q<sub>s</sub> : Débit de surcharge auquel le compteur doit fonctionner de façon satisfaisante sur une courte période*

## Annexe 2d : compteurs d'énergie électrique

La très grande majorité des installations thermiques (hormis les chauffe-eau solaire thermosiphon) ont recours à des auxiliaires électriques (circulateurs, vannes, régulateurs, compresseurs, ...) ou des appoints électriques par effet Joule (résistance).

La consommation de ces équipements doit être mesurée par des compteurs d'énergie électrique. Pour assurer la transmission des informations vers le poste central, ils doivent disposer soit d'émetteurs d'impulsions, soit de protocole de transmission.

Les compteurs d'énergie électrique doivent être posés conformément aux règles de sécurité électrique, soit dans le tableau électrique de l'utilisateur, soit dans un tableau électrique indépendant.

Il convient de vérifier le sens de pose des transformateurs d'intensité selon les modèles choisis.



Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre de fabricants de compteurs d'énergie électrique.

### LISTE NON-EXHAUSTIVE DES FABRICANTS DE COMPTEURS D'ENERGIE ELECTRIQUE

Fabricant	Gamme
ABB	
CIRCUTOR	
CROMPTON	KWH
ENERDIS	ULYS
FINDER	7E
HAGER	
HONEYWELL	ENERGY METER
IME	
ISKRA	WS
LEM	WI-LEM
ORBIS	CONTAX
SAIA-BURGESS	
SCHNEIDER ELECTRIC	COMPTEURS ME
SIEMENS	
SOCOMEK	COUNTIS
STEPPER	

**Les compteurs électriques seront de classe 1.** Leur calibre sera choisi en fonction de la puissance des résistances électriques qu'ils alimentent (cas des générateurs d'appoint) ou des auxiliaires (pompes, vannes, etc.). **Les énergies électriques comptées devront être relayées au télécontrôle.**

## Annexe 2e : Implantation des sondes de température

### Il existe de nombreux types de capteurs de température :

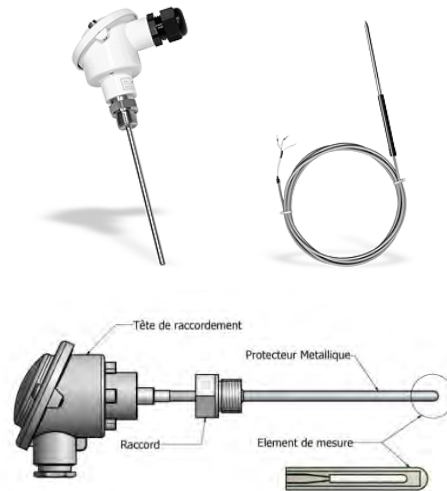
- le thermocouple, générant une tension variable en fonction de la température ;
- la thermistance, basée sur un métal dont la résistance électrique varie avec la température.

### Les principales caractéristiques qui seront recherchées pour ces capteurs de températures sont :

- le coût ;
- la qualité de mesure (coefficient de température, temps de réponse, précision, auto-échauffement, ...) ;
- la fiabilité (durabilité, stabilité de la réponse dans le temps, ...) ;
- la facilité de raccordement et de conditionnement (sensibilité à la mise en œuvre électrique, linéarité du signal, caractéristique du signal d'excitation, ...).

Dans le cadre des applications thermiques grand public, la thermistance est la technologie principalement utilisée. Dans le cadre du monitoring, ce sont notamment les thermistances utilisant le platine (Pt1000) ou le nickel (Ni500).

La mesure de la température de l'eau doit s'effectuer à l'aide d'une sonde adaptée à la plage de température mesurée, et notamment aux températures maximales pouvant être atteintes par l'installation, en fonction de leur emplacement. La sonde de température du capteur doit supporter la température de stagnation du capteur sans que sa précision n'en soit altérée de plus de 1K. Celle du ballon de stockage doit supporter de 0°C à 100°C, sans varier de plus de 1K.



Les mesures de température s'effectuent généralement à l'aide de thermistances dont la résistance diminue avec la température (sondes de platine du type Pt100 ou Pt1000). Elles transmettent un signal électrique proportionnel à la température. La norme NF EN 60751 prévoit deux classes de précision (A et B) pour les sondes de températures.

### CLASSE DE PRECISION DES THERMISTANCES SELON LA NORME NF EN 60751

Classe de tolérance ou de précision	Tolérance
[-]	[°C]
A	$0.15 + 0.002  T $
B	$0.30 + 0.005  T $

|T| représente la valeur absolue de la température [°C]

Les câbles de liaison introduisent une erreur de mesure, fonction de leur longueur et de leur section. **Le câble de liaison entre la sonde et le boîtier d'acquisition doit avoir une section de 0,9 mm<sup>2</sup>.** Le

raccordement est un raccordement de type 2 fils. Cela permet, à moindre coût, de conserver une précision de la mesure même pour de grandes distances de raccordement.

Le tableau suivant présente les erreurs introduites sur la mesure par l'intermédiaire des fils de raccordement.

### ERREURS INTRODUITES PAR LES FILS DE RACCORDEMENT

Section conducteur	Résistance de câble pour 20m de conducteur	Ecart de température pour une Pt 100	Ecart de température pour une Pt 1000
[mm <sup>2</sup> ]	[Ω]	[°C]	[°C]
1,5	0,227	0,58	0,038
<b>0,9</b>	<b>0,378</b>	<b>0,967</b>	<b>0,063</b>
0,6	0,567	1,45	0,094
<b>0,3</b>	<b>1,133</b>	<b>2,90</b>	<b>0,189</b>

**Les câbles de raccordement de la sonde capteur doivent résister aux températures maximales** pouvant être atteintes par l'installation de manière à pouvoir être placés le long des canalisations. Des câbles en silicone supportant des températures jusqu'à 180 °C seront donc à privilégier.

La grandeur essentielle dans le suivi étant la différence de température d'un liquide en amont et en aval d'un échangeur thermique, il convient de **sélectionner des couples de sonde de température appariés**, et de **conserver une longueur de câble de liaison identique pour les deux sondes concernées**. Il faut enrouler et fixer la longueur excédentaire pour conserver une longueur identique sur toutes les sondes. **Si le câble doit être prolongé**, le prolongement s'effectuera par câble 2 x 1 mm<sup>2</sup>, raccordé par épissure soudée et parfaitement isolée (utiliser de la gaine thermo rétractable ou bande adhésive spéciale électricité).

**Les sondes doivent être accessibles** pour assurer les opérations d'entretien et de maintenance. Les sondes de températures seront **obligatoirement posées en doigt de gant**. La présence du doigt de gant présente l'avantage de permettre un remplacement de la sonde sans pour autant devoir vidanger tout ou partie de l'installation. Le doigt de gant doit être rempli de pâte conductrice ou d'huile silicone à grande conductivité thermique. La longueur de la sonde doit être adaptée au diamètre de la canalisation de telle manière à ce que l'élément sensible (extrémité du plongeur) se situe au centre de la canalisation. Les sondes peuvent prendre place :

- **soit sur une canalisation droite**, le plongeur devant alors être incliné à **45°** et placé à contre-courant ;
- **soit dans un coude, position préférable**, la turbulence de l'accident permettant d'avoir une meilleure homogénéité de la température. De plus, pour les faibles diamètres, la présence de l'accident permet une intégration plus simple, quelle que soit la longueur du plongeur.

**Les sondes mises en œuvre doivent être calorifugées et protégées des infiltrations d'eau.** Le degré de protection des sondes de température est au minimum IP33.

L'emplacement et la pose des sondes de température doivent permettre d'obtenir une précision suffisante de la mesure. **Pour garder le maximum de précision, les sondes utilisées seront des Pt1000 de classe A.**





Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre de capteurs pouvant être utilisés.

#### LISTE NON-EXHAUSTIVE DES FABRICANTS DE SONDES TEMPERATURES POUVANT ETRE UTILISEES

Fabricant	Type		Câblage			Classes de précision					Transmetteur	
	Pt100	Pt1000	4 fils	3 fils	2 fils	A	B	1/3 DIN	1/5 DIN	1/10 DIN	Analogique	Bus
ABB	x		x	x	x	x	x				x	x
B+B THERMO-TECHNIK	x	x	x	x	x	x	x	x			x	
BAUMER												
CORREGE	x	x	x	x	x	x	x				x	
DANFOSS	x	x	x	x	x		x	x	x		x	
ENDRESS+HAUSER	x		x	x	x	x	x	x			x	x
HONEYWELL FEMSA	x	x		x		x					x	
JUMO	x	x	x	x	x	x	x				x	
KOBOLD												
LABFACILITY	x	x	x	x	x		x		x		x	
LOREME	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
PROSENSOR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
PYRO-CONTRÔLE	x			x	x	x					x	
RESOL		x										
TC S.A.	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
THERMOEST	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
WATLOW	x	x	x	x	x	x	x				x	

Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre de sondes de température d'ambiance pouvant être utilisées.

#### LISTE NON-EXHAUSTIVE DES FABRICANTS DE SONDE DE TEMPERATURE D'AMBIANCE POUVANT ETRE UTILISEES

Fabricant	Modèle	Transmission	Connexion automatés	Tmin	Tmax	Précision	
[-]	[-]	Analogique	Sans-fil	[-]	[°C]	[°C]	
CORONIS	WaveTherm		x	x	-100	160	0.5
KIMO	TM100	x		x	0	100	0.5
RADIO-TECH	TempSense		x	x	-30	65	1
THERMOKON	EasySens SR04		x	x	0	40	0.4

## Annexe 3 : Préconisations pour les télécontrôleurs

**Le système d'acquisition/traitement/stockage/transmission est un des maillons clés des systèmes de monitoring.** En effet, c'est cet équipement qui va :

- assurer la liaison avec tous les capteurs de mesure, et transformer le signal électrique de la mesure en une valeur physique ;
- réaliser l'ensemble des calculs énergétiques afin d'afficher prioritairement les grandeurs utiles (énergies, rendement, productivité, taux d'économie, ...) ;
- archiver les données mesurées et les grandeurs calculées ;
- transmettre les informations vers l'extérieur.

De ce fait, les types d'entrées/sorties (E/S) que le télé-contrôleur peut avoir à gérer sont nombreux :

- E/S analogiques (tensions ou courants électriques) ;
- E/S digitales (signaux tout ou rien, TOR) ;
- E/S numériques (bus industriels).

**Dans certains cas, les équipements de supervision sont en effet des automates dotés d'entrées/sorties et disposant d'un langage de programmation qui permettra à l'utilisateur de programmer l'ensemble de ces formules de calcul.**

**Dans d'autres cas, les équipements de supervision seront figés en termes de logiciels embarqués, mais permettront au travers d'un catalogue d'applications possibles de s'adapter à de nombreux cas.**



De plus, un autre point important concerne **l'interface homme-machine (IHM)**. Autrefois limitées à des instructions sous forme de lignes de commandes, les interfaces de programmation et de gestion de ces équipements ont fait des d'importants progrès, les rendant plus accessibles aux non-automaticiens. Ces interfaces sont soit des logiciels à installer sur un PC connecté à l'automate en local, soit une interface web embarqué sur l'automate lui-même.

**La possibilité de gérer à distance l'automate et l'installation qu'il contrôle est devenue la norme.** Pour cela, les automates possèdent des modules de communication dédiés aux différents réseaux disponibles.

De part la complexité des installations et les attentes liées au télécontrôleur, la sélection d'un équipement de supervision nécessite d'élaborer un cahier des charges, qui orientera notamment vers la recherche de produits polyvalents ou dédiés en fonction notamment de la capacité à programmer cet équipement.

**De nombreuses qualités seront recherchées pour cet équipement :**

- le coût ;
- la qualité de mesure (précision de la conversion, etc.) ;
- la fiabilité (durabilité, risque de « plantage » informatique, etc.) ;
- la facilité de raccordement ;

- la souplesse de programmation et la polyvalence des voies de mesures ;
- les possibilités d'extension ;
- l'adaptation aux différentes installations ;
- l'ouverture vers le monde extérieur (GSM, Interface Web embarquée, Protocole MBUS, JBUS, etc.) ;
- etc.

Le tableau suivant présente, de manière non-exhaustive, un certain nombre d'automates de télégestion.

LISTE NON-EXHAUSTIVE DES AUTOMATES DE TELEGESTION

Fabricant	Gamme	Communication distante				Interface web intégrée				Protocoles supportés						Alarmes (mail/SMS)	Historisation	Capacité mémoire [Mo]	Prix HT approx. (€)
		RTC	GSM	IP cellulaire	LAN	Consultation	Commande	Synoptiques	Configuration	Modbus	M-Bus	BACnet	LonWorks	KNX	Autres				
CENTRALINE	HAWK				x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	128 + 64		
ENERGIE SYSTEME	ENERGY BOX	x	x	x	x	x	x	x	?	x	?		x		x	x	?		
MIOS	MIOSBOX	x	x	x	x	x	x	x	x	x	?				x	x	x	8 Go	
NAPAC	iRIO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	SD MMC	
PERAX	P400XI	x	x	x	x	x	x	x		x	x				x	x	x	32 + 16	1000
SAUTER	EY-modulo 5				x	x	x	?		x	x	x			x	x		32 + 16	1500
SEMAPHORE	T-BOX	x	x	x	x	x	x	x	?	x	?				x	x	x	16 + 16 + 2 Go SD	900
SOFREL	S500	x	x	x	x	x	x			x	x				x	x	x	25000 points	1000
TREND	iQ3	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	16 + 8	2000
WIT	e@sy-pro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	64 + 64	1000

**Remarque :** Les prix donnés sont approximatifs pour une unité centrale avec au minimum l'alimentation et la communication par ports série et Ethernet, mais sans modules d'entrées/sorties supplémentaires.

## Annexe 4 : protocoles et standards de communication

Cette annexe est en grande partie extraite de la référence [3].

### ▪ Technologies filaires

RS485 : Standard électrique pour les paires torsadées. Le signal est transmis par des variations de tension (liaison différentielle), sur un bus de données bidirectionnel.

RS422 : Cousin du RS485, le signal est transmis sur 2 bus unidirectionnels.

RS232 : Communément appelé « port série » ou encore « port COM », cette liaison est fréquemment utilisée dans l'industrie pour connecter différents appareils électroniques, de même que sur les ordinateurs personnels. Dans ce dernier cas, il tend à être de plus en plus remplacé par le port USB.

BACnet : Protocole de communication pour l'automatisation des bâtiments et le contrôle des systèmes CVC, éclairage, etc. C'est un standard labellisé ASHRAE et ISO. La communication se fait sur réseau filaire.

TCP/IP : Initiales de Transmission Control Protocol et Internet Protocol, ils forment la suite des protocoles internet. Protocole en vigueur sur le réseau informatique.

### ▪ Technologies sans fil

ZigBee : Protocole de communication et réseau sans fil pour bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, dont le développement est supporté par les majors de l'électronique Schneider-Electric, Siemens, Philips, Johnson Controls, etc. D'un point de vue technique, ZigBee est un WPAN (standard IEEE 802.15.4) avec liaison sécurisée utilisant les bandes ISM et S. Les débits sont assez faibles (< 250 Kbits/s) dimensionné pour les réseaux de capteurs et les communications de machine à machine, avec des consommations énergétiques d'émetteurs et collecteurs particulièrement basses. ZigBee n'est pas toujours suffisant pour couvrir la totalité d'un bâtiment, il faut parfois ajouter des répéteurs. ZigBee est déjà largement appliqué et accepté dans le contrôle médical (bio-téléométrie), la logistique, le contrôle industriel et la domotique.

KNX (ou Konnex) : Ce standard de communication pour les bâtiments intelligents est la convergence de Batibus, EHS et EIB depuis 2000. Il est basé sur un réseau et protocole de communication permettant de faire dialoguer tous les éléments destinés à gérer et superviser un bâtiment (capteurs, actionneurs, modules systèmes), très adapté à la domotique. La transmission des informations peut se faire en filaire, par radiofréquence (860 MHz), par infrarouge, sur le courant porteur (CPL), ou en TCP/IP. KNX présente une indépendance totale par rapport à toute plateforme hardware ou software spécifiques, c'est un système à intelligence répartie (multi-maîtres), sans ordinateur de contrôle ou automate centralisateur.

GSM, GPRS, EDGE, 3G : norme de téléphonie mobile (réseau WAN), GSM correspond à la 2ème génération, 3G à la 3ème génération, GPRS et EDGE étant des améliorations de GSM (génération 2,5). La différence entre toutes ces générations est le débit (fréquence d'échange, quantité de données envoyées). Ils permettent de fournir une connectivité IP constamment disponible à une station mobile. Utilisé dans le monitoring pour la télé-relève des acquisitions du site monitoré vers un lieu distant où seront analysées les données.

## Annexe 5 : modèle de tableau de bord de l'installation

Le « tableau de bord de l'installation » synthétise l'ensemble des caractéristiques de l'installation, mais également des grandeurs et des valeurs de réglage obtenues lors de la mise en service, ainsi que des règles de régulation en détail.

**Au tableau de bord, doit être annexé le schéma hydraulique détaillé de l'installation.**

<b>TABLEAU DE BORD</b>		
<b>Installations solaires de rafraîchissement ou de climatisation avec chauffage solaire /eau chaude sanitaire</b>		
<b>Renseignement sur l'installation</b>		
<u>Nom de l'installation</u>		
<u>Adresse</u>		
<u>Intervenants</u>	Maitre d'ouvrage :	
	Exploitants :	
	Etc.	
<b>Schéma de principe</b>		
<b>Descriptif technique</b>		
<b>Circuit solaire (primaire et secondaire)</b>		

<u>Capteurs</u>	Marque / Modèle :	
	Surface unitaire d'entrée :	
	Coefficient $a_0, a_1, a_2$ :	
	Surface d'entrée totale :	
	Nombre de batterie :	
	Inclinaison :	
	Orientation :	
<u>Vannes de réglage</u>	Général :	<i>nb capteurs, débit + vanne de réglage (marque, type, nb de tour)</i>
	Batterie n°1 :	<i>nb capteurs, débit + vanne de réglage (marque, type, nb de tour)</i>
	Batterie n°2 :	...
	Etc. :	
<u>Pompe circuit solaire</u>	Marque / Type :	
	Débit / Hm :	
	Caractéristiques élec. :	
<u>Compteur énergie ou volumétrique</u>	Marque / Type :	
	Qn :	
	DN :	
<u>Sécurité</u>	Vase d'expansion :	<i>volume, marque et type, pression de gonflage</i>
	Soupape de sécurité :	<i>pression de tarage</i>
	Pression de remplissage :	
<u>Fluide caloporteur</u>	Marque / Type :	
	Température de protection :	
	Caractéristiques :	<i>densité <math>\rho</math>, capacité calorifique <math>C_p</math></i>
<u>Pompe circuit secondaire</u>	Marque / Type :	
	Débit / Hm :	
	Caractéristiques élec. :	
<u>Vanne Trois Voies</u>	Marque / Type :	
	Moteur :	<i>Marque / Type</i>

	Contact auxiliaire :	<i>Marque / Type</i>
<u>Echangeur</u>	Marque / Type :	
	Efficacité :	
<b>Machine à sorption</b>		
<u>Machine à sorption</u>	Marque / Type :	
	Caractéristiques électriques :	
	Caractéristiques nominales :	<i>Puissance, débit, température E/S</i>
<u>Ballon stockage Tampon solaire chaud</u>	Marque / Type :	
	Capacité volumique :	
	Calorifuge :	<i>épaisseur, protection feu</i>
<u>Ballon stockage Tampon froid</u>	Marque / Type :	
	Capacité volumique :	
	Calorifuge :	<i>épaisseur, protection feu</i>
<b>Circuit générateur</b>		
<u>Pompe</u>	Marque / Type :	
	Débit / Hm :	
	Caractéristiques élec. :	
<u>Vanne de réglage</u>	Marque / Type :	
	Débit :	
	Nombre de tour :	
<u>Compteur énergie ou volumétrique</u>	Marque / Type :	
	Qn :	
	DN :	
<u>Sécurité</u>	Vase d'expansion :	<i>volume, marque et type, pression de gonflage</i>
	Soupape de sécurité :	<i>pression de tarage</i>
	Pression de remplissage :	
<b>Circuit évaporateur</b>		
<u>Pompe</u>	Marque / Type :	

	Débit / Hm :	
	Caractéristiques élec. :	
<u>Vanne de réglage</u>	Marque / Type :	
	Débit :	
	Nombre de tour :	
<u>Compteur énergie ou volumétrique</u>	Marque / Type :	
	Qn :	
	DN :	
<u>Sécurité</u>	Vase d'expansion :	<i>volume, marque et type, pression de gonflage</i>
	Soupape de sécurité :	<i>pression de tarage</i>
	Pression de remplissage :	
<b>Circuit refroidissement</b>		
<u>Pompe</u>	Marque / Type :	
	Débit / Hm :	
	Caractéristiques élec. :	
<u>Vanne de réglage</u>	Marque / Type :	
	Débit :	
	Nombre de tour :	
<u>Compteur énergie ou volumétrique</u>	Marque / Type :	
	Qn :	
	DN :	
<u>Sécurité</u>	Vase d'expansion :	<i>volume, marque et type, pression de gonflage</i>
	Soupape de sécurité :	<i>pression de tarage</i>
	Pression de remplissage :	
<u>Système de refroidissement</u>	Type :	<i>tour humide ouverte / drycooler / nappe. / etc...</i>
	Marque / Type :	
	Caractéristiques élec. :	
<b>Contrôle-commande</b>		
<b>Organe de</b>	<b>Description de la loi de régulation</b>	



régulation		
<u>Pompe primaire solaire</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
	Valeur seuil sécurité :	
<u>Vanne trois voies solaire</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Pompe secondaire</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Pompe générateur</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Machine à absorption</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Pompe refroidissement</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Système de refroidissement</u>	Type :	TOR / PI / PID
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	

<u>Pompe évaporateur</u>	Type :	<i>TOR / PI / PID</i>
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	
<u>Etc.</u>	Type :	<i>TOR / PI / PID</i>
	Principe :	
	Valeurs seuil marche :	
	Valeur seuil arrêt :	

## Annexe 6 : définitions et formules de calcul des indicateurs de performance et de qualité

### ▪ Calcul des grandeurs dimensionnelles importantes

#### ▪ Pertes thermiques des stockages

Les pertes thermiques globales des stockages chaud et/ou froid sont évaluées par bilan énergétique entrées/sorties sur chaque composants :

- Stockage chaud :

$$\text{Collectif : } Q_{\text{loss chaud}} = Q1 - Q3s - Q4s - Q6$$

$$\text{SSC+ : } Q_{\text{loss chaud}} = Q1 + Q2a - Q3 - Q4 - Q6$$

- Stockage froid :

$$Q_{\text{loss froid}} = Q7 - Q10 + Q8$$

#### ▪ Pertes thermiques des stockages imputables aux appoints

Les pertes thermiques des stockages chaud et froid peuvent être imputées à l'énergie thermique issue de la partie solaire et à l'énergie thermique issue des appoints chaud et froid. **Ne pas considérer la part de pertes thermiques liées aux appoints lors des calculs de l'énergie solaire utile de l'installation reviendrait à imputer celles-ci à l'énergie solaire et donc à pénaliser cette dernière.** Ainsi, les pertes des stockages chaud et/ou froid liées aux appoints sont calculées à partir des pertes globales des stockages chaud et/ou froid ( $Q_{\text{loss chaud}}$  et/ou  $Q_{\text{loss froid}}$ ) au prorata des apports aux appoints chaud et/ou froid ( $Q2a$  et/ou  $Q8$ ) de la manière suivante :

- Stockage chaud :

$$\text{Collectif : } Q_{\text{loss app chaud}} = 0$$

$$\text{SSC+ : } Q_{\text{loss app chaud}} = Q_{\text{loss chaud}} \cdot Q2a / (Q1 + Q2a)$$

- Stockage froid :

Dans le cas où l'appoint froid ( $Q8$ ) est connecté au stockage froid de l'installation solaire, les pertes thermiques du stockage froid imputables à l'appoint ( $Q_{\text{loss app froid}}$ ) sont calculées à partir des formules suivantes :

$$Q_{\text{loss app froid}} = Q_{\text{loss froid}} \cdot Q8 / (Q8 + Q7)$$

#### ▪ Energie solaire utile

L'énergie solaire utile (ESU) correspond à l'énergie solaire thermique valorisée par l'installation intégrant la part des pertes thermiques des stockages chaud et froid imputables aux appoints ( $Q_{\text{loss froid}}$  et  $Q_{\text{loss chaud}}$ ). L'énergie solaire utile définie intègre la prise en compte des pertes thermiques des stockages chaud et froid imputables aux appoints.

$$\text{Collectif : } ESU = Q3 - Q2b + Q4 - Q2c + (Q10 - Q8 + Q_{\text{loss app froid}}) / COP_{th}$$

$$\text{SSC+ : } ESU = Q3 + Q4 - Q2a + Q_{\text{loss app chaud}} + (Q10 - Q8 + Q_{\text{loss app froid}}) / COP_{th}$$

### ▪ **Consommations des appoints**

Les consommations en énergie des appoints chaud et froid peuvent être déterminées à partir :

- **de compteurs divisionnaires sur les appoints** (compteur gaz, compteur électrique, etc.) : il s'agit alors des consommations se rapportant aux besoins totaux (incluant les pertes de distribution et l'efficacité des équipements) ;
- **des énergies thermiques fournies au système** (Q2a, Q2b, Q2c, Q8) **et des rendements** ou efficacités moyens de génération ( $Rg_c$  et  $Rg_f$ ). Il s'agit alors de consommations se rapportant aux besoins utiles (Q3', Q4' et Q10').

**Les valeurs des rendements moyens de génération des appoints à considérer sont présentées en [Annexe 8](#).**

#### - **Appoint chaud :**

La consommation en énergie de l'appoint chaud est déterminée à partir de l'énergie thermique calorifique fournie par l'appoint (Q2) et du rendement moyen de génération calorifique de l'appoint ( $Rg_c$ )<sup>3</sup> :

$$Conso_{app\ chaud} = Q2/Rg_c = (Q2a + Q2b + Q2c)/Rg_c$$

#### - **Appoint froid :**

La consommation en énergie de l'appoint froid est déterminée à partir de l'énergie thermique frigorifique fournie par l'appoint au stockage froid (Q8) et de l'efficacité de génération frigorifique de l'appoint froid ( $Rg_f$ ) :

$$Conso_{app\ froid} = Q8/Rg_f$$

### ▪ **Indicateurs d'efficacité thermique**

#### ▪ **Rendement thermique des stockages**

Les rendements des stockages chaud et/ou froid sont définis par :

#### - **Stockage chaud :**

**Collectif :** 
$$\eta_{stock\ chaud} = 1 - Q_{loss\ chaud} / Q1$$

**SSC+ :** 
$$\eta_{stock\ chaud} = 1 - Q_{loss\ chaud} / (Q1 + Q2a)$$

#### - **Stockage froid :**

Comme précédemment pour le stockage chaud, le rendement de stockage froid ( $\eta_{stock\ froid}$ ) est évalué à partir du bilan d'énergie du stockage froid et sont relatives aux pertes thermiques de celui-ci.

$$\eta_{stock\ froid} = 1 - Q_{loss\ froid} / Q7$$

Remarque : Dans le cas d'un raccordement de l'appoint froid sur le stockage froid, le rendement de stockage froid s'exprime selon la formule suivante :

$$\eta_{stock\ froid} = 1 - Q_{loss\ froid} / (Q7 + Q8)$$

<sup>3</sup> Dans le cas où l'appoint chaud utilise des énergies fossiles (gaz naturel ou fioul), il faut convertir la valeur de la consommation de PCS en PCI et donc diviser celle-ci par 1.11 pour le gaz naturel et 1.07 pour le fioul).

- **Coefficient de performances thermiques**

Le coefficient de performance thermique<sup>4</sup> ( $COP_{th}$ ) correspond au ratio entre l'énergie thermique frigorifique fournie par l'évaporateur ( $Q7$ ) et l'énergie thermique calorifique fournie au générateur de la machine à sorption ( $Q6$ ) :

$$COP_{th} = Q7/Q6$$

- **Indicateurs de performance solaire**

- **Productivité solaire utile**

La productivité solaire utile (PSU) correspond à l'énergie solaire thermique valorisée par l'installation (énergie solaire utile, ESU) ramenée à une surface unitaire de capteurs solaires. Cet indicateur s'exprime en kWh/m<sup>2</sup>. Cet indicateur peut être un bon indicateur pour le dimensionnement car la productivité d'une unité de surface de capteur solaire diminue avec l'augmentation de la surface installée.

$$PSU = ESU/Aa$$

Aa correspond à la surface d'entrée des capteurs solaires exprimée en m<sup>2</sup>.

- **Rendement de captation solaire**

Cet indicateur traduit la capacité de l'installation à récupérer l'énergie solaire disponible, et notamment la performance de la boucle primaire. Ce rendement de captation solaire ( $R_{capt}$ ) se calcule par la relation suivante :

$$R_{capt} = Q1/Qsol$$

- **Rendement solaire**

Le rendement solaire ( $R_{sol}$ ) de l'installation est un nombre adimensionnel qui correspond à l'énergie solaire utile ramenée à l'ensoleillement total sur la surface d'entrée des capteurs. Cet indicateur représente la capacité du système à valoriser l'ensoleillement.

$$R_{sol} = ESU/Qsol$$

- **Coefficient de performance électrique solaire**

Le coefficient de performance « solaire », défini sous le nom de  $COP_{elec\ sol}$  correspond au rapport entre l'énergie solaire utile de l'installation et la consommation des auxiliaires. Cet indicateur traduit le ratio entre l'énergie à fournir au système afin de pouvoir valoriser l'énergie solaire et l'énergie solaire utile. Cet indicateur adimensionnel s'exprime par la relation suivante :

$$COP_{elec\ sol} = ESU/E_{aux\ sol}$$

Cet indicateur peut également s'avérer pertinent en application saisonnière, de manière à dissocier les modes de fonctionnement climatisation/ECS et chauffage et/ou ECS.

- **Indicateur de performance globale du système**

- **Primary energy ratio**

Le PER (Primary Energy Ratio) correspond au ratio entre l'énergie fournie au bâtiment et la consommation en énergies primaires du système. Cet indicateur prend en compte toutes les

---

<sup>4</sup> Ce coefficient n'est valable que pour la saison de climatisation.

consommations énergétiques sous ses différentes formes (électriques, gaz, bois, fioul, etc.) exprimées en énergies primaires.

Cet indicateur permet ainsi de quantifier la performance du système en termes d'efficacité énergétique globale.

$$PER = (Q10 + Q3 + Q4) / (E_{aux} \cdot \epsilon_{elec.} + Conso_{app\ froid} \cdot \epsilon_X + Conso_{app\ chaud} \cdot \epsilon_X)$$

Les coefficients de conversion de l'énergie finale en énergie primaire ( $\epsilon_x$ ) sont les suivants, en accord avec la RT 2012 [12] :

- Electricité : 2,58
- Bois : 1
- Gaz et fioul : 1<sup>5</sup>

Le PER peut être utilisé lors de différentes phases du projet. Ainsi, lors de l'étude de faisabilité, le PER sera établi à partir des besoins calculés du bâtiment. En revanche, lors de la phase de suivi de l'installation, le PER sera établi à partir des énergies mesurées de l'installation.

Remarque 1 : Cet indicateur peut également s'avérer pertinent en application saisonnière, de manière à dissocier les modes de fonctionnement climatisation/ECS et chauffage et/ou ECS.

Remarque 2 : Considérer le PER comme l'indicateur de performance global principal permet de ne pas défavoriser les systèmes d'appoint gaz ou bois, présentant un SPF inférieur au système à compression de vapeur, mais néanmoins un PER du même ordre de grandeur.

## ▪ **Indicateur d'impact écologique**

### ▪ **Consommation en eau spécifique**

La Consommation en Eau spécifique ( $CE_{spé.}$ ) de l'installation représente la quantité d'eau consommée ramenée à la production frigorifique de la machine à absorption et s'exprime en l/kWh. Cet indicateur n'est valable que pour la saison de climatisation.

$$CE_{spé.} = V1/Q7$$

## ▪ **Indicateur économique**

### ▪ **Coût du kWh de production**

L'indicateur de coût du kWh ( $Coût_{kWh}$ ) correspond au rapport entre l'énergie fournie, et le coût des consommations en énergies finales et en eau du système. Il s'exprime en €/kWh.

$$Coût_{kWh} = (E_{aux} \cdot \epsilon_{elec.} + Conso_{app\ froid} \cdot \epsilon_X + Conso_{app\ chaud} \cdot \epsilon_X + V1 \cdot \epsilon_{eau}) / (Q10 + Q3 + Q4)$$

Avec  $\epsilon_{elec.}$  qui représente le prix du kWh électrique en €/kWh,  $\epsilon_{eau}$  qui représente le prix du m<sup>3</sup> d'eau en €/m<sup>3</sup> et  $\epsilon_X$  qui représente le prix du kWh de l'énergie X considérée en €/kWh.

<sup>5</sup> Les coefficients de conversion de l'énergie finale en énergie primaire pour le gaz et le fioul sont établis sur le PCI.

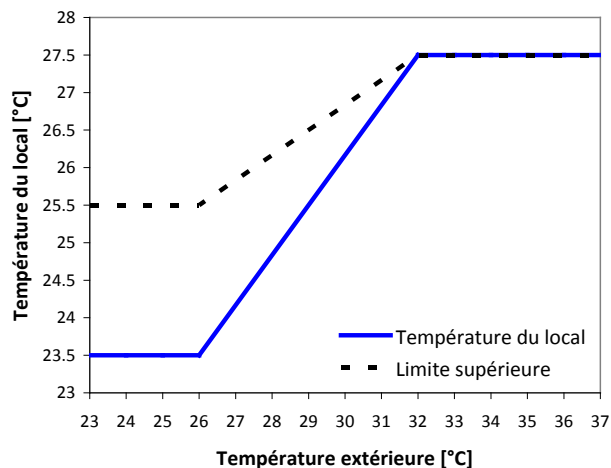
## ▪ Indicateurs de qualité

### ▪ Indicateur de confort

L'indicateur de confort ( $I_{conf}$ ) traduit le bon fonctionnement de l'installation vu du côté utilisateur. Il se sépare en deux saisons correspondant aux saisons de climatisation et de chauffage.

Pour la saison de climatisation, la température du local doit être inférieure à une température seuil fonction de la température extérieure, selon la norme allemande DIN 1946 (voir ci-contre).

Remarque : l'indicateur de confort présenté ici ne tient pas compte du respect de la deuxième consigne de la norme DIN 1946 à savoir une hygrométrie contrôlée (humidité relative constamment inférieure à 50%). En effet, cet indicateur est difficilement applicable, étant donné l'absence quasi systématique d'une mesure d'hygrométrie dans les bâtiments.



TEMPERATURE DE CONFORT EN PERIODE DE CLIMATISATION SELON LA NORME DIN 1946

Pour la saison de chauffage, la température de consigne intérieure est fixe à 19°C, en accord avec la RT 2005.

Pour les deux saisons, l'indicateur de confort est défini de manière relative (en %), par le rapport du nombre d'heures où la température intérieure respecte la consigne sur le nombre d'heure où la consigne doit être respectée. Cet indicateur prend ainsi en compte la gestion des périodes d'absences.

### ▪ Indicateurs de bon fonctionnement

Deux indicateurs de bon fonctionnement sont définis :

- Indicateur de fonctionnement ( $I_{fct}$ ) qui correspond au nombre de jours de fonctionnement de l'installation (la durée d'exploitation) Cet indicateur est exprimé de manière relative (en %) par rapport au nombre de jour de la période concernée ;
- Indicateur de télésurveillance ( $I_{Données}$ ) qui correspond au nombre de jours de pertes de données de suivi de l'installation. Il s'exprime de manière relative (en %) ramenée au nombre de jour de la période concernée.

## Annexe 7 : Définition et formule de calcul des seuils des indicateurs

### ▪ Seuils des indicateurs d'efficacité thermique

#### ▪ Rendement thermique minimum des stockages

Les seuils des rendements des stockages chaud et froid sont déterminés à partir des pertes thermiques théoriques des stockages définies dans la RT2005 [13]. Il s'agit de valeurs minimales.

Les rendements cibles des stockages chaud et froid s'expriment donc de la manière suivante :

#### - Stockage chaud :

$$\text{Collectif : } \eta_{stock\ chaud, \min} = 1 - Q_{loss\ chaud\ ref} / Q1$$

$$\text{SSC+ : } \eta_{stock\ chaud, \min} = 1 - Q_{loss\ chaud\ ref} / (Q1 + Q2a)$$

**Les pertes thermiques du stockage chaud de référence** ( $Q_{loss\ chaud\ ref}$ ) intègrent la prise en compte du volume unitaire des ballons de stockage d'eau chaude de l'installation ( $V_{stock\ chaud}$ ), la température du local où est situé le stockage ( $T_{amb}$  assumée à 20°C), le nombre de mois de fonctionnement de l'installation sur la période considérée ( $N_{mois}$ ) et se calculent par la relation suivante :

$$Q_{loss\ chaud\ ref} = \left[ N_{stock\ chaud} \cdot 4.2 \cdot V_{stock\ chaud}^{0.55} * (T_{chaud} - T_{amb}) \cdot 365 \cdot N_{mois} \right] / (12 \cdot 1000)$$

**La température de stockage d'eau chaude** ( $T_{chaud}$ ) est calculée en fonction du mode de fonctionnement de l'installation (assumée à 80°C en climatisation/rafraîchissement et à 60°C en chauffage/ECS) au prorata mensuel des usages en intégrant la prise en compte du nombre de mois de fonctionnement de l'installation en climatisation ( $N_{mois\ froid}$ ) sur la période considérée ( $N_{mois}$ ) :

$$T_{chaud} = 80 \cdot N_{mois\ froid} / N_{mois} + 60 \cdot \left( 1 - N_{mois\ froid} / N_{mois} \right)$$

Remarque 1 : en l'absence de stockage chaud, le rendement cible de stockage chaud est de 1.

Remarque 2 : dans le cadre d'une étude sur les bonnes pratiques auxquelles observées pour le SSC (Système Solaire Combiné) [14], il s'avère qu'un écart (facteur 2) lié à la mise en œuvre (raccordement hydraulique et qualité de mise en œuvre de l'isolation) est souvent observé entre les pertes théoriques et les pertes réelles.

#### - Stockage froid :

$$\eta_{stock\ froid, \min} = 1 - Q_{loss\ froid\ ref} / Q7$$

Remarque : Dans le cas d'un raccordement de l'appoint froid sur le stockage froid, le rendement de stockage froid s'exprime selon la formule suivante :

$$\eta_{stock\ froid, \min} = 1 - Q_{loss\ froid\ ref} / (Q7 + Q8)$$

**Les pertes thermiques du stockage froid de référence** ( $Q_{loss\ froid\ ref}$ ) intègrent la prise en compte du volume unitaire des ballons de stockage d'eau glacée de l'installation ( $V_{stock\ froid}$ ), la température du local où est situé le stockage ( $T_{amb}$  assumée à 20°C), la température de stockage d'eau glacée ( $T_{froid}$ )



assumée à 12°C), le nombre de mois de fonctionnement de l'installation sur la période considérée ( $N_{\text{mois}}$ ) et se calculent par la relation suivante :

$$Q_{\text{loss froid ref}} = [N_{\text{stock froid}} \cdot 4.2 \cdot V_{\text{stock froid}}^{0.55} * (T_{\text{amb}} - T_{\text{froid}}) \cdot 365 \cdot N_{\text{mois}}] / (12 \cdot 1000)$$

Remarque : en l'absence de stockage froid, le rendement cible de stockage froid est de 1.

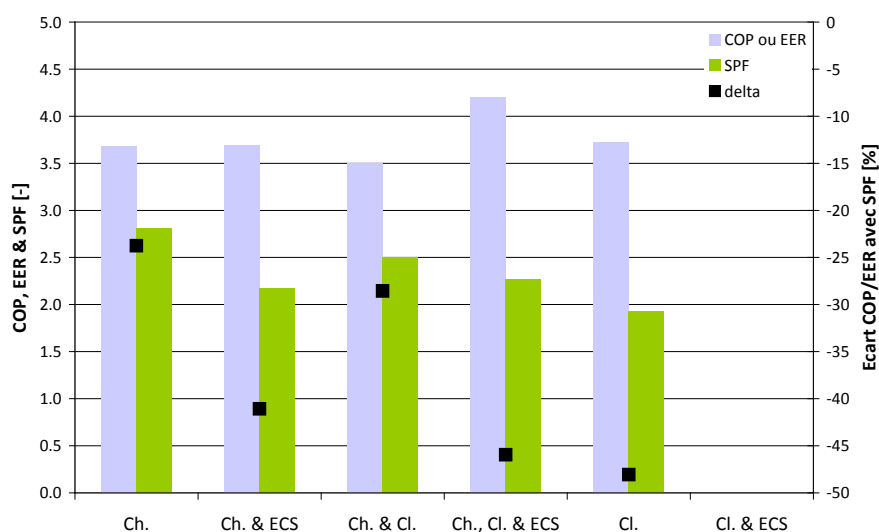
#### ▪ Coefficient de performances thermiques minimum

**Le coefficient de performance traduit le bon fonctionnement de la machine à absorption.** De part sa valeur inférieure à 1 (à l'exception des machines double ou triple effet encore peu représentées sur le marché), il semble important de faire fonctionner la machine dans des conditions proches des conditions nominales (souvent favorables) précisées par les constructeurs. Cette valeur, nommée  $COP_{\text{th, constr.}}$ , est spécifiée dans les documentations techniques des machines à sorption ([Annexe 9](#)) disponibles sur le marché.

Du fait de l'intégration de la machine dans un système et du régime dynamique différents des conditions d'essais constructeur, le  $COP_{\text{th}}$  est rarement égal à la valeur nominale. Ainsi, on peut définir un  $COP_{\text{th}}$  minimum de la manière suivante :

$$COP_{\text{th min}} = 0,80 \cdot COP_{\text{th constr.}}$$

**Le facteur 0,8 utilisé reste ambitieux.** Une étude menée par CLIMESPAC-GDF Suez [24] montrant des performances (EER) de groupe froid à compression de vapeur inférieures de 32% à 78% mesurée in-situ en comparaison avec l'EER spécifié par le fabricant [16]. Une extension de cette étude aux pompes à chaleur et aux configurations réversibles (climatisation et chauffage) montre des écarts entre l'EER/COP et le SPF mesuré in-situ entre 23,8 et 48,1%, figure suivante (à partir d'une synthèse de 570 installations en Europe, tout système de refroidissement confondu).



#### COMPARAISON DU COP ET DE L'EER AVEC LE SPF BASEE SUR DES DONNEES DE SUIVI IN-SITU, EN FONCTION DES CONFIGURATIONS DE SYSTEME [24 A 32]

Remarque 1 : Dans l'idée de maximiser les performances de la machine, il vaudrait sans doute mieux se baser sur les performances maximales de la machine, soit le  $COP_{th}$  maximum. En revanche, celui-ci n'est presque jamais précisé par le constructeur.

Remarque 2 : Dans l'idéal, il faudrait pouvoir se ramener à un  $COP_{th}$  « normalisé » entre les différents constructeurs selon les mêmes niveaux de température. La définition de ce type d'essais est au programme de la Tâche 48 de l'AIE SHC [15].

#### ▪ **Seuil des indicateurs de performance solaire**

##### ▪ **Productivité solaire utile minimum**

Le seuil minimum pour la productivité solaire utile définie dans le programme EMERGENCE [7] est fixé à 350 kWh/m<sup>2</sup>.an. S'agissant d'une valeur annuelle, la définition proposée ci-après intègre une valeur d'ajustement en fonction du temps de fonctionnement de l'installation ( $N_{mois}$ ).

$$PSU_{min} = (350 \cdot N_{mois}) / 12$$

Remarque : L'intégration de la prise en compte du temps de fonctionnement de l'installation dans le calcul de la productivité solaire utile retire à ce dernier la notion de rentabilité de chaque m<sup>2</sup> de capteurs installés. Cette information devra être prise en compte dans les indicateurs économiques.

##### ▪ **Rendement de captation solaire minimum**

Le rendement de captation solaire minimum ( $R_{capt, min}$ ) est calculé à partir des coefficients normalisés ( $a_0$ ,  $a_1$  et  $a_2$ ) de l'équation quadratique du rendement correspondant aux capteurs solaires installés sur l'installation et disponibles sur les avis techniques correspondants.

$$\eta_{capt} = a_0 + a_1 \cdot (T_{av} - T_{ext}) / ENS - a_2 \cdot (T_{av} - T_{ext})^2 / ENS$$

Remarque : du fait de la réflexion sur le rendement global, le facteur de modification de l'angle d'incidence et l'influence du vent sont négligés.

**La température moyenne du capteur ( $T_{av}$ )** est considérée comme une moyenne typique d'utilisation (80°C si climatisation seule, 62.5°C (moyenne entre 80 et 45°C) si utilisation mixte).

**L'ensoleillement moyen (ENS)** du lieu considéré est calculé à partir des mesures d'ensoleillement réalisées sur site ( $Q_{sol}$ ).

$$ENS = \left( 1000 \cdot \sum_0^{12} Q_{sol} \right) / \left( Nh_{ENS} \cdot S_{entrée, capt} \cdot \sum_0^{12} t_{fct} \right)$$

Dans le cas où le temps de fonctionnement n'est pas connu ( $t_{fct}$ ), la durée en jour des mois de fonctionnement sera considérée. La température extérieure moyenne ( $T_{ext}$ ) est considérée, selon les data de la NASA [18] ou, mieux, les données sur site. Le nombre d'heure d'ensoleillement moyen journalier ( $Nh_{ENS}$ ) est pris égal à 8 h/jour (avec un ensoleillement moyen de 12 heures mais sans les limites de fonctionnement des systèmes : seuils de démarrage, masque de proximité, etc.)

### ▪ Rendement solaire minimum

Le rendement solaire minimum de l'installation est basé sur la valeur du rendement de captation et le  $COP_{th}$  de la machine à sorption et les durées de fonctionnement en climatisation ou rafraîchissement/chauffage ou ECS de la manière suivante :

$$R_{sol\ min} = \left[ \left( COP_{th} \cdot N_{clim} \right) / N_{mois} + 1 - N_{clim} / N_{mois} \right] \cdot R_{capt}$$

Remarque : Pour les installations fonctionnant également en chauffage, ce critère semble plus facilement atteignable. Néanmoins, une bonne mise en œuvre de l'installation doit permettre d'atteindre ce seuil minimum de performance.

### ▪ Coefficient de performance électrique solaire

Le coefficient de performance électrique solaire est relatif à la consommation électrique des auxiliaires nécessaires à valoriser l'énergie solaire utile. Le seuil minimum défini par le programme EMERGENCE [7] pour le  $COP_{elec}$  est de 5.

Remarque : Dans le cadre du Programme EMERGENCE [7], cette valeur n'a pas été définie pour la même définition de l'énergie solaire utile et s'avère peut-être peu ambitieuse pour la définition du  $COP_{elec\ sol}$  définie dans le cadre du projet MÉGaPICS.

### ▪ Seuil de l'indicateur de performance globale du système

#### ▪ Primary energy ratio minimum

La littérature [17] donne une plage de valeur adaptée du PER comprise entre 1 et 1.7 pour les systèmes de froid solaire. De la même manière, en considérant une comparaison avec les pompes à chaleur réversible est le Seasonal Performance Factor donné par EUROVENT [16] pour les appareils de classe B minoré de 20% pour traduire son fonctionnement réel, le PER correspondant est de 0,95.

Ainsi le seuil minimum pour le PER est de 1.

### ▪ Seuil de l'indicateur d'impact écologique

#### ▪ Consommation en eau spécifique maximum

Lors d'un fonctionnement « normal », un système de rejet de chaleur avec consommation d'eau (tour de refroidissement, drycooler adiabatique, etc.) consomme environ 2,7 à 3,3 litres d'eau par kWh d'énergie rejetée [19]. Afin d'encourager la réduction des consommations en eau des systèmes, le seuil bas est considéré ici. Le seuil maximal de la consommation en eau peut être ramenée au kWh de froid produit par du l'intermédiaire du  $COP_{th}$  par la formule suivante :

$$CE_{spé.\ max} = 2.7 \cdot (1 + COP_{th}) / COP_{th}$$

- **Seuil de l'indicateur économique**

- **Coût du kWh de production maximum**

Le coût du kWh de production maximum est défini par comparaison avec un système équivalent.

$$Coût_{kwh, max} = \left[ 0.02 \cdot (Q4 + Q3 + Q2) \cdot \epsilon_{elec.} + (Q4 + Q3) / Rg_c \cdot \epsilon_x + Q10 / Rg_f \cdot \epsilon_x \right] / (Q4 + Q3 + Q10)$$

Le système équivalent, c'est-à-dire assurant le même service que l'installation, correspond uniquement aux appoints chaud et froid du système. Si ceux-ci en sont pas connus ou inexistant, le système de référence considéré sera une chaudière gaz ( $Rg_c = 0,75$ ) pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire, et un groupe froid à compression de vapeur ( $Rg_f = 2,46$ ) pour la production de climatisation. En accord avec [5], la consommation des auxiliaires des appoints est assumée à 2% de l'énergie distribuée.

- **Seuil des indicateurs de qualité**

- **Indicateur de confort minimum**

La valeur minimum assumée pour l'indicateur de confort ( $I_{conf, min}$ ) est de 90%.

- **Indicateurs de bon fonctionnement**

La valeur minimum assumée pour l'indicateur de fonctionnement ( $I_{fct, min}$ ) est de 90% et la valeur maximale assumée pour l'indicateur de pertes de données ( $I_{données, max}$ ) est de 10%.

---

## Annexe 8 : Valeurs des rendements de génération calorifique et des efficacités de génération frigorifique

- **Rendement de génération des systèmes de production de chaud**

Les rendements moyens de génération calorifique ( $R_{g_c}$ ) en fonction de la nature de l'appoint, de la technologie et de l'énergie utilisée sont donnés dans le tableau suivant, issu du DPE [2].

## VALEUR DES RENDEMENTS DE GENERATION CALORIFIQUE (RG<sub>c</sub>) EN FONCTION DE LA NATURE DU GENERATEUR, POUR LES IMMEUBLES COLLECTIFS

Installation de chauffage	Rg <sub>c</sub>
Pas de système de chauffage, Convecteurs électriques NF électrique performance catégorie C, Panneaux rayonnants électriques ou radiateurs électriques NF C, Plafond ou plancher rayonnant électrique, Radiateur électrique à accumulation ou plancher électrique à accumulation, Electrique direct ou autre	1
Split ou multisplit	2.6
Radiateurs gaz à ventouse	0.73
Radiateur gaz sur conduits fumées	0.68
Chaudière individuelle gaz installée avant 1988	0.57
Chaudière individuelle gaz installée entre 1988 et 1999	0.68
Chaudière individuelle gaz installée après 2000	0.72
Chaudière individuelle gaz basse température	0.75
Chaudière individuelle gaz condensation	0.8
Chaudière électrique individuelle	0.95
Pompe à chaleur air/air	1.9
Chaudière collective gaz ou fioul installée avant 1988	0.65
Chaudière collective gaz ou fioul sur sol installée avant 1988 et changement de brûleur	0.7
Chaudière collective gaz ou fioul installée entre 1988 et 2000	0.75
Chaudière collective gaz ou fioul installée après 2000	0.8
Chaudière collective gaz ou fioul condensation	0.85
Chaudière collective bois classe inconnue	0.4
Chaudière collective bois classe 1	0.45
Chaudière collective bois classe 2	0.5
Chaudière collective bois classe 3	0.55
Chaudière collective charbon	0.5
Réseau de chaleur	0.9
Chaudière collective électrique	0.95
Convecteurs bijonction	1
Plancher rayonnant électrique collectif	1
Pompe à chaleur électrique collective air/eau	2.6
Pompe à chaleur électrique collective eau/eau	3.2
Pompe à chaleur électrique géothermique	4
Plancher à accumulation électrique	1
Pompe à chaleur gaz air/air ou air/eau	1.2 sur PCS
Pompe à chaleur gaz eau glycolée/eau ou eau/eau (sur PCS)	1.3 sur PCS

**Remarque 1** : le DPE est un outil de diagnostic des performances énergétiques pour les bâtiments existants. Il s'agit donc généralement de systèmes couplés à des équipements existants, type radiateur et des besoins de chaud importants. Ce distinguo est particulièrement important pour les technologies PAC dont les performances sont très dépendantes du couplage avec les autres équipements. Néanmoins, il ne semble pas pertinent de considérer le rendement constructeur de la chaudière car il ne correspond pas à un rendement moyen annuel, mais à un rendement instantané et l'utilisation des rendements de génération du DPE permettent de ne considérer qu'une seule source unifiée pour les différentes natures de générateur.

**Remarque 2** : les valeurs indiquées pour les PAC gaz ne figurant pas dans le DPE, les valeurs proposées ici sont des valeurs moyennes annuelles représentatives des différents produits sur le marché. Ces valeurs ont été obtenues par GDF Suez selon deux méthodes, qui ont donné des résultats identiques :

- en moyennant les valeurs nominales pour les différentes conditions de fonctionnement et en appliquant un ratio correctif pour passer de la valeur nominale à la valeur annuelle. Ce ratio a été validé par un essai sur une PAC moteur gaz ;
- un outil de calcul sous EXCEL (GDF SUEZ) qui permet de prévoir les performances annuelles des valeurs pour différents paramètres de fonctionnement a validé ces valeurs ;
- les rendements de génération pour les générateurs à énergie fossile sont donnés en valeurs sur PCS.

▪ **Efficacité de génération frigorifique des systèmes de production de froid**

Les valeurs de l'efficacité de génération frigorifique ( $R_{g_f}$ ) en fonction de la technologie sont données dans le tableau suivant, issu de la RT 2005 [1].

**VALEUR DE L'EFFICACITE DE GENERATION FRIGORIFIQUE ( $R_{g_f}$ ) NOMINALE EN FONCTION DE LA NATURE DU GENERATEUR**

Type de produit	Efficacité frigorifique nominale ( $R_{g_f}$ )	
	Avant 2000	Après 2000
Climatiseurs 12 – 45 kW	2,4	2,5
Climatiseurs > 45 kW		2,3
Groupe froid à condensation par air 20 – 80 kW		2,5
Groupe froid à condensation par air > 80 kW		2,6
Groupe froid à condensation par eau 20 – 80 kW	4,0	3,8
Groupe froid à condensation par eau > 80 kW	3,7	4,2
Pompe à chaleur moteur gaz air/air		1.5
Pompe à chaleur moteur gaz air/eau		1.3
Pompe à chaleur à absorption		0.7

**Remarque 1** : les valeurs utilisées pour l'efficacité de génération frigorifique correspondent à des valeurs nominales et seront utilisées par défaut en raison de l'absence de valeurs moyennes officielles disponibles.

---

Remarque 2 : les valeurs indiquées pour les PAC gaz ne figurant pas dans le DPE, les valeurs proposées ici sont des valeurs nominales (identiques à celles considérées pour les autres équipements) représentatives des différents produits sur le marché et fournies par GDF Suez. Les valeurs des appoints à énergie gaz sont données sur PCI.

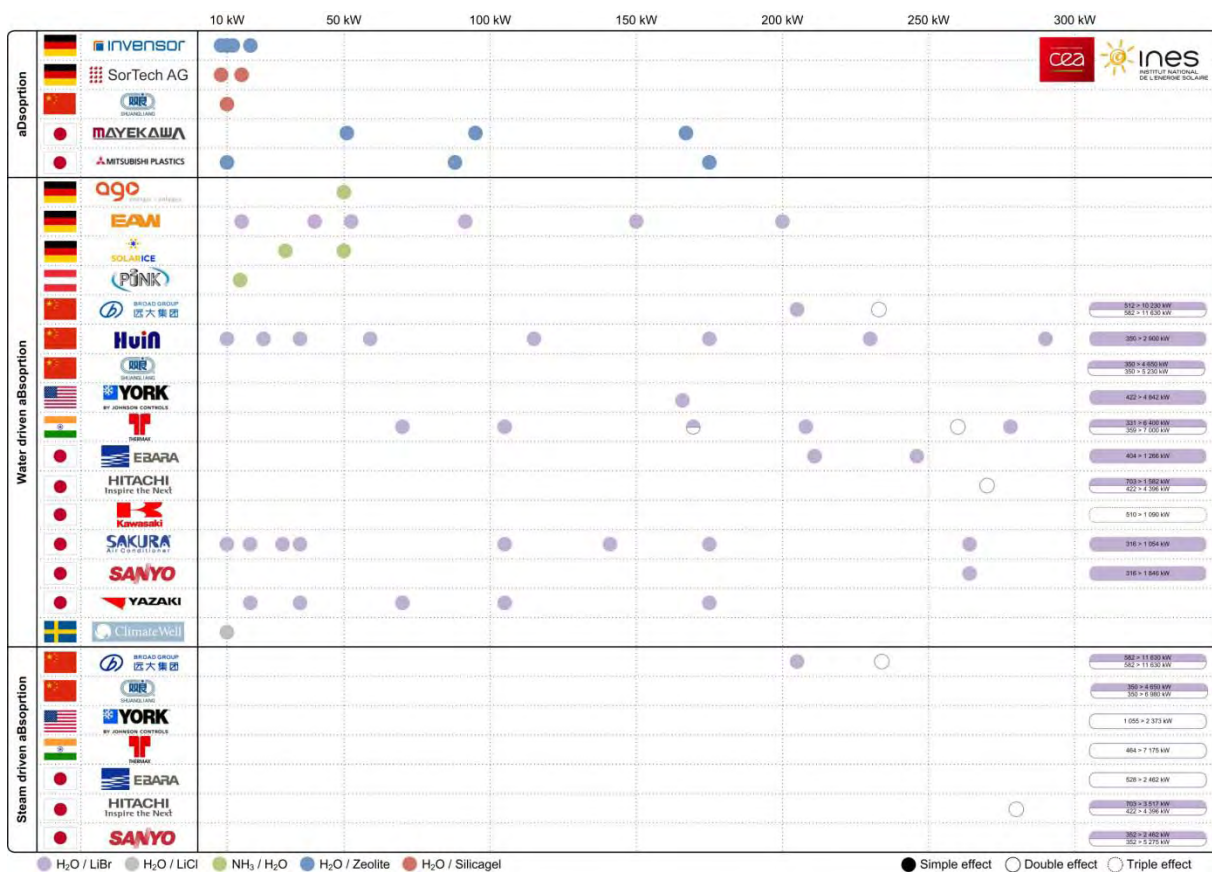


## Annexe 9 : Liste des machines à ab/adsorption commercialisée

Les informations suivantes sont issues d'un sourcing réalisés notamment dans le cadre de la Tâche 48 de l'AIE SHC [15], 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 sorption en juillet 2012

La figure suivante présente un aperçu des machines à sorption commercialisées dans le monde.



### APERÇU DES MACHINES A SORPTION COMMERCIALISEES EN JUILLET 2012

### ▪ Coefficient de performance thermique nominaux (données constructeurs des machines à absorption de puissances frigorifiques inférieures à 200 kW).

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

## PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES MACHINES A SORPTION DE PUISSANCES FRIGORIFIQUES INFERIEURES A 200 KW

Pays	Fabricants	Modèles	Techno.	Couple	Nombre d'effet	Fluide moteur	Puissance frigorifique [kW]	COP <sub>th</sub> [-]
Allemagne	Ago	Congelo 50	aB	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	1	Eau	50.0	0.61
Allemagne	Eaw	Wegracal SE 15	aB	H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	1	Eau	50.0	0.60
		XS 30					30.0	0.50
Allemagne	Sortech	ACS 08	aD	H <sub>2</sub> O/Silica Gel	-	Eau	8.0	0.60
		ACS 15					15.0	0.60
Autriche	Pink	PC19	aB	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	1	Eau	19.0	0.63
		RXZ-11					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 <sub>2</sub> O/Silica Gel	-	Eau	10	0.39
Inde	Thermax	LT 2	aB	H <sub>2</sub> O/LiBr	1	Eau	70.0	0.78
		LT 3					105.0	0.78
		LT 5					171.0	0.78
		HD 10A CU					169.0	1.40
Japon	Mayekawa Mycom	ADR-Z3515	aD	H <sub>2</sub> O/Zéolithe	-	Eau	92.0	0.46
		ADR-Z3525					184.0	0.46
Japon	Mitsubishi Plastics	AHP10	aD	H <sub>2</sub> O/Zéolithe	-	Eau	10.0	0.45
		AQSOA-Z3515					88.0	
		AQSOA-Z3525					175.0	
Japon	Sakura	SHL003	aB	H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O/LiCl	1	Eau	10	0.68

