



## Rapport Final – 25 janvier 2011

---

# SolCool

## Analyse des performances de la climatisation solaire par adsorption et potentiel pour la Suisse

### Rapport final

---

**Mandant:**

Office fédéral de l'énergie OFEN

Programme de recherche énergétique

CH-3003 Berne

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Mandataire:**

Communauté de Recherche HEIG-VD & AIT-CeTT

Route de Cheseaux 1

CH-1401 Yverdon-les-Bains

[www.heig-vd.ch](http://www.heig-vd.ch)

**Auteurs:**

Stéphane Citherlet, Tél.: 024 / 557 63 54, [stephane.citherlet@heig-vd.ch](mailto:stephane.citherlet@heig-vd.ch)

Catherine Hildbrand, Tél.: 024 / 557 63 50, [catherine.hildbrand@heig-vd.ch](mailto:catherine.hildbrand@heig-vd.ch)

Jacques Bony, Tél.: 024 / 557 63 51, [jacques.bony@heig-vd.ch](mailto:jacques.bony@heig-vd.ch)

Annelore Kleijer, Tél.: 024 / 557 63 53, [annelore.kleijer@heig-vd.ch](mailto:annelore.kleijer@heig-vd.ch)

Mircea Bunea, Tél.: 024 / 557 63 51, [mircea.bunea@heig-vd.ch](mailto:mircea.bunea@heig-vd.ch)

Sara Eicher, Tél.: 024 / 557 73 51, [sara.eicher@heig-vd.ch](mailto:sara.eicher@heig-vd.ch)

**Responsable de domaine de l'OFEN:** Jean-Christophe Hadorn

**Chef de programme de l'OFEN:** Andreas Eckmanns

**Numéro du contrat et du projet de l'OFEN:** 152'645

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>Introduction</b>	<b>8</b>
<b>Liste d'abréviations</b>	<b>9</b>
<b>1. Description de l'installation et définitions</b>	<b>10</b>
1.1. Principe de fonctionnement	10
1.2. Circuit HT (circuit haute température, capteurs solaires)	11
1.3. Circuit LT (distribution de froid, bâtiment)	11
1.4. Circuit MT (recooler)	11
1.5. Machine à adsorption	13
1.5.1. SORTECH (ACS 05)	13
1.5.2. Machine SORTECH (ACS 08)	14
1.6. Modifications effectuées sur le stand lors du remplacement (ACS 05 par ACS 08)	15
1.7. Définitions	16
1.7.1. COP thermique de la machine de production de froid.	16
1.7.2. COP électrique de la machine	16
<b>2. Description du programme d'acquisition et de gestion</b>	<b>17</b>
2.1. Acquisition	17
2.2. Gestion	17
2.3. Régulation des émulateurs HT et LT	18
2.4. Régulation de la vanne 3 voies du circuit MT	19
2.5. Régulation de la vanne 2 voies du circuit échangeur MT	20
2.6. Régulation du recooler et du spray	20
2.7. Régulation générale intégrant la machine Sortech	21
<b>3. Tests de reproductibilité du stand de mesures</b>	<b>22</b>
3.1. Avec la machine SORTECH ACS 08	22
3.1.1. Descriptif des tests	22
3.1.2. Résultats obtenus	23
<b>4. Tests en conditions stabilisées</b>	<b>26</b>
4.1. Avec la machine SORTECH ACS 05	26
4.1.1. Descriptif des tests	26
4.1.2. Résultats obtenus	27
4.1.3. Conclusion et plan d'action	28
4.2. Avec la machine SORTECH ACS 08	29
4.2.1. Descriptif des tests	29
4.2.2. Tests "sans cuve" sur circuit HT	29
4.2.3. Tests "avec cuve" sur circuit HT	31
4.2.3.1. Température entrée LT à 18°C et T <sub>SET</sub> à 15°C	31
4.2.3.2. Température entrée LT à 15°C et T <sub>SET</sub> à 10°C	37

<b>5.</b>	<b>Tests en conditions "réelles" (ACS 08)</b>	<b>39</b>
5.1.	Contexte	39
5.2.	Bâtiment	39
5.3.	Climat	40
5.3.1.	Climat de Barcelone	40
5.3.2.	Climat de Zürich	41
5.4.	Capteurs solaires	41
5.5.	Machine Sortech	41
5.6.	Tests de reproductibilité sur une séquence de 6 jours	42
5.7.	Tests de référence 6 jours à Barcelone	44
5.8.	Comparaison entre Zürich et Barcelone	46
5.9.	Tests sans cuve	48
5.9.1.	Objectif	48
5.9.2.	Mesures effectuées	48
5.9.3.	Résultats	48
5.10.	Diminution du débit sur le circuit MT	52
5.10.1.	Objectif	52
5.10.2.	Résultats	52
5.11.	Influence de la température de consigne de sortie du circuit LT (T_SET) sur la machine Sortech	56
5.11.1.	Objectif	56
5.11.2.	Résultats	56
5.12.	Régulation de la machine SORTECH	59
5.12.1.	Objectif	59
5.12.2.	Résultats	59
5.13.	Vitesse de rotation des ventilateurs du recool	62
5.13.1.	Objectif	62
5.13.2.	Résultats	63
5.14.	Influence de la maintenance de la machine Sortech	65
5.14.1.	Objectif	65
5.14.2.	Résultats	65
5.15.	Synthèse de l'ensemble des tests effectués	67
5.16.	Test avec Arpège sur le circuit MT	70
5.16.1.	Objectif	70
5.16.2.	Généralités sur les tests effectués	71
5.16.3.	Mode de fonctionnement S-A-S (Var 2)	71
5.16.4.	Mode de fonctionnement S-R-A-S (Var 3)	72
5.16.5.	Mode de fonctionnement S-A-R-S (Var 4)	73
5.16.6.	Mode de fonctionnement S-A-R avec soutirage en fin de test	74
5.16.7.	Conclusions des tests effectués avec Arpège	75
<b>6.</b>	<b>Modèle numérique de la machine</b>	<b>76</b>
6.1.	Introduction	76
6.2.	Modèle de la machine ACS 08	76
6.2.1.	Test du modèle seul – Mode 1 (débit LT = 2'000 l/h)	77
6.2.2.	Comparaison des performances entre les deux modes de fonctionnement	82
<b>7.</b>	<b>Simulation numérique de l'installation : comparaison avec le banc de tests</b>	<b>83</b>
7.1.	Modèle de l'installation utilisé	83
7.2.	Comparaisons entre résultats simulés et valeurs mesurées	84
7.2.1.	Remarques préliminaires	84
7.2.2.	Débit nominal MT 3700 l/h	85
7.2.3.	Diminution du débit du circuit MT (2000 l/h au lieu de 3700 l/h)	88
7.2.4.	Diminution de la vitesse des ventilateurs du recool	89
7.3.	Conclusion aux simulations basées sur le stand de tests	92

<b>8.</b>	<b>Simulations annuelles de l'installation complète</b>	<b>93</b>
8.1.	Description de l'installation complète ECS+Chauffage+Climatisation	93
8.2.	Paramètres de simulation	94
8.2.1.	Paramètres généraux des systèmes simulés	94
8.2.2.	Climats de référence	95
8.2.3.	Bâtiment	96
8.2.3.1.	Maison familiale	96
8.2.3.2.	Bureaux	97
8.2.4.	Profil de besoins en eau chaude sanitaire	97
8.2.5.	Chaudière a gaz	98
8.2.6.	Cuve de stockage	98
8.2.7.	Recooler	98
8.2.8.	Machine Sortech	98
8.2.9.	Capteurs solaires	100
8.2.10.	Stratégie de contrôle du système	100
8.2.10.1.	Courbe de chauffe	100
8.2.10.2.	Consigne ECS	100
8.2.10.3.	Chaudière à gaz	101
8.2.10.4.	Machine Sortech	101
8.3.	Résultats et analyses	102
8.3.1.	Résultats	102
8.3.2.	Fonctionnement de la machine Sortech	104
8.3.3.	Confort dans le bâtiment	106
8.3.4.	Capteurs plans vs capteurs à tubes évacués	109
8.4.	Conclusions aux simulations annuelles	110
<b>9.</b>	<b>Ecobilan de l'installation de climatisation solaire</b>	<b>111</b>
9.1.	Objectif	111
9.2.	Champ de l'étude	111
9.2.1.	Fonction du produit	111
9.2.2.	Unité fonctionnelle	112
9.2.3.	Limites du système	112
9.2.4.	Base de données	112
9.2.5.	Informations de base nécessaires pour l'écobilan	113
9.2.6.	Données sur les matériaux et les énergies	113
9.3.	Durée de vie	114
9.4.	Les indicateurs	114
9.5.	Analyse d'une installation "réelle"	115
9.5.1.	Installation de référence : Clim. solaire à adsorption avec chaudière à gaz	116
9.5.2.	Configuration 1 : Installation avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz (conf. 1)	118
9.5.3.	Configuration 2 : Installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2)	119
9.5.4.	Configuration 3 : Installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (avec sondes géothermiques) (conf. 3)	121
9.6.	Analyse énergétique des différentes configurations	122
9.6.1.	Configurations avec chaudière (réf. et conf. 1)	122
9.6.2.	Configuration avec groupe frigorifique (conf. 1)	122
9.6.3.	Configurations avec pompe à chaleur (conf. 2 et conf. 3)	122
9.6.4.	Résultats de l'analyse énergétique	124
9.7.	Ecobilan complet des variantes (Matériaux + Energie)	127
9.7.1.	Installation de référence : Clim. solaire à adsorption avec chaudière à gaz	127
9.7.1.1.	Machine Sortech	128
9.7.1.2.	Composants de l'installation de référence	129
9.7.1.3.	Influence de la durée de vie de l'installation	131
9.7.1.4.	Influence du type de capteur installé	133
9.7.1.5.	Influence du site géographique	135
9.7.2.	Installation avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz (conf. 1)	136



9.7.3.	Installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2)	138
9.7.4.	Installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (avec sondes géothermiques) (conf. 3)	140
9.7.5.	Comparaison entre les configurations	143
9.7.5.1.	Zürich / Maison familiale	143
9.7.5.2.	Zürich / Maison familiale → avec pellets	145
9.7.5.3.	Zürich / Bureau	146
9.7.5.4.	Barcelone / Maison familiale	147
9.7.5.5.	Barcelone / Bureau	148
9.8.	Conclusion sur les écobilans	149
<b>10.</b>	<b>Analyse financière</b>	<b>150</b>
10.1.	Coûts d'investissement	150
10.2.	Intérêt	151
10.3.	Frais fixes	151
10.4.	Coût de l'énergie	151
10.5.	Synthèse	153
<b>11.</b>	<b>Intérêt de la climatisation solaire à adsorption en Suisse</b>	<b>156</b>
<b>12.</b>	<b>Conclusions générales</b>	<b>157</b>
<b>13.</b>	<b>Remerciements</b>	<b>160</b>
<b>14.</b>	<b>Références</b>	<b>161</b>
<b>15.</b>	<b>Liste des annexes</b>	<b>162</b>

## Résumé

Le laboratoire d'énergétique solaire et de physique du bâtiment de la HEIG-VD a effectué l'analyse des performances et du potentiel de la climatisation solaire par adsorption pour la Suisse. Ce projet, financé par l'Office Fédéral de l'Energie s'est déroulé en parallèle à la Tâche 38 de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), intitulé « Solar Air-Conditioning and Refrigeration ». Les principales parties de ce mandat peuvent se résumer ainsi :

- Développement et mise en service d'un stand d'essais permettant de tester une machine de climatisation solaire à sorption. Ce stand de tests a la particularité de pouvoir émuler les composants principaux de l'installation, à savoir le bâtiment, le champ de capteurs solaires et le circuit de refroidissement. Il inclut tout un programme d'acquisition et de gestion permettant de faire fonctionner le système de manière reproductible, ceci grâce à l'intégration de simulations TRNSYS dans la boucle de commande et d'acquisition.
- Analyse d'une machine commercialisée par l'entreprise Sortech, dans des conditions stabilisées pour en connaître les performances. Etude du comportement de la machine dans différentes configurations et sa sensibilité à certains paramètres (type de capteur, régulation, etc.)
- Validation d'un modèle de simulation intégrant le modèle de la machine Sortech pour TRNSYS.
- Définition d'une installation de référence composée d'une machine Sortech pour garantir les besoins en froid durant l'été et d'une chaudière pour les besoins en ECS et en chauffage.
- Comparaison de l'installation de référence avec d'autres installations susceptibles de produire du froid et du chaud, dans deux climats différents (Zürich et Barcelone), à savoir une installation à compression avec chauffage au gaz, une PAC réversible "air/eau" et une PAC réversible avec sonde géothermique. Ces comparaisons ont été analysées selon trois critères :
  - Analyse de la consommation énergétique en tenant compte de la production de froid pour climatiser, de chaud durant la période de chauffage et d'eau chaude sanitaire tout au long de l'année.
  - Analyse des impacts environnementaux (écobilan) des installations en tenant compte des matériaux et de l'énergie consommée durant le cycle de vie des installations.
  - Analyse financière en tenant compte des frais d'investissements, des annuités, des frais de fonctionnement et du renchérissement du prix de l'énergie.

Les différents travaux effectués durant ce projet ont permis de montrer les avantages et les limites actuelles d'une machine de climatisation solaire à adsorption. Il ressort de l'étude que l'installation d'une climatisation solaire à adsorption dans un climat comme la Suisse, climat caractérisé par une relative faible demande en froid, ne peut, à l'heure actuelle se justifier financièrement. En effet, les coûts d'investissement d'une telle installation sont à ce jour trop élevés par rapport aux gains énergétiques susceptibles d'être faits grâce aux économies d'énergie liés à l'installation de capteurs solaires. Par contre la situation est différente pour les pays méditerranéens où ce type de système peut se justifier.

Néanmoins, du point de vue des impacts environnementaux, et plus particulièrement de l'énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre, la climatisation solaire avec appoint gaz est comparable aux solutions avec PAC réversibles, voire est plus intéressante avec un appoint à pellets.

## Summary

The investigation of the performance and the potential of adsorption solar air-conditioning within Switzerland was conducted by the Laboratory of Solar Energetics and Building Physics of the HEIG-VD. This project, funded by the Swiss Federal Office of Energy, was run parallel to Task 38 of the International Agency of Energy (IEA) entitled “Solar Air-Conditioning and Refrigeration”. The mandate is summarised as follows:

- Development and commissioning of a test bench to assess a solar cooling sorption machine. This test bench differs from others as it is able to emulate the major components of the facility, namely the building, the solar collectors and the cooling system. It includes a full program of acquisition and management for operating the system in a reproducible manner, thanks to the integration of TRNSYS simulations in the acquisition and control loops.
- Performance analysis of a commercial system from Sortech, under stable conditions. Parametric studies of the machine under different configurations (collector type, control, etc.)
- Validation of a simulation model which includes the TRNSYS model of Sortech.
- Specification of a reference installation comprising Sortech for cooling during summer and a boiler to ensure DHW and space heating.
- Comparison of the reference installation with others systems capable of producing cooling and heating under two different climates (Zürich and Barcelona). The other systems are: compression unit with gas boiler; reversible “air/water” HP and reversible HP with boreholes. These comparisons were based on three criteria:
  - Energy consumption analysis taking into account the energy for space heating in winter, air-conditioning in summer and DHW throughout the year.
  - Environmental impact assessment (ecobalance) of the installations including materials and energy consumed during the facilities life cycle.
  - Financial analysis taking into account investment costs, annuities, operating costs and the increase of energy prices.

The investigations performed during this project have shown the current limits of the adsorption solar cooling system. It appears from the study that this type of installation in a climate, such as that of Switzerland, characterized by a relatively low demand for cooling, is not currently financially justified, even if from the point of view of primary energy, this solution is comparable with the HP solutions. Indeed, the investment costs of such a facility are far too high in comparison to the energy gains that could be achieved through the energy savings associated with the installation of solar collectors. However, this situation is different for Mediterranean countries where this type of system could be adequate.

Nevertheless, in terms of environmental impacts, particularly primary energy and greenhouse gas emissions, the solar air-conditioning with a gas backup system was shown to be comparable to the reversible HP solutions and is probably more interesting if a pellet backup system is employed.

## Introduction

Ce projet a pour objectif d'analyser le potentiel en Suisse d'une installation permettant de produire de l'eau chaude pour le chauffage et/ou l'ECS en hiver et pour la climatisation en été à partir d'un combi-système commercialisé et modifié sur lequel s'ajouterait une installation de froid par adsorption.

Ce projet a été financé par l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN) et s'est déroulé durant la Tâche 38 de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) intitulée *Solar Air-Conditioning and Refrigeration*, qui a comme principal objectif de mettre en œuvre des mesures pour une introduction accélérée sur le marché des systèmes de climatisation et de réfrigération solaires.

Dans le cadre de ce projet, un stand de tests a été dimensionné et installé dans les locaux du Laboratoire d'énergétique solaire et de physique du bâtiment (LESBAT) de la Haute Ecole d'ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD). Ce stand permet d'analyser les performances d'une installation solaire en émulant la production d'eau chaude des capteurs solaires et la consommation d'énergie d'une installation (bâtiment, processus industriel, etc.).

Plutôt que de développer une machine, il a été décidé, dans le cadre de ce projet, d'acheter une machine à adsorption du commerce. Après analyse du marché en tenant compte des performances et de la disponibilité, c'est une machine à adsorption de l'entreprise allemande SORTECH [14] qui a été retenue.

L'objectif principal de ce projet consistait à comparer différentes installations permettant d'assurer un refroidissement estival, un chauffage hivernal et la production d'eau chaude sanitaire durant l'année. Pour ce faire, des simulations numériques ont été effectuées, celles-ci couplant l'installation Sortech à une chaudière à gaz. Les résultats ont été comparés à différents systèmes au niveau de l'analyse de cycle de vie (LCIA) et des aspects financiers. Les systèmes retenus pour cette comparaison sont :

- Système conventionnel (chaudière à gaz pour la production de chaud et compresseur électrique pour la production de froid)
- PAC réversible "air/eau"
- PAC réversible "sol/eau"

En parallèle à ce projet, le LESBAT a participé d'une façon régulière aux différents meetings de la Tâche 38 de l'AIE pour partager les expériences et les connaissances des autres équipes. Le LESBAT, s'est plus particulièrement attaché à l'élaboration du rapport final relatant l'analyse de cycle de vie des systèmes de climatisation solaire (sous-tâche D) et en présentant les résultats obtenus sur le stand de mesures et par le modèle de simulation développé (sous-tâche A et C).

## Liste d'abréviations

### **Symboles**

CED	Energies totales (non-renouvelables et renouvelables)	[MJ-éq]
COP	Coefficient de performance thermique de la machine	[-]
COP <sub>électrique</sub>	Coefficient de performance de l'installation tenant compte des consommations électriques des composants	[-]
E	Energie électrique	[kWh]
H	Hauteur	[m]
GWP	Gaz à effet de serre	[kgCO <sub>2</sub> -éq]
NRE	Energies non-renouvelables	[MJ-éq]
Q	Energie thermique	[kWh]
T	Température	[°C]
UBP	Umwelt Belastung Punkten	[points]
W <sub>élec</sub>	Energie électrique	[kWh]
$\eta$	Rendement	[-]

### **Indices**

amb	se rapportant à l'ambiance
annuelle	sur l'année
Carnot	Carnot
chaude	se rapportant à la source chaude
chaudière	se rapportant à la chaudière
froide	se rapportant à la source froide
circulateurs	se rapportant aux circulateurs des circuits hydrauliques
consigne_ch	consigne chauffage
exer	exergétique
ext	se rapportant à l'extérieur
gaz	se rapportant au gaz
HT	se rapporte au circuit des capteurs (circuit à haute température)
IN	entrée à la machine de climatisation
LT	se rapporte au circuit de distribution de froid (circuit à basse température)
MT	se rapporte au circuit du recool (circuit à moyenne température)
recooler	se rapportant aux ventilateurs du recool
SET	consigne du circuit LT (machine Sortech)
Sim	obtenu par simulation
sol	solaire
SORTECH	se rapportant à la machine SORTECH
OUT	sortie de la machine de climatisation

# 1. Description de l'installation et définitions

## 1.1. Principe de fonctionnement

Une installation de climatisation solaire "standard" avec machine à ab- ou ad-sorption se compose des éléments représentés dans la figure 1, à savoir :

- un système de distribution de froid (lié au bâtiment)
- une installation solaire (avec cuve de stockage)
- un circuit de refroidissement (recooler)
- la machine à ab- ou ad-sorption

La Figure 1 représente schématiquement les différents composants de l'installation étudiée.

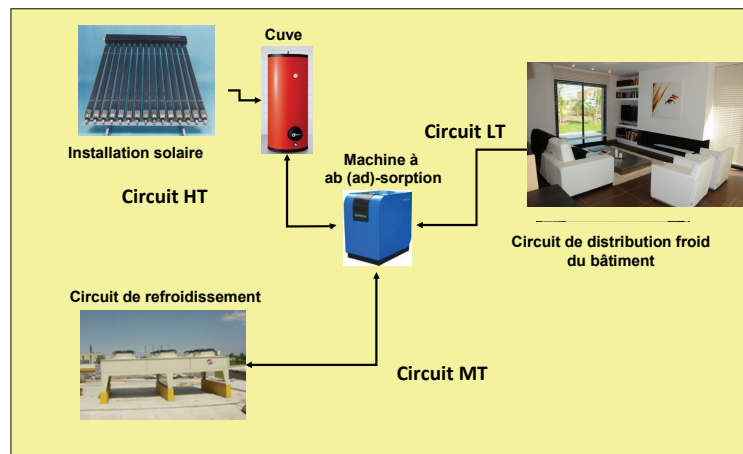


FIGURE 1 : COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION DE CLIMATISATION SOLAIRE

Le banc de mesures inclut ces différents éléments, cependant, l'installation solaire et le circuit de distribution du bâtiment sont remplacés par des émulateurs (corps de chauffe électriques). Ceux-ci permettant d'émuler (1) n'importe quel champ de capteurs solaires fonctionnant sous différents climats et (2) n'importe quel bâtiment avec différentes affectations et caractéristiques architecturales. Etant obligé d'installer le recooler à l'extérieur du bâtiment, un échangeur de chaleur à plaques a été ajouté sur le circuit de refroidissement pouvant ainsi garantir une température de retour du recooler vers la machine à adsorption indépendamment des conditions météorologiques extérieures. Cette façon de procéder permet de faire des tests reproductibles tout au long de l'année et pour n'importe quel climat étudié.

Ainsi, notre installation comprend :

- Le circuit émulant les capteurs solaires (puissance 8.9 kW), appelé circuit HT
- Le circuit émulant le bâtiment (puissance 5.5 kW), appelé circuit LT
- Le circuit d'évacuation de la chaleur avec aéro-refroidisseur (appelé aussi recooler) (puissance 14.4 kW), appelé circuit MT

Le stand est équipé d'éléments de mesures (débits, températures) afin de pouvoir faire des bilans d'énergie selon des conditions météorologiques définies. L'ensemble de ces points de mesures est connecté à une chaîne d'acquisition pilotée par le logiciel Labview.

Le circuit LT (basse température) est rempli avec de l'eau adoucie. Les deux autres circuits contiennent de l'eau glycolée (monopropylène glycol) à 40%.

## **1.2. Circuit HT (circuit haute température, capteurs solaires)**

Le champ de capteurs solaires est remplacé par un émulateur d'une puissance de 20 kW. La puissance nominale demandée par Sortech est de 8.9 kW (ACS 05) et 13.5 kW (ACS 08).

Une cuve de 300 litres a été ajoutée sur ce circuit, ceci pour les raisons suivantes :

- Le stock évite les fluctuations de puissance liées aux variations d'ensoleillement. La température d'entrée dans l'adsorbeur sera de ce fait plus constante.
- Lors de la commutation entre les deux réacteurs, la cuve évitera les grandes variations de température dans le réacteur durant les premières minutes de chauffe, ceci nuirait au rendement de l'installation.

La flexibilité du réseau hydraulique du stand de mesures permet de tester le fonctionnement de la machine Sortech avec ou sans cuve.

## **1.3. Circuit LT (distribution de froid, bâtiment)**

La demande en froid du bâtiment est émulée par un corps de chauffe électrique d'une puissance de 10 kW.

## **1.4. Circuit MT (recooler)**

Un aéro-refroidisseur de marque Güntner a été fourni avec l'installation Sortech. Celui-ci est installé à l'extérieur du bâtiment et est raccordé avec une tuyauterie d'environ 50 m de long. Cet aéro-refroidisseur a une puissance nominale de 24 kW sous une différence de température de 2.4 K (41-34°C) entre le circuit à refroidir et la température de l'air. Les caractéristiques techniques de cet aéro-refroidisseur se trouvent dans l'Annexe 3.

Afin de garantir une température constante de refroidissement à la sortie de recooler, un échangeur à plaques est installé sur ce circuit. Le côté secondaire de l'échangeur est alimenté par l'eau du réseau. Signalons que le recooler possède une rampe de buses de sprayage afin de pouvoir améliorer ses performances durant les périodes estivales, si nécessaire.

Un combi-système "Arpège" est installé sur ce circuit (Figure 2). Ce raccordement permet d'évaluer l'intérêt d'un refroidissement des réacteurs de la machine Sortech par l'eau froide se trouvant dans le bas de la cuve du combi-système. N'ayant pas de raccordement gaz dans le bâtiment à St-Roch, le brûleur d'Arpège a été remplacé par un corps de chauffe électrique d'une puissance de 20 kW.



FIGURE 2 : COMBI-SYSTEME ARPEGE

Un système de vanne de passage permet de guider le fluide du circuit MT dans les différents éléments afin de pouvoir étudier les différentes variantes de fonctionnement schématisées dans la Figure 3.

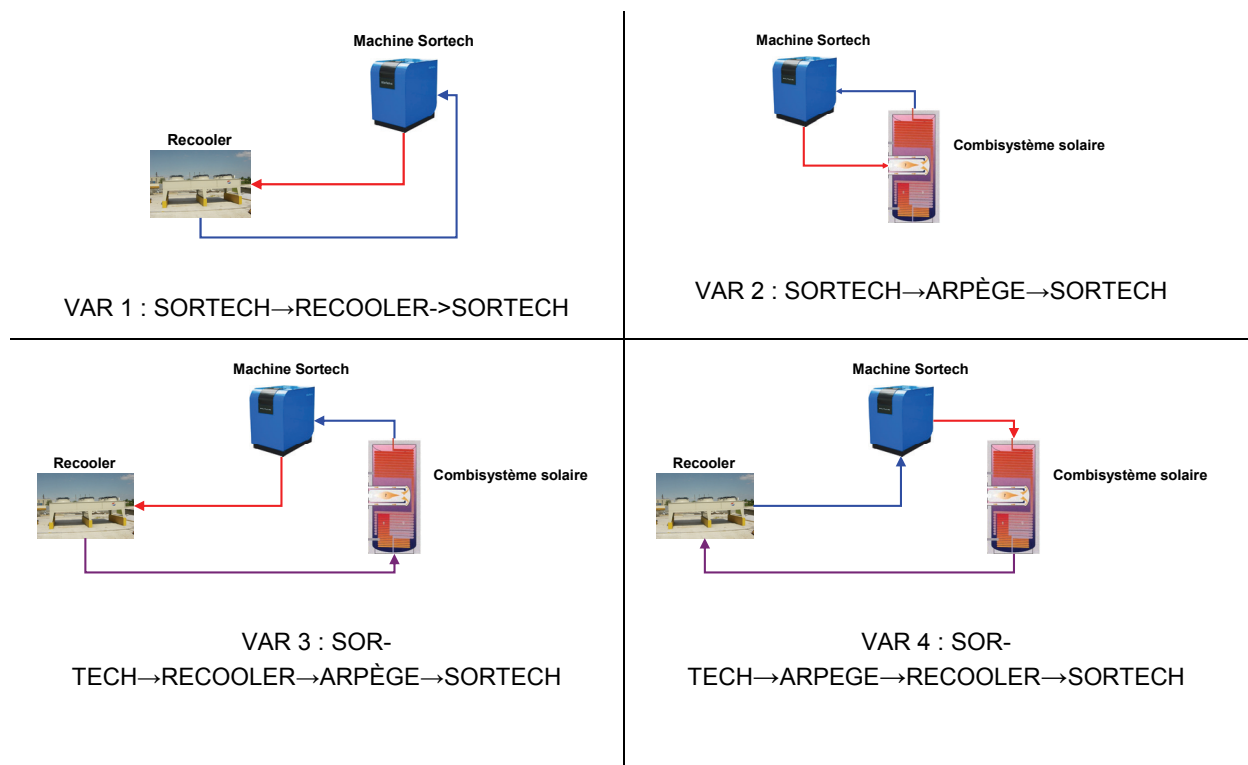


FIGURE 3 : DIFFERENTES POSSIBILITES DE RACCORDEMENT SUR LE CIRCUIT MT

Dans la première configuration (VAR 1), les adsorbeurs de la machine Sortech sont refroidis seulement avec le recool. Cette variante permet de tester le mode de refroidissement "standard" de Sortech. La seconde configuration (VAR 2) permet de refroidir les adsorbeurs seulement grâce au combi-système, i.e. la chaleur des réacteurs est récupérée dans le bas de la cuve de l'installation solaire. Cela permettra d'observer le potentiel thermique d'un tel refroidissement (apport énergétique dans la cuve et diminution de la puissance électrique des ventilateurs du recool).



Les variantes 3 et 4 associent le recool et le combi-système. Dans la variante 3, le fluide se refroidit dans le recool puis dans le combi-système, alors que l'ordre est inversé dans la variante 4. Ces deux dernières variantes permettront de situer le potentiel énergétique de ces configurations par rapport aux variantes 1 et 2 (cf. ch 5.16).

### 1.5. Machine à adsorption

En 2007, le LESBAT a fait l'acquisition d'une machine Sortech d'une puissance nominale de 5.5 kW (ACS 05). Mais en cours de projet cette machine a été remplacée avec une machine d'une puissance nominale de 8 kW (ACS 08).

#### 1.5.1. SORTECH (ACS 05)

La machine SORTECH est une machine frigorifique à adsorption fonctionnant avec le couple silicagel-eau. Cette machine ayant une puissance frigorifique nominale de 5.5 kW qui a été testée. La fiche technique de cette machine se trouve dans l'Annexe 1.



FIGURE 4 : MACHINE SORTECH DANS LES LOCAUX DU LESBAT



FIGURE 5 : RACCORDEMENT DES CIRCUITS A LA MACHINE SORTECH (DE GAUCHE A DROITE : HT; MT; LT) AVEC LES SONDAS DE TEMPERATURE PERMETTANT DE FAIRE LES BILANS D'ENERGIE

Cette machine a été mise en service le lundi 3 novembre 2008 par un technicien de la maison Sortech.

Mais après plusieurs vérifications du banc de tests et plusieurs entretiens de la machine effectués par nos soins et par un employé du fournisseur, il est apparu que la machine testée était défectueuse. Les performances mesurées avec cette machine étaient bien en dessous de ce qui était promis par le fabricant. Il a été nécessaire de changer de machine en cours de projet et d'adapter le banc de mesures à la nouvelle machine.

### 1.5.2. Machine SORTECH (ACS 08)

La machine SORTECH ACS 08 est basée sur le même principe de fonctionnement que la précédente machine ACS 05. Elle utilise également le couple silicagel-eau et possède une puissance frigorifique nominale de 8 kW. Ce modèle, contrairement au modèle ACS 05 testé auparavant, est un modèle commercial.



FIGURE 6 : MACHINE SORTECH ACS 08 DANS LES LOCAUX DU LESBAT



FIGURE 7 : RACCORDEMENT DES CIRCUITS A LA MACHINE SORTECH

Le Tableau 1 résume les principales caractéristiques des deux machines. La fiche technique de la machine ACS 08 se trouve dans l'Annexe 2.

	ACS 05	ACS 08
<b>Puissance nominale froide [kW]</b>	5.5	8.0
<b>Débit nominal circuit LT [kg/h]</b>	1'700	2'000
<b>Perte de charge LT [mbar]</b>	350	300
<b>Débit nominal circuit HT [kg/h]</b>	1'000	1'600
<b>Perte de charge HT [mbar]</b>	250	230
<b>Débit nominal circuit MT [kg/h]</b>	2'700	3'700
<b>Perte de charge MT [mbar]</b>	670	350
<b>Commande de la vitesse ventilateurs recoolers</b>	Non	Oui
<b>Commande du spray recoolers</b>	Non	Oui

TABLEAU 1 : PRINCIPALES DIFFERENCES ENTRE LES DEUX MACHINES SORTECH (ACS 05 ET ACS 08)

En plus des différences indiquées dans le tableau ci-dessus, un module de régulation convivial est fourni avec le modèle ASC 08, ce qui permet à l'utilisateur de vérifier quelques valeurs de fonctionnement de la machine ainsi que son état (ON/OFF).

L'ACS 08 est configurée pour fonctionner selon deux températures ( $T_{SET}$ ) au niveau de la sortie d'eau du circuit du bâtiment (LT). Un mode  $T_{SET} = 15\text{ °C}$  pour une installation de distribution avec plafond froid et un mode  $T_{SET} = 10\text{ °C}$  pour une installation avec distribution par système de ventilation.

## MODE "ECO" ET MODE "POWER"

La machine ACS 08 présente deux modes de fonctionnement et passe d'un mode à l'autre en fonction des conditions rencontrées :

- Le mode "POWER" : La machine se met dans ce mode lorsqu'elle n'arrive pas à atteindre la température de consigne  $T_{SET}$  sur le circuit LT (la régulation de Sortech effectue une moyenne temporelle sur la température). Dans ce mode, la puissance de sortie froide est maximale, la durée des cycles est raccourcie et le COP est inférieur au mode "ECO".
- Le mode "ECO" : La machine se met dans ce mode lorsqu'elle arrive à fournir la température  $T_{SET}$ . La puissance froide est inférieure à la puissance maximale, la durée des cycles est plus longue et le COP est meilleur que dans le mode "POWER".

Nous verrons par la suite que le passage d'un mode à l'autre a posé quelques soucis lors de l'analyse des tests.

### 1.6. Modifications effectuées sur le stand lors du remplacement (ACS 05 par ACS 08)

Comme le montre le Tableau 1, les caractéristiques nominales de débit et de pression de la nouvelle machine ont changées par rapport à l'ancienne.

Par conséquent, les circulateurs des groupes LT, MT et HT entre la cuve et les capteurs ont dû être adaptés. Ces nouveaux circulateurs permettent d'obtenir les valeurs de consignes nominales spécifiées par l'entreprise SORTECH mais, augmentent la consommation électrique des auxiliaires.

	ACS 05	ACS 08
Circulateur HT principal (8)	EMB TOP S 30/10	EMB TOP S 30/10 (inchangé)
Circulateur HT cuve (16)	EMB RS 30/6	EMB TOP S 30/7
Circulateur LT (29)	EMB TOP S 30/7	EMB TOP S 30/10
Circulateur MT principal (47)	IPL 32/130	IPL 32/160

TABEAU 2 : NOUVEAUX CIRCULATEURS INSTALLES SUR LE BANC DE TESTS

De nouvelles mesures des consommations électriques des circulateurs ont été effectuées. Lors de ces mesures, il a été constaté que les variateurs de courant installés sur ces circulateurs entraînaient des perturbations électriques sur ces circulateurs. Ces variateurs ont été remplacés par des relais à semi-conducteur afin de régler ce problème.

La machine Sortech (ASC 08) permet de commander directement la vitesse des ventilateurs du recool et l'ouverture de la vanne de spray du recool. Cette fonction a donc été intégrée à la chaîne de commande et incluse dans l'acquisition Labview.

Quatre sondes de température de surface ont été ajoutées sur le condenseur, sur l'évaporateur et une sur chaque réacteur d'adsorption de la machine.

La mise en service de la nouvelle machine a été faite le 8 octobre 2009. Aucun problème n'a été décelé lors de cette mise en service.

## 1.7. Définitions

Pour effectuer l'analyse des simulations annuelles, quelques définitions sont mentionnées dans ce chapitre.

### 1.7.1. COP thermique de la machine de production de froid.

Le coefficient de performance de la production de froid par la machine thermique, noté COP dans ce rapport, est calculé uniquement avec l'énergie froide (LT) fournie par la machine divisée par l'énergie chaude fournie à la machine (HT).

$$COP = \frac{Q_{LT}}{Q_{HT}} \quad (1)$$

Avec :

$Q_{LT}$	Energie thermique fournie par la machine pour le refroidissement du bâtiment [kWh]
$Q_{HT}$	Energie thermique fournie à la machine par le circuit chaud (solaire) [kWh]

### 1.7.2. COP électrique de la machine

Le coefficient de performance électrique ( $COP_{\text{électrique}}$ ) est le rapport entre l'énergie froide (LT) produite par la machine et la consommation électrique de l'ensemble des composants faisant fonctionner l'installation de production de froid (recooler, circulateurs (HT, MT, LT, solaire) et machine).

$$COP_{\text{électrique}} = \frac{Q_{LT}}{W_{\text{elec\_SORTECH}} + W_{\text{elec\_recooler}} + W_{\text{elec\_circulateurs}}} \quad (2)$$

Avec :

$Q_{LT}$	Energie thermique fournie par la machine pour le refroidissement du bâtiment [kWh]
$W_{\text{elec\_SORTECH}}$	Energie électrique consommée par la machine SORTECH
$W_{\text{elec\_recooler}}$	Energie électrique consommée par les ventilateurs du recooler
$W_{\text{elec\_circulateurs}}$	Energie électrique consommée par circulateurs des circuits HT, MT et LT

## 2. Description du programme d'acquisition et de gestion

### 2.1. Acquisition

Comme écrit précédemment, l'acquisition est gérée par un programme Labview, dont la chaîne d'acquisition est schématisée dans la Figure 8.

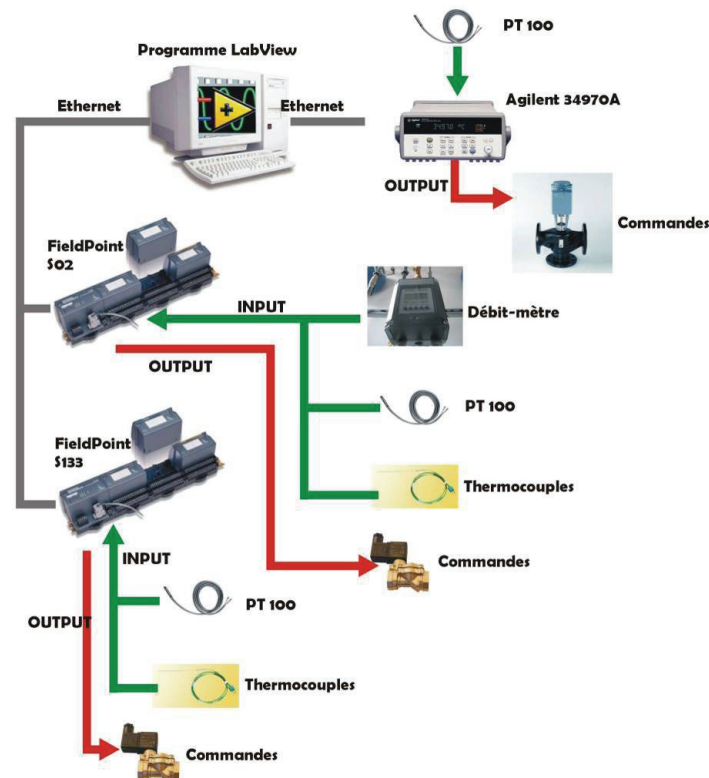


FIGURE 8 : PRINCIPE DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION ET DE COMMANDE

La majorité des points de mesures et de commandes se fait grâce au système "FIELD-POINT" de National Instrument. Un système principal est situé dans le local de la machine Sortech alors qu'un système de contrôle est situé sur la toiture où est situé le recool. Ces deux systèmes communiquent avec le cerveau de l'installation par le réseau Ethernet de l'Ecole. Un acquiesiteur commande l'ouverture et la fermeture des vannes mélangeuses et autres vannes de passage.

Les sondes de température sont de deux sortes. Des PT100 (4 fils) pour les mesures de température entrant dans les bilans d'énergie et des thermocouples (type k) pour les mesures de températures indicatives.

Des boucles permettant de faire des bilans d'énergie toutes les secondes ont été intégrées au programme d'acquisition.

### 2.2. Gestion

L'élément maître de la gestion de l'installation est fait par un module Trnsys qui tourne en parallèle dans le programme d'acquisition. Ce module permet de simuler le comportement d'un bâtiment, après en avoir défini un modèle numérique, pour des conditions météorologiques spécifiées. Toutes les minutes, le module Trnsys est lancé, prenant en compte dans son calcul les mesures prises sur l'installation, puis génère de nouvelles consignes.

### 2.3. Régulation des émulateurs HT et LT

Les thyristors associés à la régulation permettent de contrôler la température de sortie des émulateurs. Trnsys génère chaque minute une température de consigne, celle-ci est transmise au régulateur via le programme de gestion Labview. Ce régulateur envoie un signal au thyristor qui commande les émulateurs.

Pour ces deux éléments, un paramétrage automatique a été effectué au moyen du régulateur installé sur le stand (régulation PID).

Les Figure 9 et Figure 10 illustrent un exemple de comparaison entre la température de consigne et celle mesurée à la sortie des deux émulateurs (respectivement les courbes en rouge et en rose). La bonne superposition des courbes permet d'affirmer que les paramètres choisis sont appropriés.

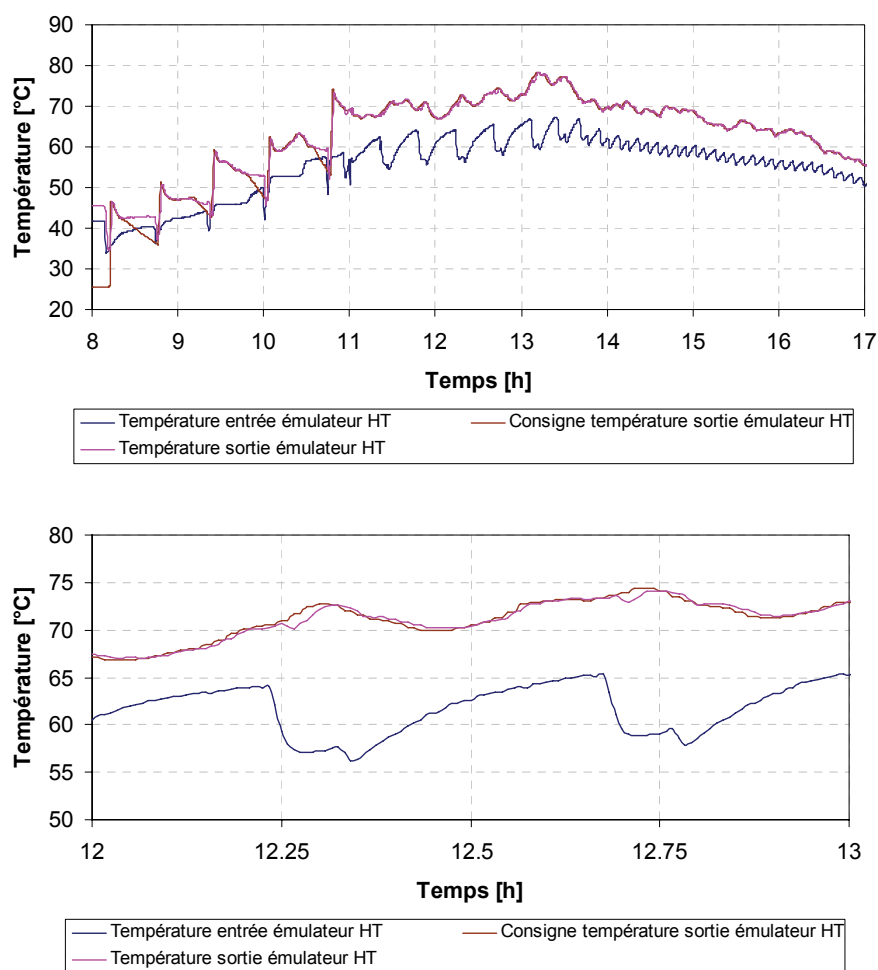


FIGURE 9 : REPONSE ENTRE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE EN SORTIE DE L'EMULATEUR HT ET LA TEMPERATURE MESUREE

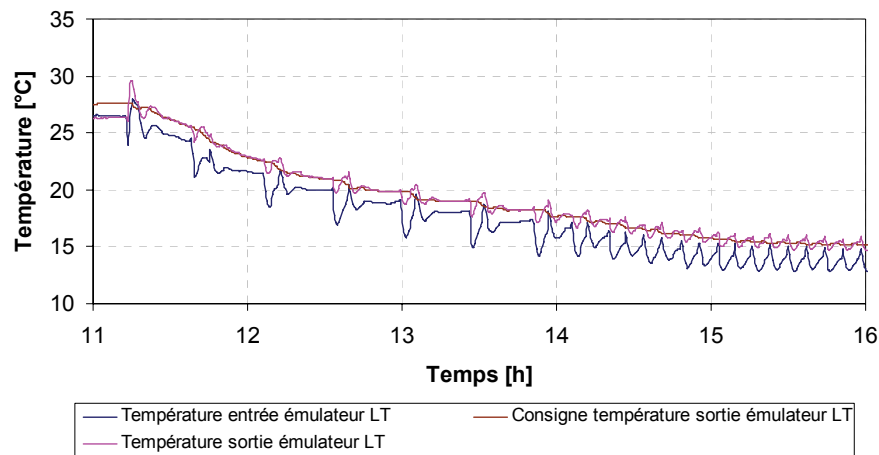


FIGURE 10 : REPONSE ENTRE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE EN SORTIE DE L'EMULATEUR LT ET LA TEMPERATURE MESUREE

## 2.4. Régulation de la vanne 3 voies du circuit MT

En mode "test", cette vanne doit procéder à un mélange entre l'eau "chaude" (sonde T14) partant vers le recoolier et l'eau "froide" (sonde T40) revenant du recoolier afin de garantir une température d'entrée dans Sortech (T16) correspondant à la consigne demandée par Trnsys.

Après des résultats peu convaincants en utilisant le module PID de Labview, nous avons décidé de créer notre propre régulation, intégrant les températures T14, T16 et T40. Signalons, qu'un régulateur PID standard, travaillerait seulement avec la température T16.

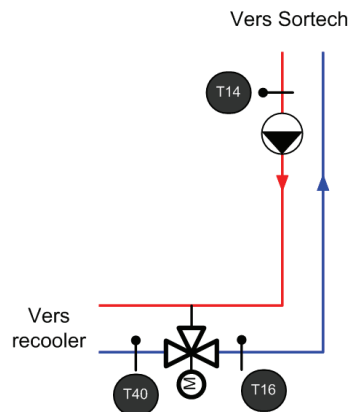


FIGURE 11 : VANNE 3 VOIES – CIRCUIT MT

Les changements de phase de Sortech entraînent de rapides modifications de températures sur ce circuit comme montré sur la Figure 12 (courbe bleue).

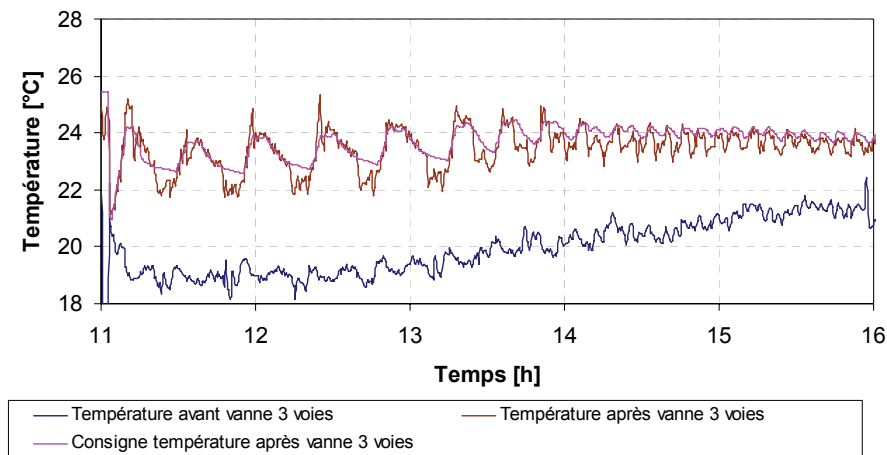


FIGURE 12 : REPONSE ENTRE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE ET LA TEMPERATURE MESUREE SUR LA VANNE 3 VOIES – CIRCUIT MT

Ceci explique la raison pour laquelle le régulateur PID n'arrive pas à suivre suffisamment rapidement les changements. Toutefois, la différence de température reste faible entre la mesure et la consigne (courbes orange et rose, Figure 12).

## 2.5. Régulation de la vanne 2 voies du circuit échangeur MT

L'échangeur vient en complément du recoolier lorsque les conditions météorologiques d'Yverdon-les-Bains ne permettent pas de refroidir suffisamment l'eau de ce circuit. Cette régulation se décompose en deux parties :

- Mise en route du circulateur en fonction de la température de sortie du recoolier.
- Ouverture de la vanne à 2 voies entre les côtés primaire et secondaire de l'échangeur en fonction d'un bilan d'énergie.

## 2.6. Régulation du recoolier et du spray

La régulation du recoolier a évolué entre les deux machines. Pour la machine ACS 05, le recoolier et la gestion du spray s'autorégulaient en fonction de la température de l'eau le traversant selon une courbe calibrée par Sortech lors de la mise en service (cf. rapport 2008, [1]). Pour l'ACS 08, c'est directement Sortech qui commande la vitesse des ventilateurs du recoolier en fonction de la température du circuit MT ainsi que la mise en route du spray. Par défaut, la puissance des ventilateurs est à 50 % dès l'enclenchement de Sortech est bascule sur 100 % lorsque la température de sortie de la machine sur le circuit MT est supérieure à 34°C. Ce mode de fonctionnement a été introduit dans le module Trnsys qui gère les tests. Les calculs de consommation électriques du recoolier ont été faits sur cette consigne donnée par Sortech. Par contre, pour le fonctionnement du stand, et afin d'éviter de consommer de grandes quantités d'eau sur l'échangeur d'appoint, nous avons pris l'option de forcer la vitesse des ventilateurs grâce à la commande 0-10 V des ventilateurs afin que la température de l'eau à la sortie du recoolier soit la plus faible possible avant de passer éventuellement dans l'échangeur de chaleur pour atteindre la consigne demandée par Trnsys. Nous avons également introduit une régulation qui force le spray du recoolier à s'enclencher lorsque ni le recoolier, ni l'échangeur arrive à la consigne de température demandée.



## **2.7. Régulation générale intégrant la machine Sortech**

La régulation intégrée de Sortech ne s'occupe que de la gestion interne de la machine (passage des phases) et de la gestion du recool. De ce fait, un certain nombre de conditions permettant d'enclencher ou d'arrêter les différents composants du stand en fonction des conditions générées par la simulation Trnsys a été intégré au programme de gestion et d'acquisition. La régulation est différente selon le mode de fonctionnement du circuit HT (cuve ou sans cuve).

Les diagrammes logiques se trouvent dans l'Annexe 7.

### 3. Tests de reproductibilité du stand de mesures

Avant de commencer l'analyse des performances de la machine Sortech, une série de mesures de reproductibilité a été effectuée pour vérifier la qualité du banc de mesures.

Les tests présentés dans ce chapitre montrent la reproductibilité du banc de tests qui a été construit à la HEIG-VD.

Une première série de tests concluants a été effectuée avec la machine ACS 05 [3]. Après son remplacement par la machine ACS 08 et les modifications apportées au banc, une nouvelle série de tests a été nécessaire et est présentée dans cette section.

#### 3.1. Avec la machine SORTECH ACS 08

##### 3.1.1. Descriptif des tests

Le comportement de l'ensemble des composants a été observé sur une durée de 5 jours avec une météorologie identique pour chacune de ces 5 journées.

- Test n° : 102
- Climat considéré : Barcelone
- Jour : 9 juin (selon Météonorm)
- Répétition : 5 fois
- Config. HT : avec cuve
- Config. MT : Sortech-Recooler-Sortech (S-R-S)
- Bâtiment : Maison familiale de la Tâche 26 (30 kWh/m<sup>2</sup>·a; SRE 140 m<sup>2</sup>)
- Surface capteur : 25 m<sup>2</sup>

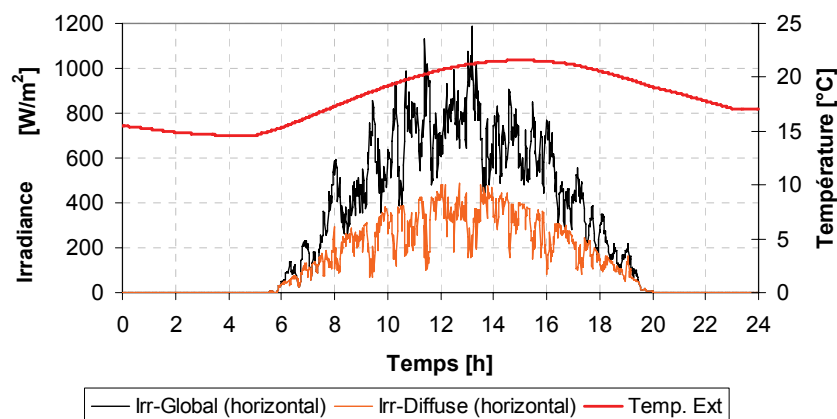


FIGURE 13 : METEO CONSIDEREE (IRRADIATION HORIZONTALE) POUR LE TEST DE REPRODUCTIBILITE (CLIMAT DE BARCELONE, LE 9 JUIN)

### 3.1.2. Résultats obtenus

Tout d'abord, la Figure 14 montre des mesures typiques obtenues sur les différentes entrées/sorties de la machine SORTECH :

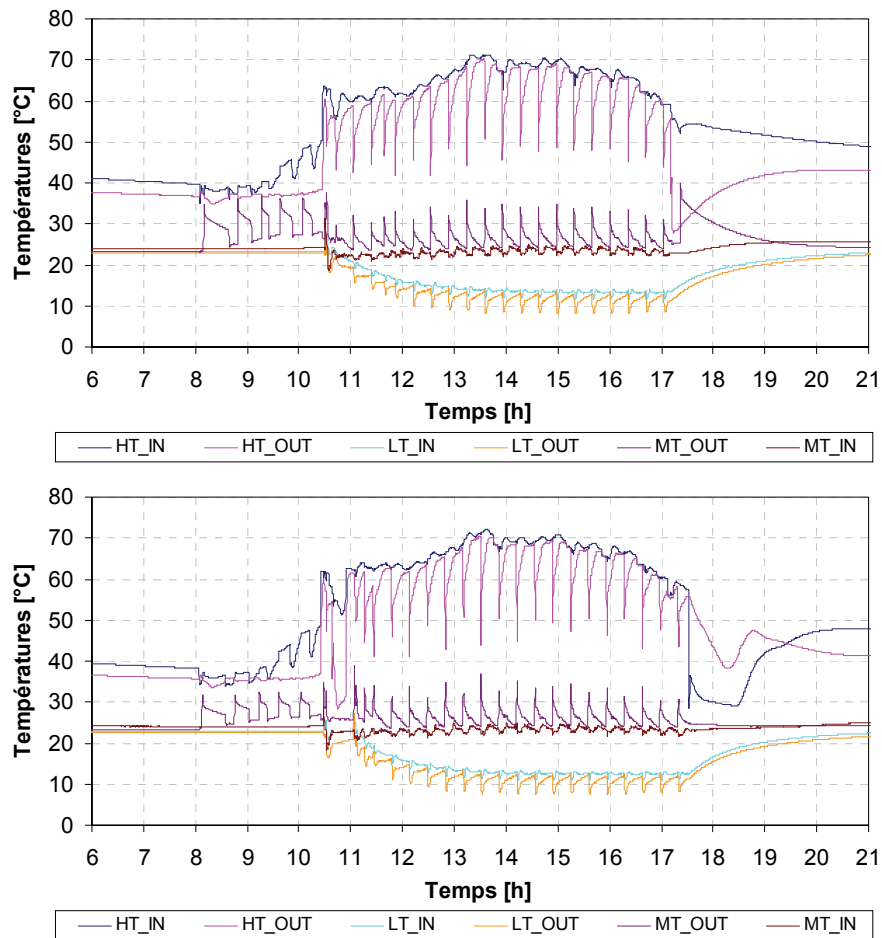


FIGURE 14 : MESURES ENTREE/SORTIE SORTECH TEST DE REPRODUCTIBILTE, JOURS 2 (EN HAUT) ET JOUR 5 (EN BAS)

La Figure 14 montre bien le nombre conséquent de passages de cycle de la machine sur une journée.

La Figure 15 montre l'allure de la température du bâtiment sur les 5 jours de tests.

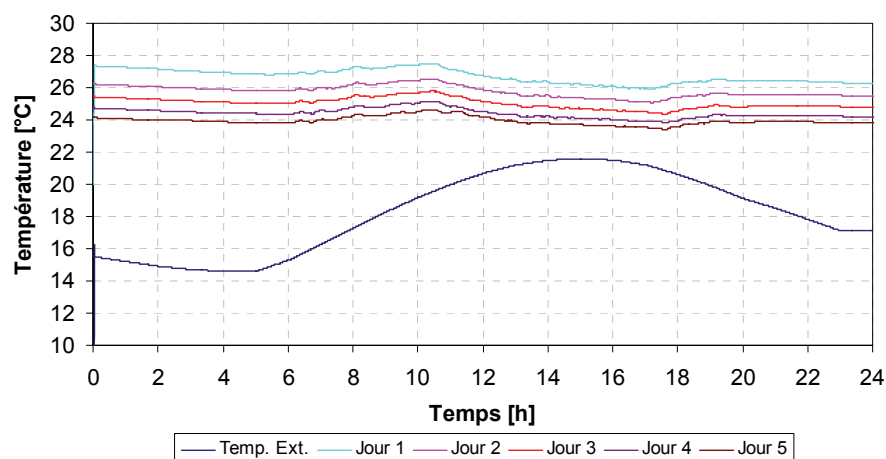


FIGURE 15 : TEMPERATURE BATIMENT, TEST DE REPRODUCTIBILITE, JOURS 1 A 5

L'évolution de la température ambiante a une allure similaire selon le jour considéré. Cependant, un écart est observé quotidiennement. En effet, la température initiale du jour à 0h00 est différente de la température finale à 23h59. Le jour suivant la température à 0h00 est donc plus basse que pour le jour précédent.

Le niveau de température atteint dans le bâtiment est d'environ 1.5 K inférieur à celui obtenu dans le 1<sup>er</sup> test de reproductibilité (machine ACS 05) (plus grande puissance de refroidissement). Cette différence joue un rôle important dans la suite de l'analyse de reproductibilité, en effet, les nouvelles conditions font que dans cette configuration, le système est quelques fois à la limite de l'enclenchement/déclenchement des circulateurs solaires et de la machine Sortech. Ainsi, comme montré dans la Figure 16, la température de sortie des capteurs présente un certain décalage de jours en jours. Ceci est dû à une différence du nombre d'enclenchement du circulateur solaire lié à cette proximité de la frontière des paramètres de régulation.

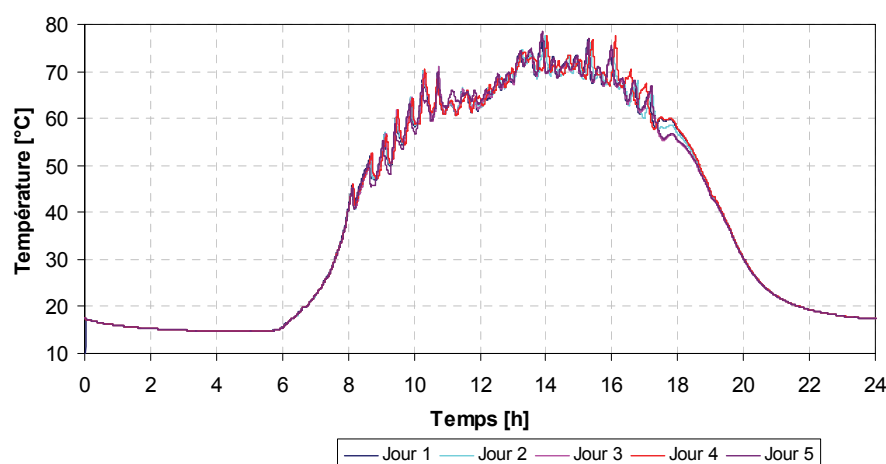


FIGURE 16 : TEMPERATURE SORTIE CAPTEURS, TEST DE REPRODUCTIBILITE, JOURS 1 A 5

Le graphique de la Figure 17 représente les bilans journaliers des énergies sur la machine SORTECH (circuit HT, LT et MT).

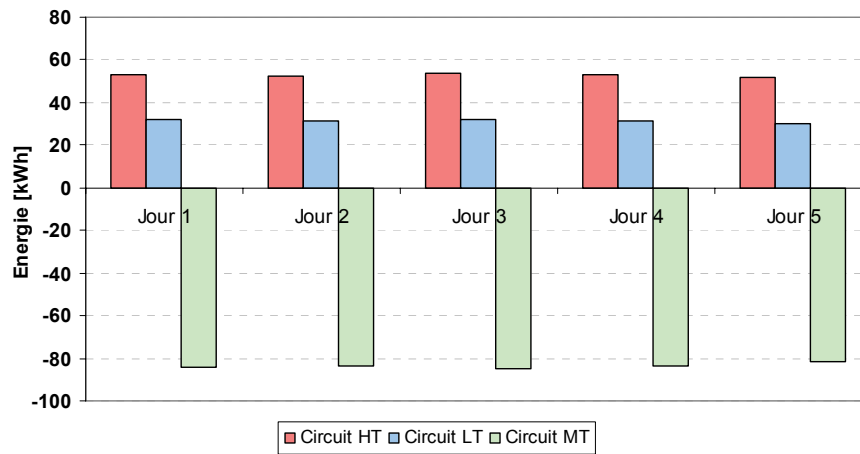


FIGURE 17 : BILAN JOURNALIER D'ENERGIE A LA MACHINE SORTECH, TEST DE REPRODUCTIBILITE, JOURS 1 A 5

Ces bilans montrent une très bonne reproductibilité. Il est à signaler également que la balance entre les énergies HT, LT et MT est inférieure à 1 kWh par jour. Afin de valider cette notion de reproductibilité, la Figure 18 donne l'évolution de ces énergies cumulées de jours en jours.

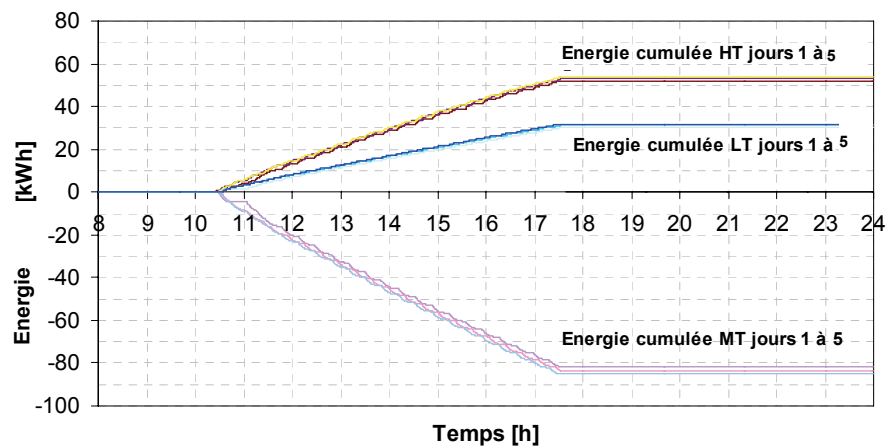


FIGURE 18 : CUMUL DES ENERGIES A LA MACHINE SORTECH, TEST DE REPRODUCTIBILITE, JOURS 1 A 5

Un complément à ce test de reproductibilité est présenté dans le chapitre 5.6, page 42. Celui-ci est basé sur une séquence de 6 jours différents.

## 4. Tests en conditions stabilisées

En préambule aux tests en conditions réelles, différents tests en conditions stabilisées ont été effectués sur les deux machines. Ces tests avaient pour objectif de vérifier les performances des machines (puissance et COP) sur la base des courbes caractéristiques annoncées par le fabricant.

### 4.1. Avec la machine SORTECH ACS 05

#### 4.1.1. Descriptif des tests

Bien que cette machine n'ait pas été utilisée sur toute la durée du projet, les résultats de la machine ACS 05 sont présentés pour montrer les problèmes rencontrés qui ont nécessité son remplacement.

Le graphique de la Figure 19 donne le COP fourni par le fabricant en fonction de la puissance froide moyennée sur plusieurs cycles fournie par la machine et en fonction des conditions de température des différents groupes (HT, MT et LT).

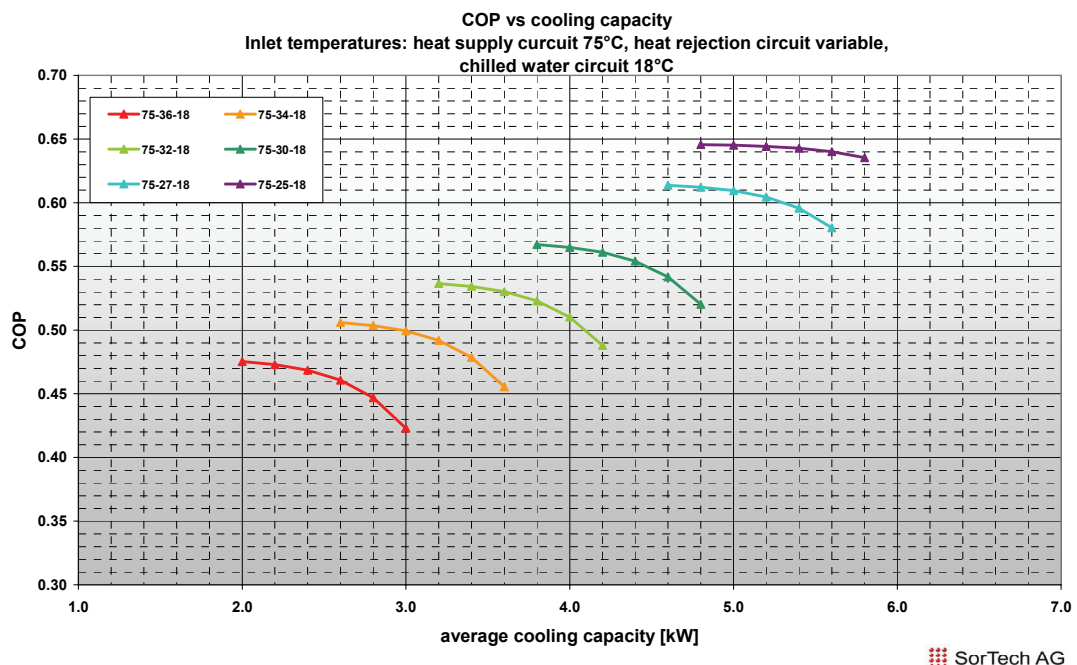


FIGURE 19 : PERFORMANCES DONNEES PAR L'ENTREPRISE SORTECH POUR DIFFERENTES CONDITIONS (ACS 05)

Grâce au stand de mesures, les températures d'entrées dans la machine Sortech de chaque groupe (75°C pour le circuit HT et 18°C pour le circuit LT) ont été fixées afin de reproduire les conditions d'utilisation indiquées dans la Figure 19. La température d'entrée du circuit MT a été modifiée entre 22°C et 36°C par paliers successifs pour essayer de retrouver les résultats indiqués dans la Figure 19. Chaque série de mesures s'est faite sur une durée d'au moins 4 cycles complets de la machine. Le COP a été défini en rapportant l'énergie chaude fournie à la machine à l'énergie froide produite durant toute la période de mesures. La puissance moyenne froide étant calculée en divisant l'énergie froide produite par le temps de l'essai.

En préambule à ces tests, nous rappelons que les courbes de la Figure 19, fournies par le fabricant, ont été définies avec de l'eau alors que notre installation contient de l'eau glycolée. Une diminution des performances de l'ordre de 10% peut-être envisagée selon le constructeur.

#### 4.1.2. Résultats obtenus

La première série de tests a donné les résultats montrés à la Figure 20 par les points carrés :

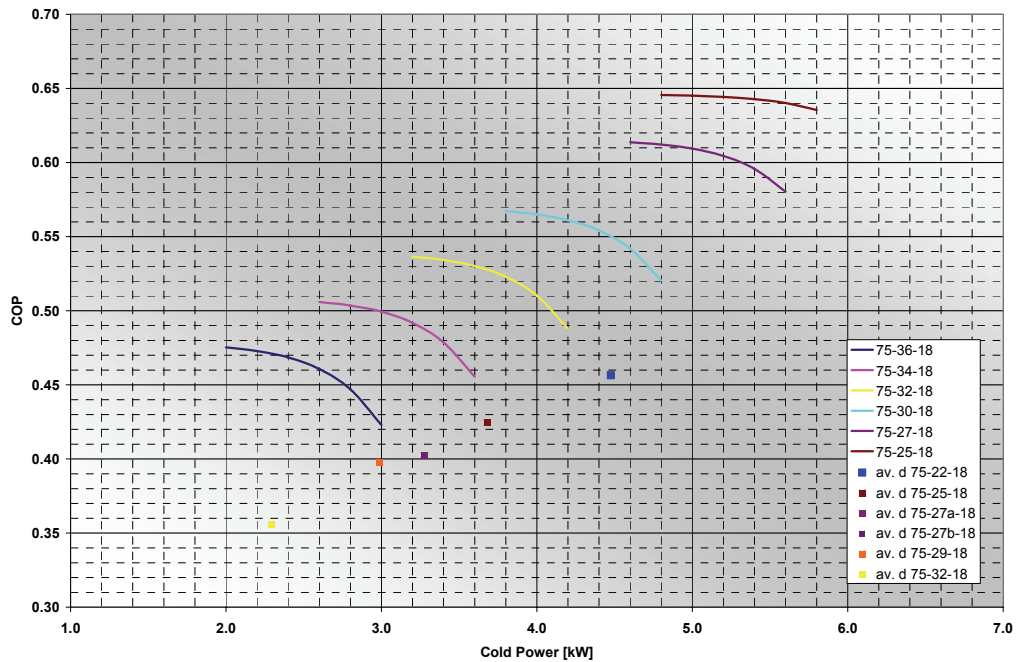


FIGURE 20 : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DU FOURNISSEUR (COURBES) ET LES TESTS DANS NOTRE LABORATOIRE (POINTS CARRÉS),  $\dot{1}^{ERES}$  MESURES

Cette première série de mesures a montré des performances nettement inférieures à celles attendues, tant au niveau du COP qu'au niveau de la puissance froide fournie. Ces mesures ont été présentées à l'entreprise Sortech. L'explication la plus probable à cette différence fut une augmentation du niveau de pression dans le circuit sous vide de la machine. Sortech. Le fabricant nous a fourni un outillage spécial ainsi qu'une procédure détaillée pour effectuer nous-même un dégazage de la machine. Après ce premier dégazage, nous avons refait une série de mesures, celles-ci sont montrées dans la Figure 21.

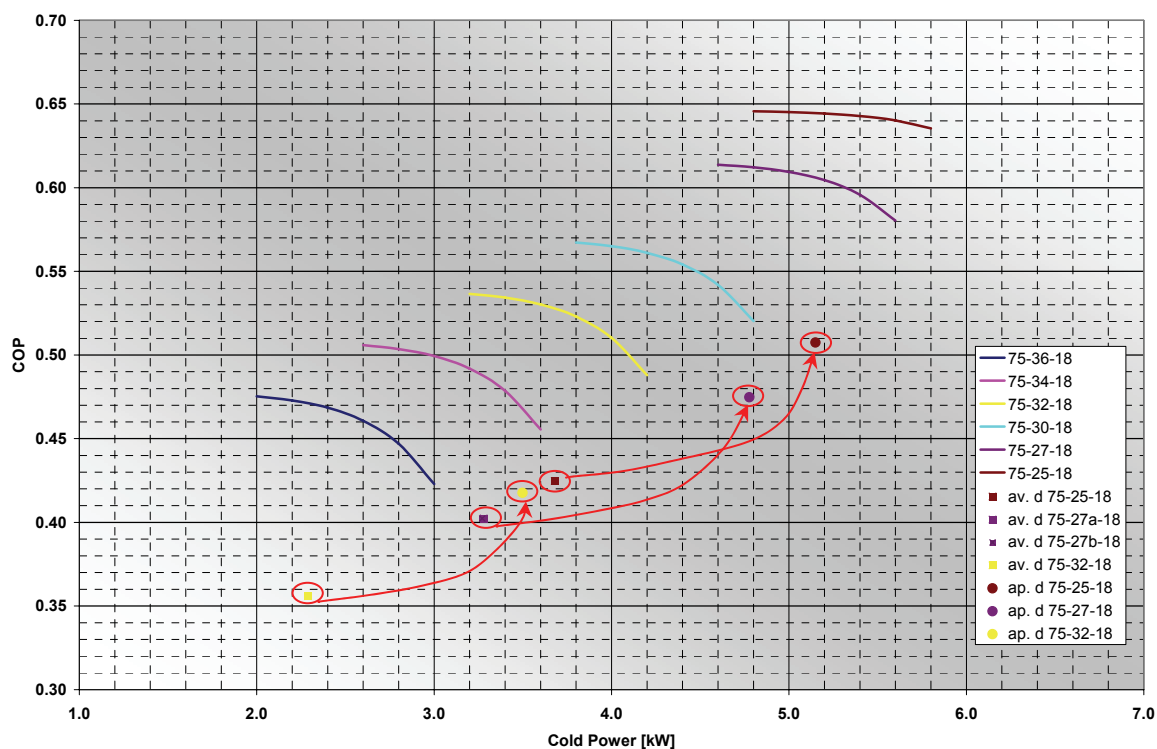


FIGURE 21 : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DU FOURNISSEUR (COURBES) ET LES NOUVEAUX TESTS DANS NOTRE LABORATOIRE (POINTS RONDS), 2<sup>EMES</sup> MESURES APRES 1 DEGAZAGE

Une nette augmentation des performances et de la puissance froide produite est observée. Cependant, les valeurs obtenues sont toujours en deçà des courbes fournies par le fabricant.

Un deuxième dégazage a été effectué. Les performances ont quelque peu augmentées à nouveau mais sans atteindre les courbes du fabricant (cf. Annexe 9).

#### 4.1.3. Conclusion et plan d'action

La baisse des performances mesurées est de l'ordre de 20%. Ce constat a entraîné le remplacement de la machine ACS 05 par l'ACS 08. D'autres participants de la Tâche 38, ont également constaté des problèmes d'étanchéité et de dégazage dans la partie sous vide des machines Sortech ASC 05 qui ont, semble-t-il, été résolus avec la génération ACS 08.



## 4.2. Avec la machine SORTECH ACS 08

### 4.2.1. Descriptif des tests

Suite à la mise en service de la nouvelle machine, Sortech a fourni les courbes caractéristiques de l'ACS 08 (COP et puissance froide du circuit LT en fonction des températures HT et MT). Ces courbes sont données dans l'Annexe 10 et dans l'Annexe 11. Tout comme pour l'ancienne machine, il est important de noter que les courbes envoyées par Sortech ont été établies pour de l'eau pure, tandis que dans notre installation, nous travaillons avec de l'eau glycolée nécessaire en Suisse. Comme pour la machine précédente, une diminution de l'ordre de 10% sur le COP et sur la puissance froide peut être envisagée selon le fournisseur.

Les courbes fournies étant plus complètes pour cette machine que pour l'ACS 05, plusieurs tests ont été effectués dont les résultats sont résumés dans le tableau de l'Annexe 12.

Nous avons, grâce au programme Labview, fixé des consignes fixes sur les températures d'entrée de la machine Sortech et pour chaque couple (HT;LT), fait varier la température MT. Dans chaque configuration, un test d'au moins 1.5 heures a été réalisé, ce qui permet à la machine de faire au moins 4 cycles complets.

Des tests avec et sans la cuve de stockage (circuit HT) ont été effectués. Le Tableau 3 résume les configurations testées :

Test n°	Mode HT	TSET	Consignes		
			Température HT	Température MT	Température LT
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1 à 7	sans cuve	15	75	25;27;30;32;34;36;38	18
8 à 13		15	85	25;27;30;32;34;36;38	18
14 à 17		15	55	25;27;30;33	18
18 à 22	avec cuve	15	65	25;27;30;33;36	18
23 à 27		15	75	25;27;30;34;38	18
28 à 32		15	85	25;27;30;34;38	18
33 à 36		10	55	25;27;30;33	15
38 à 41		10	65	27;30;33;36	15
42 à 46		10	75	25;27;30;33;36	15
47 à 51		10	85	25;27;30;34;38	15

TABEAU 3 : RESUME DES TESTS EN CONDITIONS STABILISEE DE LA MACHINE ACS 08

### 4.2.2. Tests "sans cuve" sur circuit HT

Afin que la température HT d'entrée de la machine Sortech atteigne rapidement la consigne demandée, nous avons fait une série de tests dans le mode HT sans cuve. La température T\_SET étant fixée à 15°C. Les résultats détaillés sont montrés dans l'Annexe 13.

Ces premières mesures en mode "sans cuve" montrent une relativement bonne corrélation entre les courbes théoriques et les mesures pour la température HT\_IN de 75°C et ceci pour des températures MT\_IN comprises entre 30°C et 38°C. En dessous de 25 à 27°C selon les essais sur le circuit MT, un fléchissement est observé pour la puissance alors que le COP semble augmenter. Cette constatation est liée à un temps de cycle plus long lors des températures basses sur ce circuit MT et aux différents modes de fonctionnement de Sortech (ECO et POWER, cf. ch.1.5.2, p. 14).

L'allure de la courbe du COP pour  $HT\_IN = 85^{\circ}C$  est différentes de la courbe théorique. Après analyse détaillée, il a été constaté que dans le mode sans cuve, la température d'entrée  $HT\_IN = 85^{\circ}C$  n'est pas constante durant la période de test, car l'émulateur HT a de la peine à maintenir la température lors des changements de phases (cycles). Le graphique de la Figure 22 montre bien ce phénomène (courbe bleue foncée).

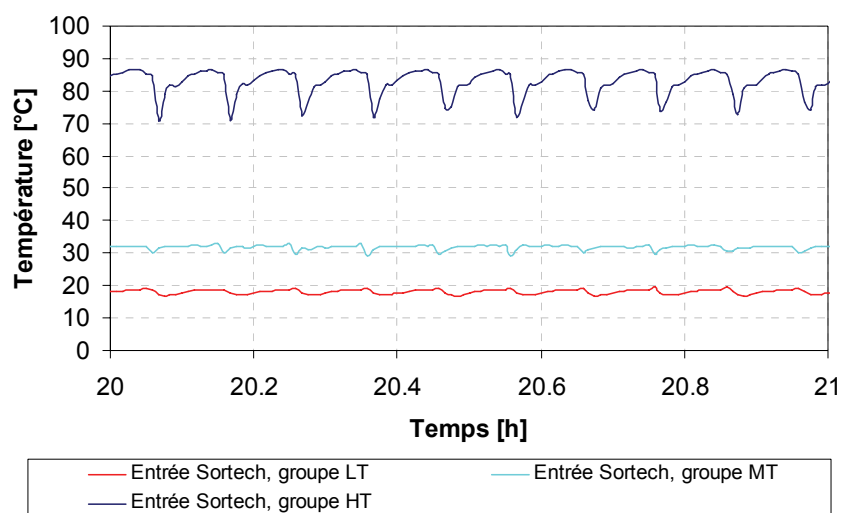


FIGURE 22 : EVOLUTION DES TEMPERATURES D'ENTREE SORTECH, TEST EN CONDITIONS STABILISEES, SANS CUVE, ( $HT\_IN=85^{\circ}C$ ;  $MT\_IN=32^{\circ}C$ ,  $LT\_IN=18^{\circ}C$ )

De ce fait, la suite des tests a été effectuée avec la cuve sur le système HT.

#### 4.2.3. Tests "avec cuve" sur circuit HT

Dans cette section, l'analyse des performances est étudiée en faisant varier HT et MT pour différents LT fixés.

##### 4.2.3.1. Température entrée LT à 18°C et $T_{SET}$ à 15°C

L'utilisation de la cuve sur le circuit HT permet de limiter les fluctuations de température dues aux changements de phases de la machine comme le montre par exemple la Figure 23 pour une température de consigne ( $T_{SET}$ ) sur le circuit LT de 15°C (à comparer avec la Figure 22).

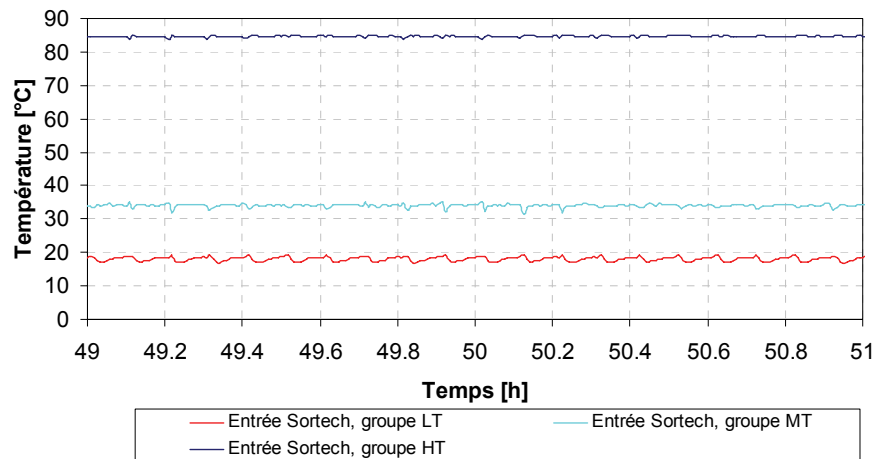


FIGURE 23 : EVOLUTION DES TEMPERATURES D'ENTREE SORTECH, TEST EN CONDITIONS STABILISEES, AVEC CUVE, ( $HT_{IN}=85^{\circ}C$ ;  $MT_{IN}=34^{\circ}C$ ,  $LT_{IN}=18^{\circ}C$ )

A partir des mesures obtenues avec la cuve, les performances de la machine (COP et puissance froide) théoriques ont été comparées aux mesures. Les résultats sont montrés dans les graphiques suivants.

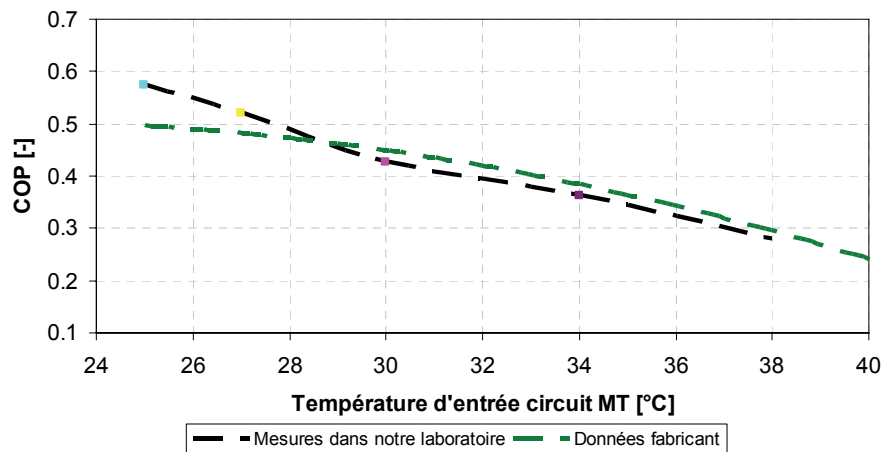


FIGURE 24 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=85°C

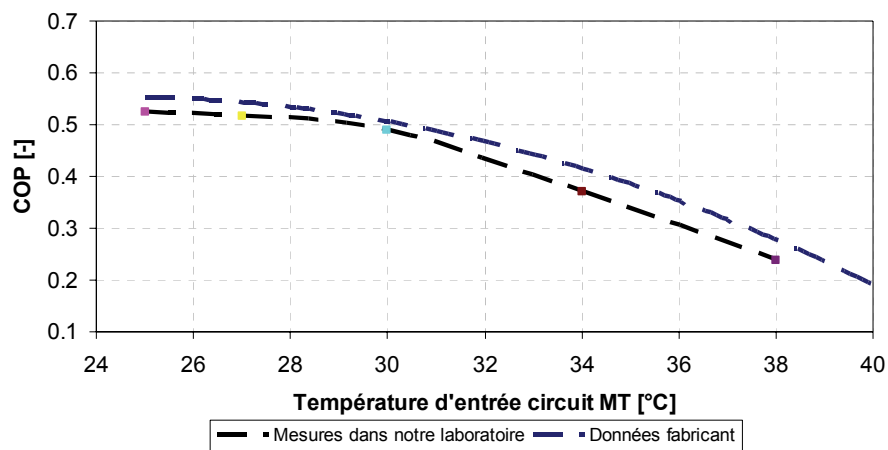


FIGURE 25 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=75°C

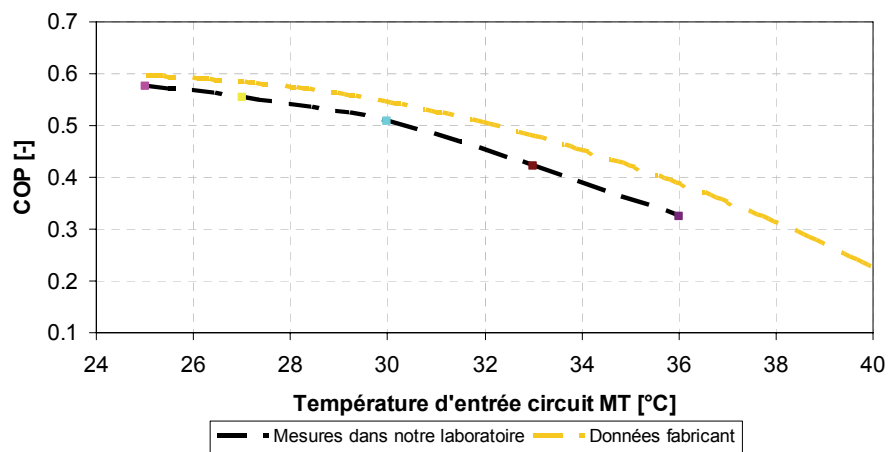


FIGURE 26 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=65°C

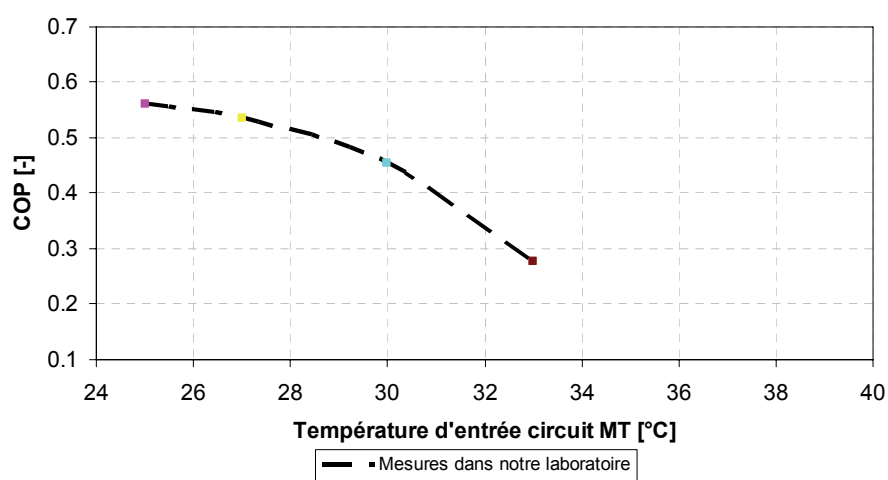


FIGURE 27 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=55°C

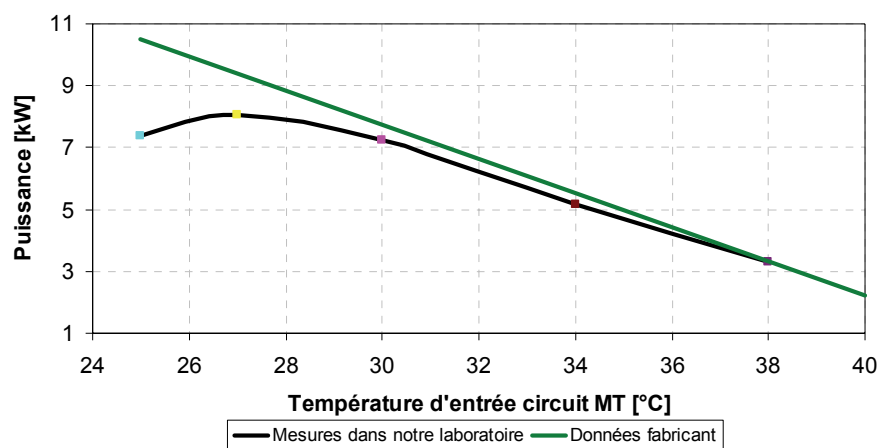


FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESURE ET THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=85°C

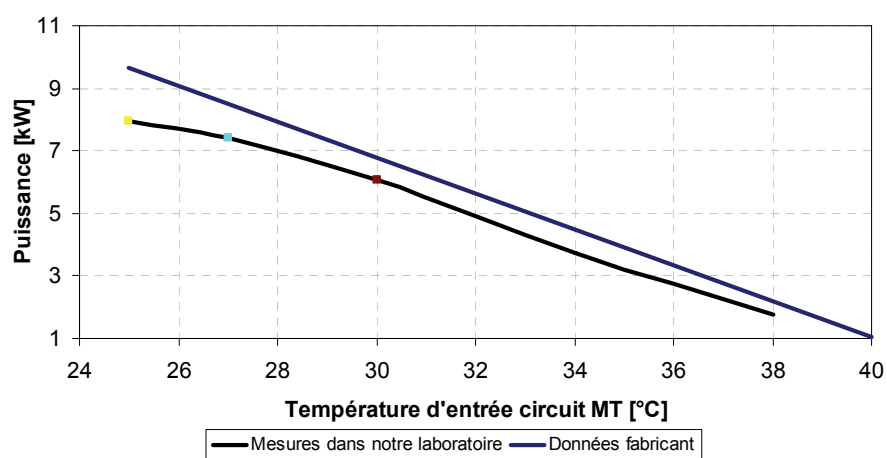


FIGURE 29 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESURE ET THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=75°C

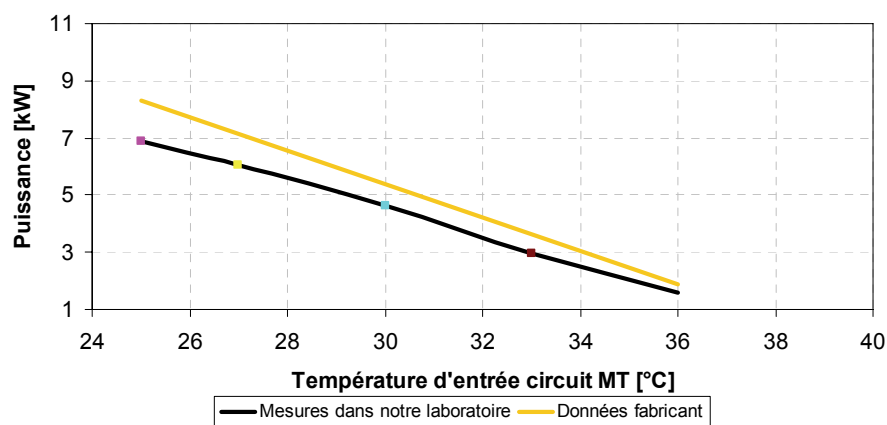


FIGURE 30 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESURE ET THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=65°C

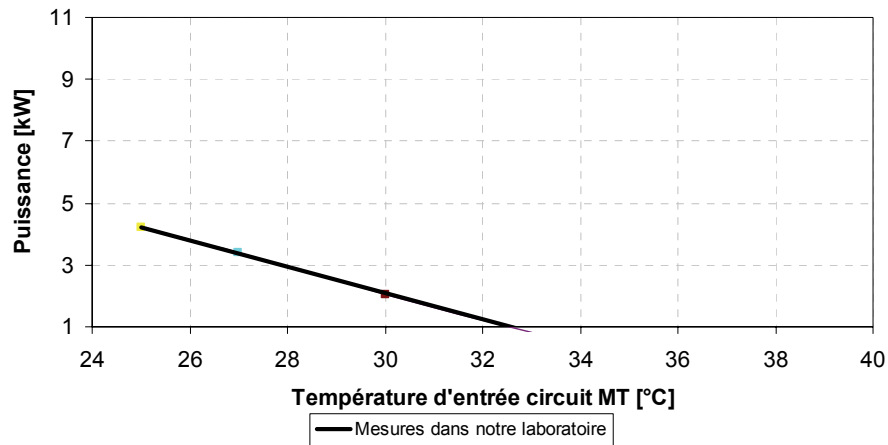


FIGURE 31 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE MT, TEMPERATURE D'ENTREE LT=18°C, TEMPERATURE D'ENTREE HT=55°C

D'une manière générale, les performances mesurées sur la machine Sortech ACS 08 avec la cuve sont inférieures aux performances théoriques fournies par le fabricant. Cette différence est comprise entre 0% et 15% et s'explique essentiellement par l'utilisation d'eau glycolée dans l'installation testée, contrairement aux valeurs transmises par le fabricant, qui ont été obtenues avec de l'eau pure dans les circuits HT et MT.

De plus, il a été constaté qu'à haute température, le COP et la puissance mesurés s'écartent des valeurs fournies par le fabricant. Par exemple, la Figure 28 montre que dans la configuration HT = 85 °C, lorsque le circuit de refroidissement MT est à basse température (25-27°C), les mesures de la puissance froide produite au circuit LT sont nettement inférieures aux valeurs fournies par le fabricant.

Après avoir informé l'entreprise Sortech des résultats obtenus sur le banc du LESBAT, le fabricant a également procédé à la même série de tests sur son banc d'essais. Ces tests complémentaires ont été effectués conjointement chez Sortech et au LESBAT, et le même phénomène a été observé. Ce n'est qu'après avoir effectués différents tests de plusieurs jours (cf. ch. 5.7, p. 44), et après avoir analysé le fonctionnement du modèle (cf. ch. 6.2.1, p. 77) que nous avons pu apporter une explication à ce comportement. Celle-ci concerne le mode de fonctionnement de la machine (ECO et POWER cf. § 1.5.2 en page 14). Pour rappel :

- Le mode "POWER" : La machine se met dans ce mode lorsqu'elle n'arrive pas à atteindre la température de consigne  $T_{SET}$  sur le circuit LT. Dans ce mode, la puissance de sortie froide est maximale, la durée des cycles est raccourcie et le COP est inférieur au mode "ECO".
- Le mode "ECO" : La machine se met dans ce mode lorsqu'elle arrive à fournir la température de consigne  $T_{SET}$  sur le circuit LT. La puissance froide est inférieure à la puissance maximale, la durée des cycles est plus longue et le COP meilleur que dans le mode "POWER".

Ainsi, il semble que les courbes fournies par l'entreprise Sortech ont été définies lorsque la machine fonctionnait en mode POWER alors que dans certaines conditions testées sur notre stand, la machine bascule en mode ECO ce qui implique une diminution de la puissance et une augmentation du COP.

En conclusion à cette section, la Figure 32 et la Figure 34 montrent l'évolution du COP et de la puissance calculés sur la base des mesures en fonction de la température MT\_IN; ceci pour les températures HT\_IN testées.

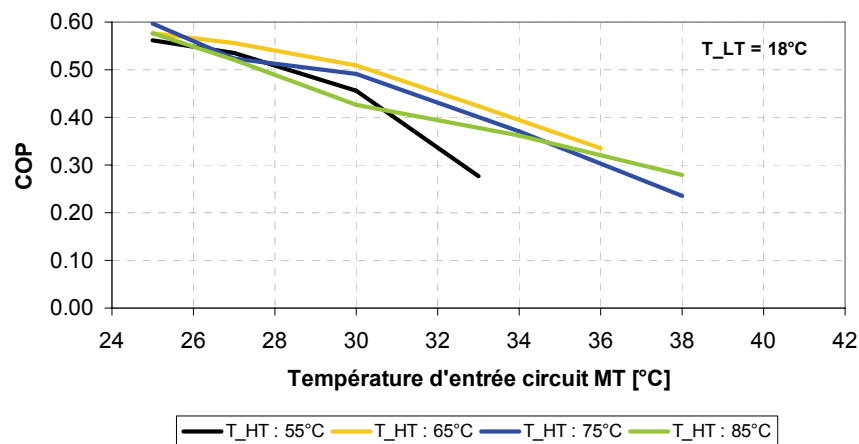


FIGURE 32 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MT ET HT, AVEC CUVE, T<sub>LT\_IN</sub> = 18°C

La Figure 33 donne les valeurs théoriques fournies par Sortech [12].

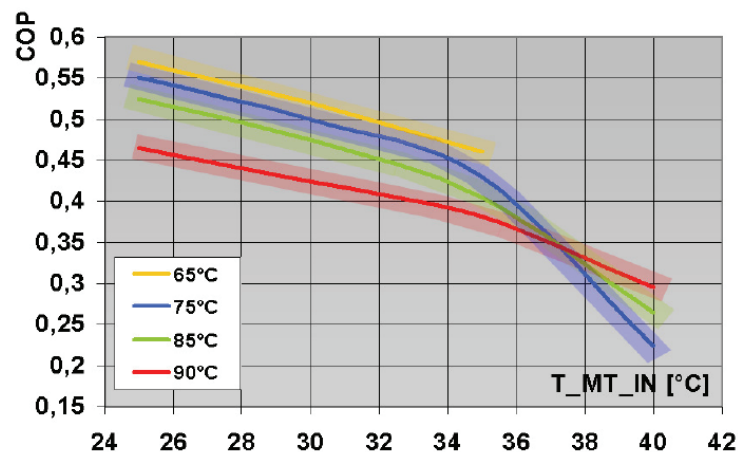


FIGURE 33 : EVOLUTION DU COP THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MT ET HT, AVEC CUVE, T<sub>LT</sub> = 18°C (FOURNI PAR LE FABRICANT [12])

L'analyse des deux figures précédentes, montre que l'allure des courbes de COP obtenus sur le banc de mesures (Figure 32) est similaire à celle fournie par le fabricant (Figure 33).

Nous constatons également que le COP, pour une température HT de 65°C, semble être l'optimum. Cette constatation correspond aux données trouvées dans la documentation technique de Sortech, d'où est extrait la Figure 33.

La Figure 34 montre la comparaison entre la puissance fournie par le fabricant (traitillés) et la puissance mesurée (trait plein) en fonction de la température du circuit MT pour différentes températures du circuit HT.

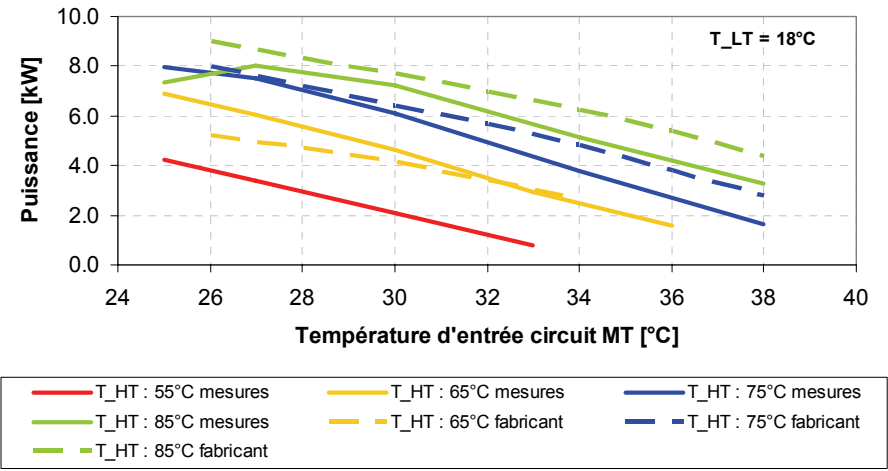


FIGURE 34 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESUREE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MT ET HT, AVEC CUVE, T<sub>LT</sub> = 18°C, VALEURS MESUREES ET THEORIQUES

Ce graphique montre que tant la puissance (Figure 34) que le COP (Figure 32) chutent avec l'élévation de la température du circuit de refroidissement (MT) et augmentent avec un accroissement de la température de la source chaude (HT). Nous remarquons également sur la Figure 33, par exemple, que pour une température HT de 75°C, le COP passe de 0.6 à 0.3 avec une augmentation de 25 à 36°C sur le circuit MT. Cette diminution du COP n'est pas négligeable ce qui pourrait limiter l'attractivité du système dans un climat chaud.

La Figure 34 permet de constater à nouveau que les performances mesurées sont inférieures aux performances annoncées par le fabricant. Ceci est lié au fait qu'il y a du glycol dans les circuits HT et MT de l'installation à la HEIG-VD, contrairement à celle du fabricant

En complément à ces deux graphiques, les courbes de la Figure 35 représentent l'évolution du COP mesuré en fonction de la puissance froide fournie, de la température de refroidissement et de la température de la source chaude.

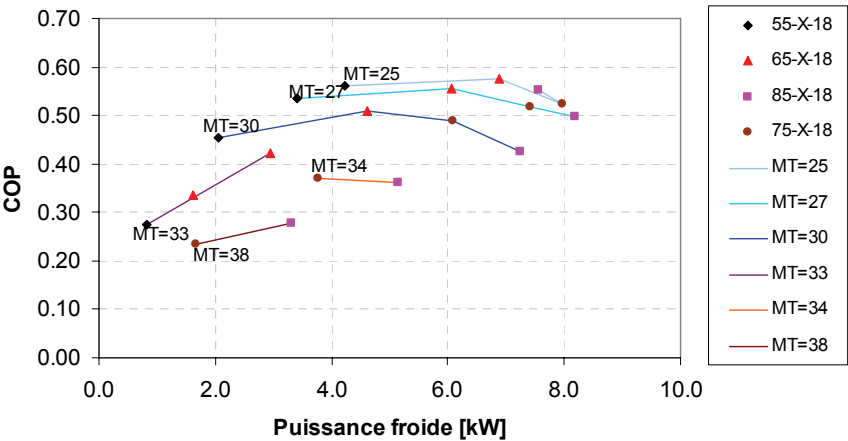


FIGURE 35 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA PUISSANCE AVEC CUVE, T<sub>LT</sub> = 18°C



Ces mesures ont permis de mettre en relief les différentes plages de température nécessaires pour obtenir des performances satisfaisantes de la machine. En résumé, les points suivants peuvent être affirmés :

- Pour des températures  $MT\_IN < 30^{\circ}C$ , les COP sont bons et relativement constants indépendamment de la température HT. Ce qui n'est pas le cas de la puissance froide qui varie considérablement en fonction de la température HT.
- Pour des températures  $MT\_IN > 30^{\circ}C$ , les COP se retrouvent à des valeurs inférieures à 0.4 et varient avec la température HT. Dans cette gamme de température, la puissance froide est faible.

Ainsi, lorsque la température  $MT\_IN$  est élevée ( $>34^{\circ}C$ ) et que  $HT\_IN$  est basse ( $<75^{\circ}C$ ), il n'est pas raisonnable de faire fonctionner la machine vu le faible niveau de puissance et de COP. Ces niveaux de températures peuvent évoluer selon la puissance électrique consommée par les auxiliaires de l'installation considérée. Dans notre cas, les circulateurs des différents circuits ont une puissance totale d'environ 2.2 kW et le recoolant entre 0.4 et 0.8 kW selon la vitesse des ventilateurs. Il est à noter que sur notre banc de tests, les pertes de charges des différents circuits sont importantes vu le nombre conséquent d'organes de mesures et en particulier vu la longueur du circuit MT. De ce fait, la puissance électrique installée n'est pas représentative d'une installation réelle. Dans le chapitre consacré à la simulation d'installations (cf. ch. 8), la consommation électrique des différents composants de l'installation sera modélisée pour une installation sans instrumentation, ce qui donnera des valeurs de consommation d'électricité plus représentatives.

#### 4.2.3.2. Température entrée LT à $15^{\circ}C$ et $T\_SET$ à $10^{\circ}C$

Les mêmes tests ont été effectués en changeant la température de consigne d'entrée Sorchtech du circuit LT à  $15^{\circ}C$  ( $T_{SET} = 10^{\circ}C$ ), afin de déterminer l'influence de la demande en froid sur les performances de la machine.

Les mesures détaillées se trouvent dans les Annexe 14 et Annexe 15. Les graphiques les plus représentatifs sont présentés dans les Figure 36 à Figure 38.

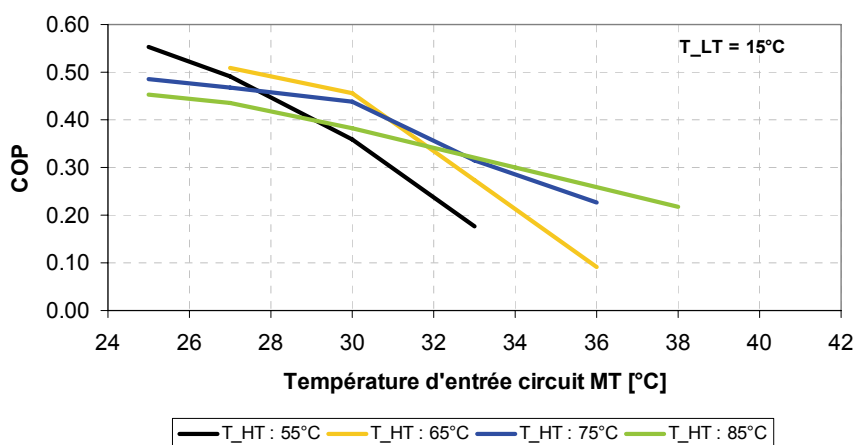


FIGURE 36 : EVOLUTION DU COP MESURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE  $MT\_IN$  ET HT, AVEC CUVE,  $T_{LT} = 15^{\circ}C$

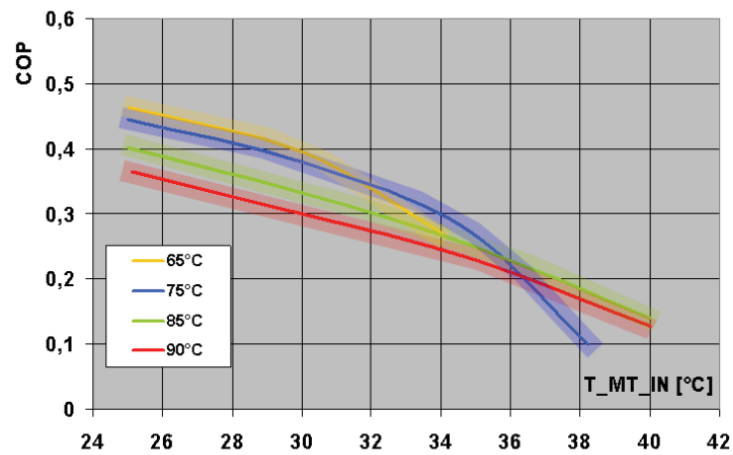


FIGURE 37 : EVOLUTION DU COP THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MT ET HT, AVEC CUVE,  $T_{LT} = 15^{\circ}\text{C}$ , TIRE DE [12]

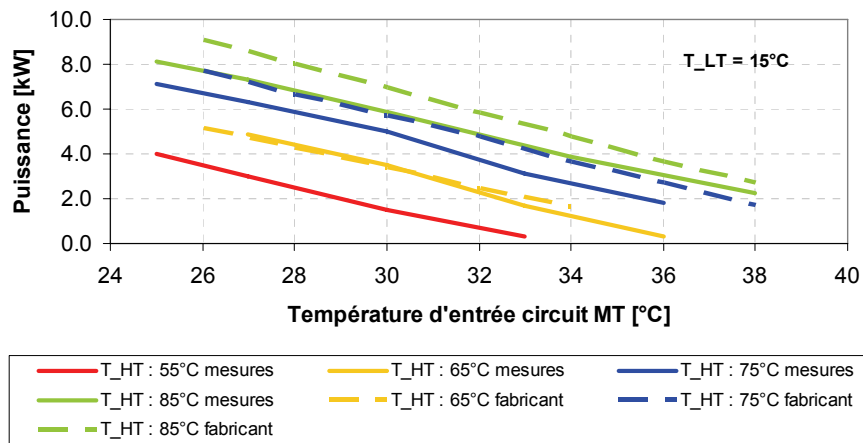


FIGURE 38 : EVOLUTION DE LA PUISSANCE MESUREE ET THEORIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MT ET HT, AVEC CUVE,  $T_{LT} = 15^{\circ}\text{C}$

Par rapport aux tests effectués avec une température d'entrée plus élevée sur le circuit LT ( $T_{LT\_IN} = 18^{\circ}\text{C}$  Figure 34), les valeurs de COP de la machine présentent une plus grande dispersion lorsque  $T_{MT\_IN}$  est bas. Le COP et la puissance froide sont également inférieurs.

## 5. Tests en conditions "réelles" (ACS 08)

### 5.1. Contexte

Les tests en conditions "réelles" consistent à utiliser la machine Sortech avec le banc de mesures dans des conditions non plus constantes comme précédemment, mais dans un bâtiment soumis à un climat donné. Le bâtiment, les capteurs solaires et le recooler sont émulés selon le principe décrit au chapitre 2.

Les tests effectués sur la machine soumise à une séquence météo de plusieurs jours ont plusieurs objectifs :

- D'effectuer une analyse de sensibilité de différents paramètres de l'installation testée.
- De comparer et valider le modèle numérique de la machine Sortech.

Pour y parvenir, plusieurs séries de tests ont été effectuées en travaillant avec des météo de cinq jours consécutifs avec un pas de temps d'une minute utilisant les données de Meteonorm [2]. Le tableau de l'Annexe 12 résume les tests effectués sur l'ACS 08.

### 5.2. Bâtiment

Le bâtiment utilisé comme modèle pour ces tests correspond à la maison familiale de référence de la tâche 26 de l'AIE (SRE 140 m<sup>2</sup>; 30 kWh/m<sup>2</sup>·a) [1].

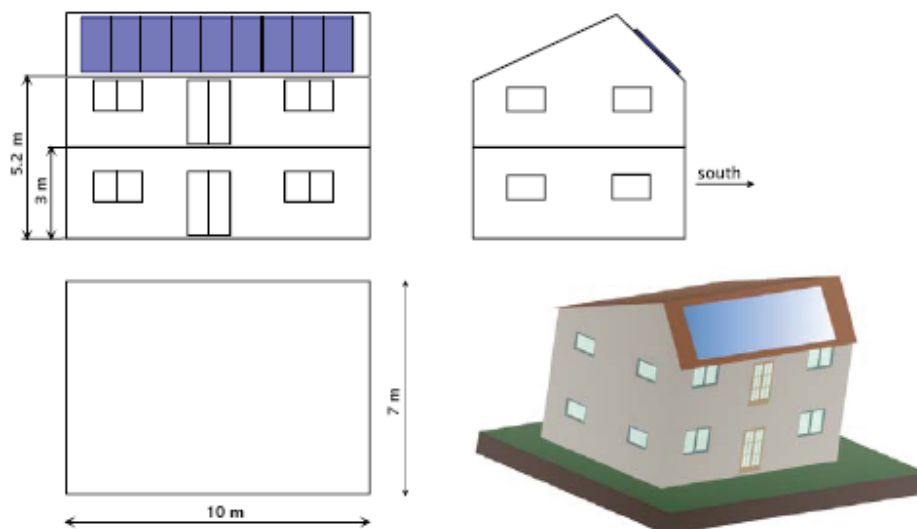


FIGURE 39 : BATIMENT CONSIDERE

### 5.3. Climat

Deux climats ont été considérés : Barcelone et Zürich. Pour chaque climat, une succession de jours représentatifs a été choisie :

#### 5.3.1. Climat de Barcelone

Ce climat correspond aux jours 208, 209, 210, 211, 212 et 213 de l'année selon Météonorm [2], soit du 27 juillet au 1<sup>er</sup> août.

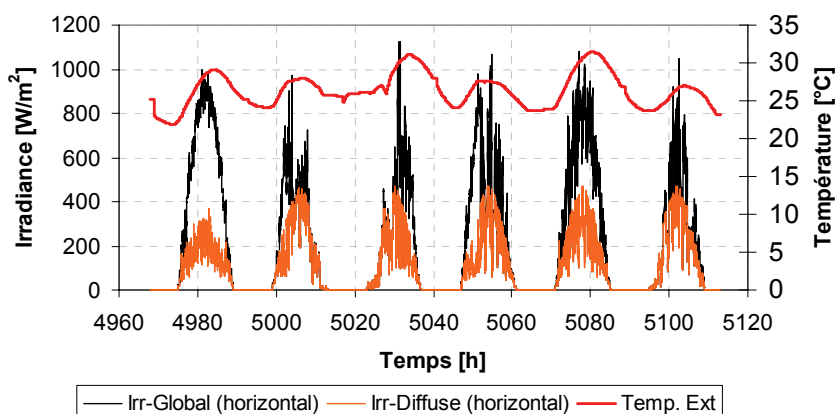


FIGURE 40 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES – CLIMAT DE BARCELONE

Cette succession de jours a été choisie car elle présente une succession de belles journées (jour 1 et 5) et de journées moyennement ensoleillées (jour 2, 3, 4 et 6). La température extérieure se situant dans une plage entre 22 et 32°C. L'irradiation journalière ainsi que la température moyenne au cours des différentes journées sont présentées dans le Tableau 4.

	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6
<b>Irradiance journalière [kWh/m²], dans le plan des capteurs</b>	6.9	3.7	3.5	4.8	6.2	3.5
<b>Température extérieure moyenne [°C]</b>	25.6	26.0	28.0	25.8	27.6	25.1

TABLEAU 4 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES – CLIMAT DE BARCELONE

### 5.3.2. Climat de Zürich

Ce climat correspond aux jours 189, 190, 191, 192, 193 et 194 de l'année selon Météonorm [2], soit du 8 au 13 juillet, dont les caractéristiques sont données dans la Figure 41

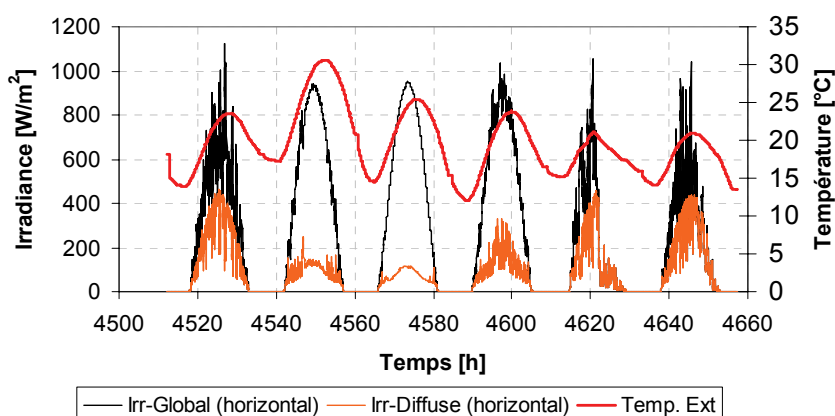


FIGURE 41 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES – ZÜRICH

Cette succession de jours présente des beaux jours (jours 2, 3 et 4) et des jours moyennement ensoleillés (jour 1 et 6). La température extérieure se situe dans une plage plus étendue que pour Barcelone, s'étalant entre 12 et 31°C. Cette météo est caractéristique d'un climat suisse avec des températures élevées durant la journée et relativement fraîches durant la nuit. L'irradiation journalière ainsi que la température moyenne au cours des différentes journées sont présentées dans le Tableau 5.

	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6
<b>Irradiance journalière [kWh/m²], dans le plan des capteurs</b>	5.7	7.6	7.7	7.4	3.2	4.1
<b>Température extérieure moyenne [°C]</b>	19.1	24.3	20.1	18.3	17.7	17.4

TABLEAU 5 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES – ZÜRICH

### 5.4. Capteurs solaires

Une surface de 25 m<sup>2</sup> de capteurs solaires plans Agena Azur 8 ( $c_0=0.83$  ;  $c_1=3.6 \text{ W/Km}^2$  ;  $c_2=0.009 \text{ W/K}^2\text{m}^2$ ) a été utilisée pour les simulations.

### 5.5. Machine Sortech

Les tests en conditions "réelles" ont été effectués seulement avec la température de consigne sur le circuit LT ( $T_{\text{SET}}$ ) à 15 °C. Cette température a été choisie pour correspondre à un refroidissement par le sol (chape flottante) comme recommandé par le fabricant.

## 5.6. Tests de reproductibilité sur une séquence de 6 jours

En préambule aux tests, la reproductibilité du banc de tests a été vérifiée. La configuration de l'installation étant :

<b>Météo</b>	Zürich
<b>Cuve</b>	Avec
<b>Numéros de tests :</b>	105 et 107

TABLEAU 6 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR LE TEST DE REPRODUCTIBILITE

Tout d'abord, le nombre d'heures journalier de fonctionnement de la machine Sortech et des deux circulateurs HT sont montrés dans les Figure 42 à Figure 44.

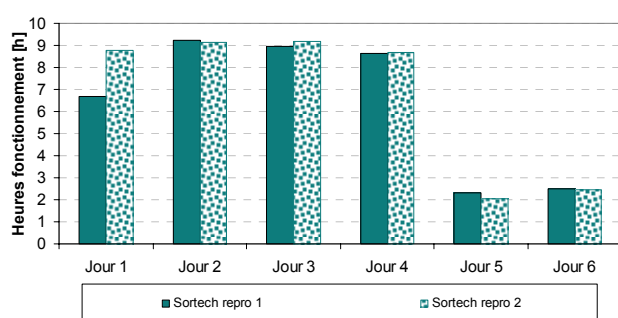


FIGURE 42 : HEURES DE FONCTIONNEMENT JOURNALIER DE LA MACHINE SORTECH, TEST DE REPRODUCTIBILITE

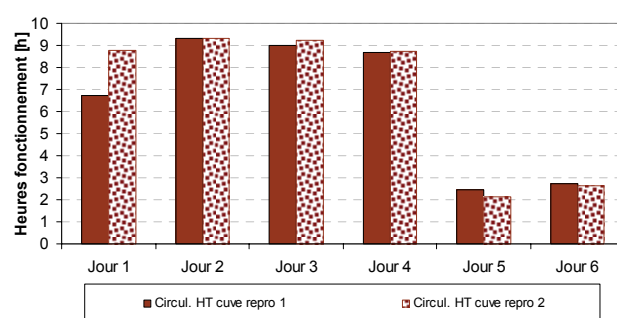


FIGURE 43 : HEURES DE FONCTIONNEMENT JOURNALIER DU CIRCULATEUR HT ENTRE SORTECH ET LA CUVE, TEST DE REPRODUCTIBILITE

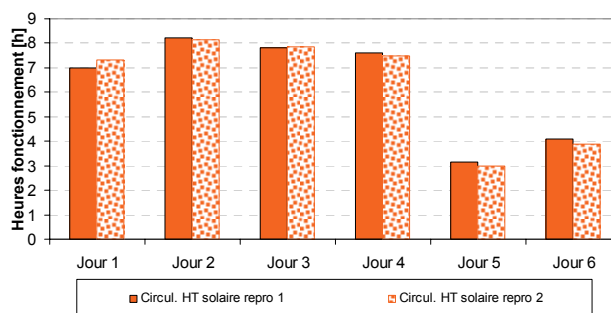


FIGURE 44 : HEURES DE FONCTIONNEMENT JOURNALIER DU CIRCULATEUR HT ENTRE LA CUVE ET LES CAPTEURS SOLAIRES, TEST DE REPRODUCTIBILITE

Ces figures montrent que les durées de fonctionnement des différents composants sont proches entre les deux tests à l'exception du jour 1. La différence observée sur ce jour s'explique par une température initiale différente dans la cuve au début du test.

La Figure 45 indique les énergies journalières mises en jeu pour chaque circuit (HT, LT et MT) et pour les deux tests.

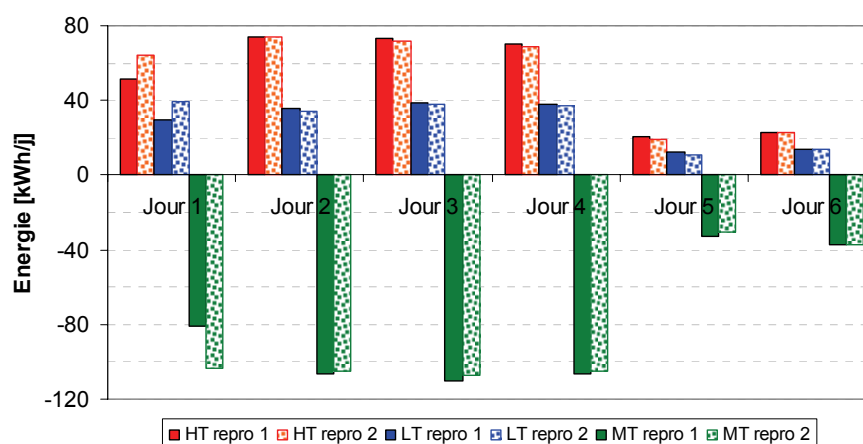


FIGURE 45 : BILAN ENERGIES – TEST DE REPRODUCTIBILITE 1 (PLEIN) ET TEST DE REPRODUCTIBILITE 2 (TRAME)

Tout comme pour les heures de fonctionnement, les énergies mesurées sur chaque circuit sont très proches d'un test à l'autre à l'exception du jour 1. Il en découle que les COP obtenus pour chaque jour sont très proches également comme montré dans la Figure 46.

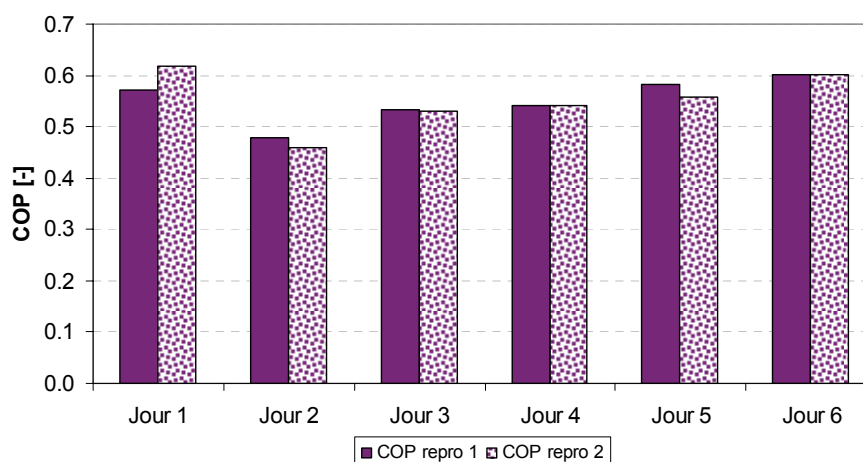


FIGURE 46 : COP – TEST DE REPRODUCTIBILITE 1 (PLEIN) ET TEST DE REPRODUCTIBILITE 2 (TRAME)

Ce test confirme à nouveau la reproductibilité du stand, dans le cas présent lors de mesures en conditions météorologiques variables, ceci sur une séquence de plusieurs jours. Des précautions devront être prises quant à l'exploitation des mesures du jour 1, ceci dans le cas où la température de la cuve ne serait pas identique au début du test.

## 5.7. Tests de référence 6 jours à Barcelone

Afin de pouvoir comparer l'influence de certains paramètres, le cas de référence avec la configuration suivante a été pris pour le climat de Barcelone:

<b>Météo</b>	Barcelone
<b>Cuve</b>	Avec
<b>Numéros de tests :</b>	103 et 115

TABLEAU 7 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR LE TEST DE 6 JOURS A BARCELONE

Nous pensions prendre ce test comme référence pour les différentes autres configurations mais, nous nous sommes rendu compte que le jour 1 de ce test présentait un fonctionnement particulier de la machine Sortech et différent de tous les autres tests effectués par la suite avec le climat de Barcelone. Afin d'être sûr que la machine n'avait pas subi de détérioration au cours du temps, nous avons refait une deuxième série de 6 jours avec le climat Barcelone. Les résultats obtenus pour les jours 2 à 6 sont très proches entre les deux tests.

Par contre, le jour 1 présente une différence de comportement comme le montre la Figure 47.

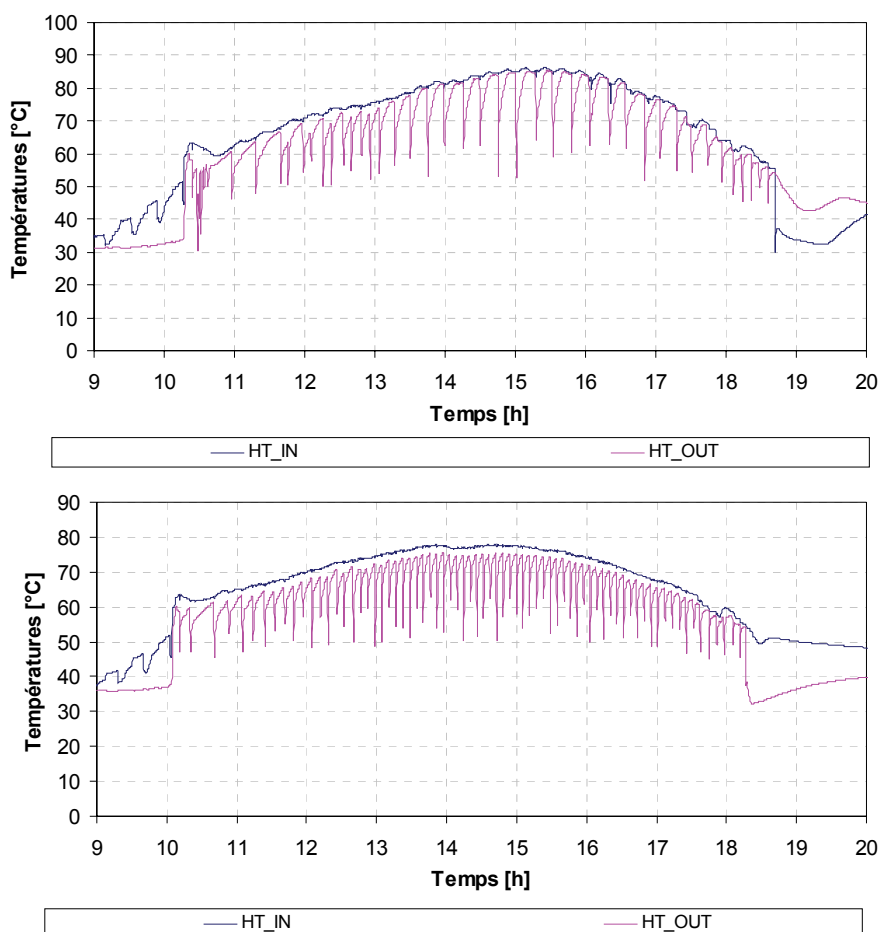


FIGURE 47 : TEMPERATURE ENTREE/SORTIE SORTECH, CIRCUIT HT - JOUR 1 – TEST DE BASE EN HAUT ET TEST DE COMPARAISON EN BAS



La température d'entrée du circuit solaire (HT) dans Sortech est différente selon les deux tests. Après avoir écarté l'hypothèse de l'influence de la différence de température dans la cuve en début de test, il est fort probable que la machine n'ait pas fonctionné dans le même mode ("power" ou "eco") durant le premier jour de ces deux tests.

Les comparaisons pour la configuration Barcelone seront faites par la suite sur la base du test comparatif car l'allure du premier jour est plus représentative de ce qui a été observé sur les tests suivants.

## 5.8. Comparaison entre Zürich et Barcelone

Ce chapitre présente les performances comparées pour Zürich et Barcelone sur les deux séquences de jours effectuées, dans les conditions suivantes

Météo	Zürich et Barcelone
Cuve	Avec
Numéros de tests :	107 et 115

TABLEAU 8 : CONFIGURATIONS UTILISEES POUR LE TEST COMPARATIF ENTRE ZÜRICH ET BARCELONE

La Figure 48 donne l'évolution du COP en fonction de l'irradiation solaire journalière :

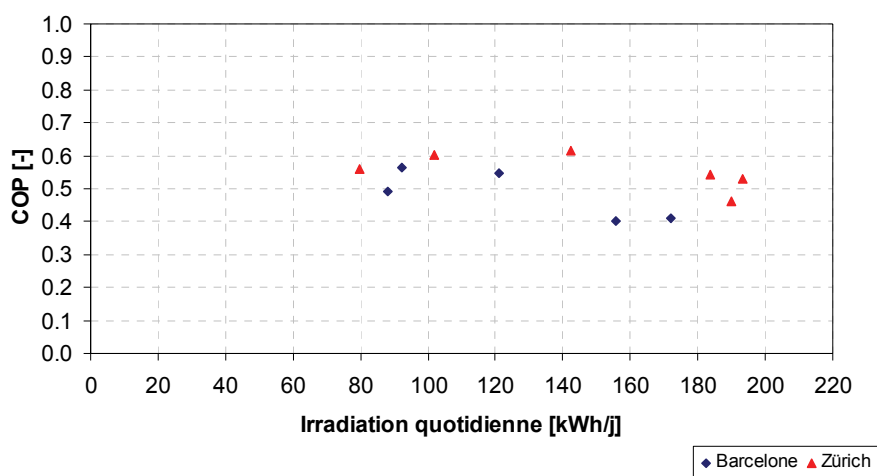


FIGURE 48 : COP EN FONCTION DE L'IRRADIATION QUOTIDIENNE POUR ZÜRICH ET BARCELONE

Cette figure montre que le COP augmente légèrement, atteint un maximum puis diminue légèrement au fur et à mesure que l'irradiation augmente, et ceci pour les deux climats. Ceci se traduit par des courbes de tendance quasi confondues pour les deux climats lorsque l'énergie froide ( $Q_{LT}$ ) est représentée en fonction de l'irradiation ( $Q_{sol}$ ), comme le montre la Figure 49.

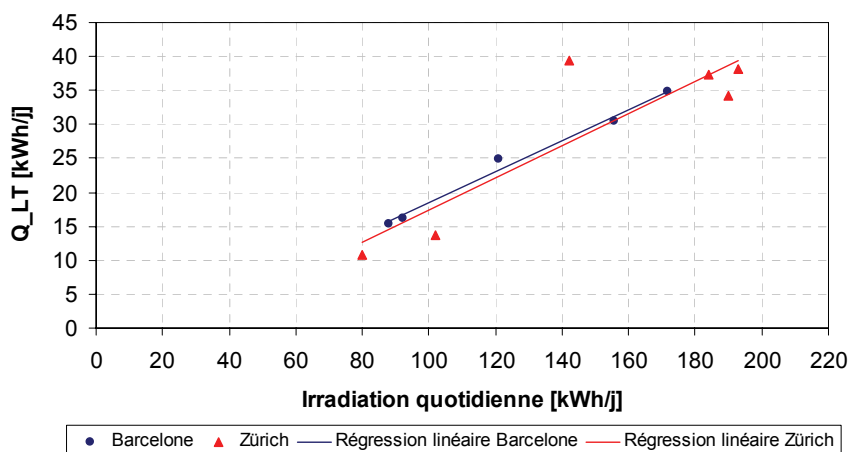


FIGURE 49 : ENERGIE COTE FROID ( $Q_{LT}$ ) EN FONCTION DE L'IRRADIATION JOURNALIERE ( $Q_{SOL}$ ) – ZÜRICH ET BARCELONE

Le triangle rouge (climat Zürich) situé largement au-dessus de la droite de régression linéaire, correspond au premier jour de tests caractérisé par une température dans la cuve plus élevée pour le test à Zürich ( $\sim 90^{\circ}\text{C}$ ) qu'à Barcelone ( $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ). De ces mesures, il est possible de déduire que la machine fonctionne de façon similaire selon qu'elle soit à Barcelone ou à Zürich, ceci pour un rayonnement donné.

## 5.9. Tests sans cuve

### 5.9.1. Objectif

Le fabricant Sortech préconise l'installation d'une cuve sur le circuit HT afin de palier aux variations météorologiques sur une journée et pour les phases de démarrage de la machine. L'installation de cette cuve entraîne des coûts supplémentaires (cuve, groupe hydrauliques, encombrement.) Il a semblé intéressant de tester le fonctionnement de la machine sans cette cuve. Les résultats suivants correspondent donc au cas où, la cuve est by-passée. Ces tests ont été effectués pour le climat de Zürich et de Barcelone.

### 5.9.2. Mesures effectuées

Deux séquences de tests ont été effectuées, une première pour la météo de Barcelone et une seconde pour la météo de Zürich.

Météo	Zürich et Barcelone
Cuve	Avec et Sans
Numéros de tests :	105, 110, 115, 109

TABLEAU 9 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR TEST COMPARATIF AVEC ET SANS CUVE

### 5.9.3. Résultats

Les Figure 50 et Figure 51 présentent les résultats obtenus avec et sans cuve, respectivement pour le climat de Barcelone et de Zürich.

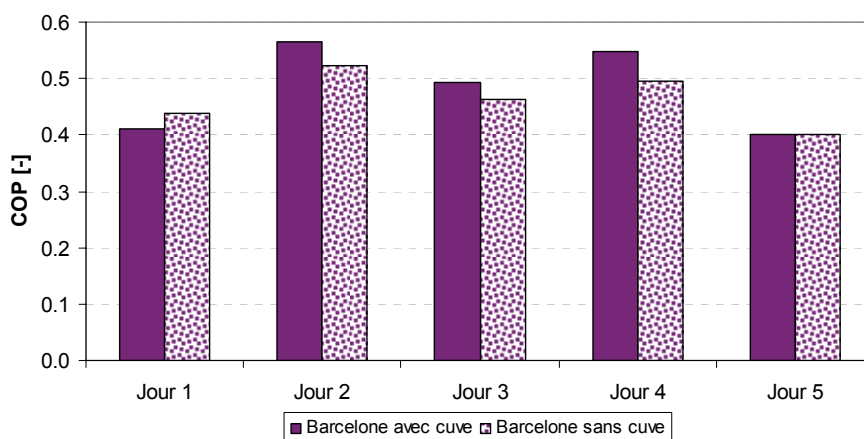


FIGURE 50 : COP DE LA MACHINE SORTECH –MESURE AVEC ET SANS CUVE POUR CLIMAT DE BARCELONE

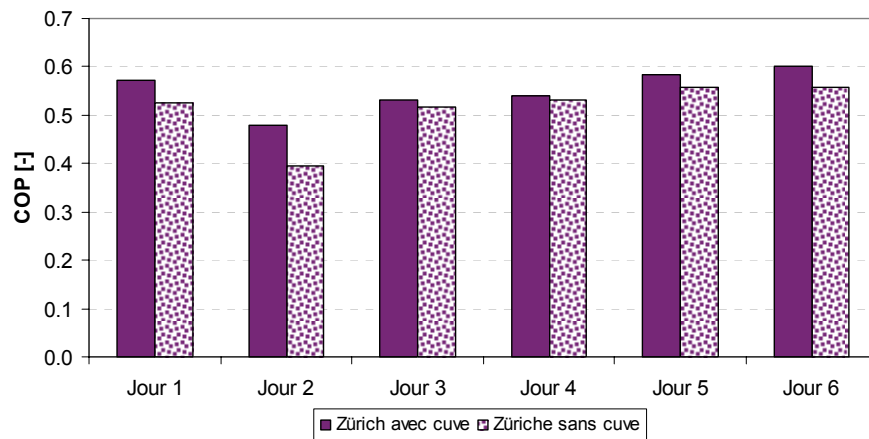


FIGURE 51 : COP DE LA MACHINE SORTECH – MESURE AVEC ET SANS CUVE POUR ZÜRICH

D'une manière générale, pour les deux périodes analysées et pour les deux climats, les performances mesurées sont, pour la variante sans cuve légèrement inférieures à celles obtenues dans la configuration avec cuve.

En outre, la durée des cycles est généralement plus courte dans la configuration sans cuve. Ceci se traduit par un nombre important de sauts brusques de température à l'entrée et à la sortie de Sortech comme le montre la Figure 52.

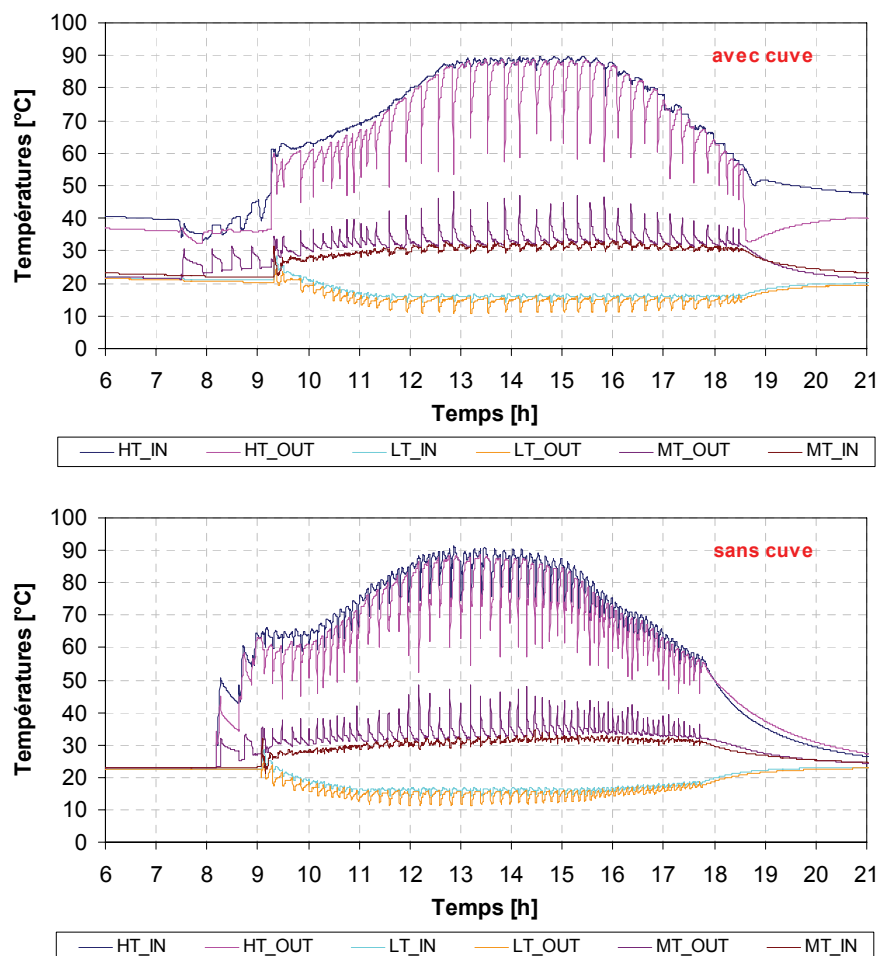


FIGURE 52 : TEMPERATURES ENTRES/SORTIE SORTECH –AVEC ET SANS CUVE, ZÜRICH (JOUR 2)

Cette différence de durée de cycles est due aux variations de température sur l'entrée du circuit HT. En effet, comme le montre la Figure 53, l'absence de stockage entraîne des variations de température à l'entrée de la machine Sortech sur le circuit HT (HT\_IN sans cuve : courbe bleue) contrairement à la situation avec cuve (HT\_IN avec cuve : courbe rouge). Ces variations sont dues à une température variable en sortie de Sortech dû aux changements de cycle, qui se répercute sur la température d'entrée de Sortech après avoir passé par les capteurs solaires lorsqu'il n'y a pas de cuve.

A cet instant, dans le cas sans cuve, la régulation Sortech estime que la puissance nécessaire à l'entrée est insuffisante pour finir un cycle et envoie la commande de changement de cycle.

Toujours selon le fabricant, la puissance du circuit LT fournie n'est que peu influencée par ces fréquents changements de cycle, point qui a été vérifié sur nos mesures. Cependant, il est probable qu'une usure prématurée des vannes de commutation de la machine apparaisse si celle-ci fonctionne sans cette cuve de stockage étant donné la réduction du temps des cycles dans cette configuration.

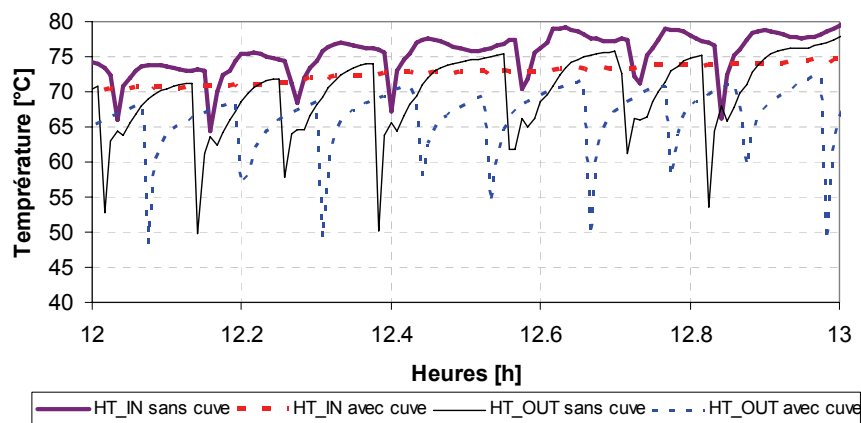


FIGURE 53 : TEMPERATURE ENTREE/SORTIE HT DE SORTECH - AVEC ET SANS CUVE, CLIMAT DE BARCELONE – JOUR 1

Il est également intéressant de noter que le nombre d'heures journalier de fonctionnement de la machine Sortech est très proche qu'il y ait une cuve ou pas comme le montre la Figure 54. La régulation interne de la machine Sortech et la régulation de l'installation évitent les phases redoutées d'enclenchement et d'arrêt (pendulage) de la machine. Pour plus de détails sur la régulation utilisée, il est possible de consulter l'Annexe 7.

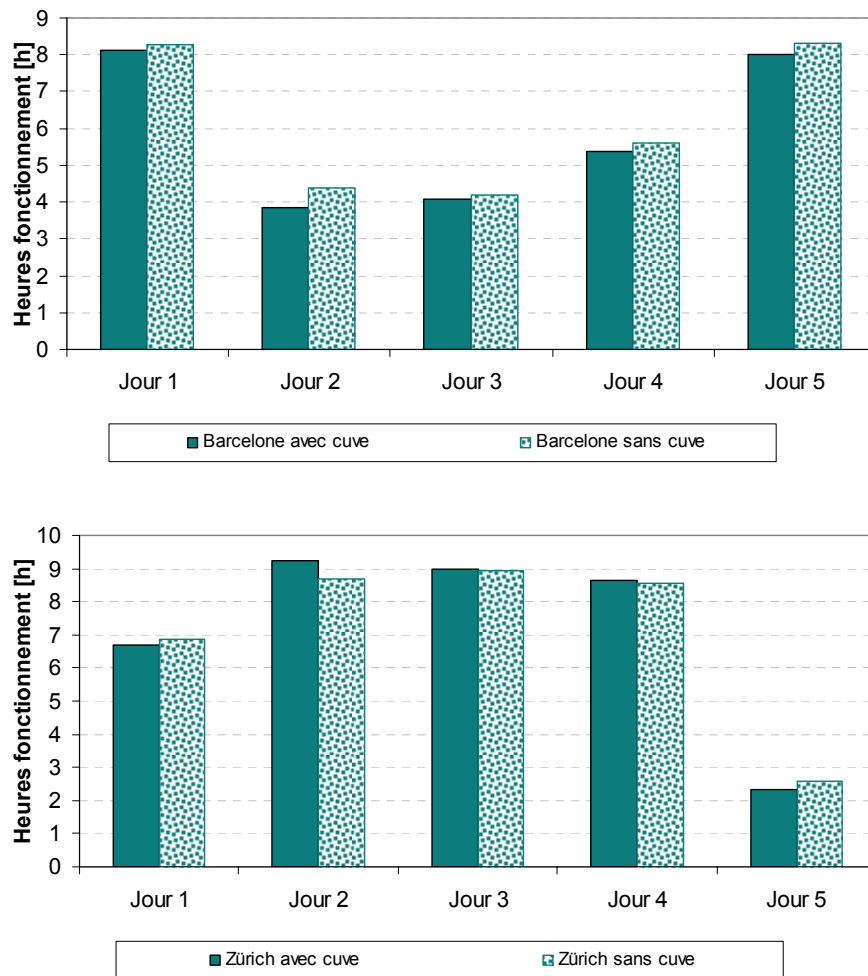


FIGURE 54 : HEURES DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE SORTECH POUR BARCELONE ET ZÜRICH, AVEC ET SANS CUVE

En conclusion à ce chapitre, l'utilisation d'une cuve de stockage sur le circuit HT n'est pas totalement indispensable. En effet, les performances, les énergies froides et la durée de fonctionnement de la machine sont très proches selon qu'il y ait une cuve ou pas sur ce circuit HT. Cependant, la suppression de la cuve risque d'avoir des conséquences à long terme sur l'usure de la machine car, dans ce cas, le nombre de commutation de cycles est supérieur que lorsqu'une cuve est mise sur le circuit HT.

## 5.10. Diminution du débit sur le circuit MT

### 5.10.1.Objectif

La consommation électrique des installations de climatisation solaire est un point important voir crucial pour les performances des climatisations solaires. Une grande consommation électrique péjore les performances énergétiques, économiques et environnementales de ces installations. Les gros consommateurs d'électricité sont les circulateurs et les moteurs des ventilateurs du recool. Il en est de même dans l'installation étudiée. Afin de minimiser la consommation électrique de l'installation, la possibilité de réduire le débit dans les circuits et ainsi la puissance électrique des circulateurs a été étudiée. Le circuit où le potentiel paraît le plus grand est le circuit du recool (MT).

Les tests effectués ont pour but d'observer l'influence du débit du circuit MT sur les performances de la machine. Le circulateur installé sur ce circuit a été dimensionné pour répondre aux conditions nominales de débit demandées par Sortech (3700 l/h) et pour vaincre les grandes pertes de charges de ce circuit (échangeurs Sortech et recool). De ce fait, la consommation électrique de ce circulateur est très importante. Afin d'évaluer l'impact du débit du circuit MT sur la consommation électrique, une série de tests a été effectuée sur une séquence de deux jours. Le comportement de la machine a été testé pour le climat de Barcelone en fixant le débit du circuit MT aux valeurs suivantes : 3'000 l/h, 2'500 l/h et 2'000 l/h. Les autres paramètres de l'installation restant inchangés.

Météo	Barcelone
Cuve	Avec
Numéros de tests :	115, 112, 113, 117

TABLEAU 10 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR TEST REDUCTION DE DEBIT CIRCUIT MT

### 5.10.2.Résultats

La Figure 55 montre la durée de fonctionnement de la machine Sortech en fonction des différents débits du circuit MT.



FIGURE 55 : HEURES DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE SORTECH AVEC DIFFERENTS DEBITS SUR CIRCUIT MT, CLIMAT DE BARCELONE, JOURS 1 ET 2



Globalement, la durée de fonctionnement de la machine est plus élevée avec la diminution du débit sur le circuit MT. Il n'est cependant pas aisé de ressortir une tendance très claire car le jour 1 montre une plus grande durée de fonctionnement pour le débit de 2500 l/h que pour le débit de 2000 l/h.

Il est par contre plus intéressant de montrer les énergies en jeu sur les trois circuits (Figure 56 à Figure 58) ainsi que l'évolution du COP de la machine (Figure 59).

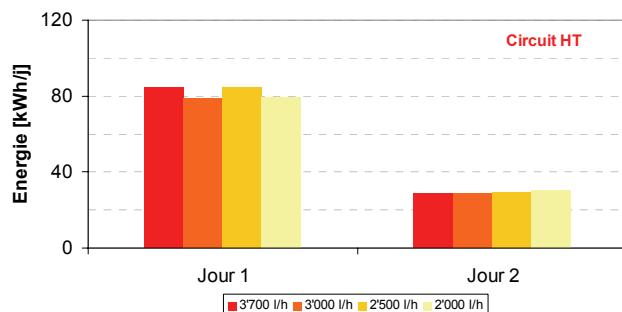


FIGURE 56 : ENERGIES CIRCUIT HT AVEC DIFFERENTS DEBITS SUR CIRCUIT MT, CLIMAT DE BARCELONE, JOURS 1 ET 2

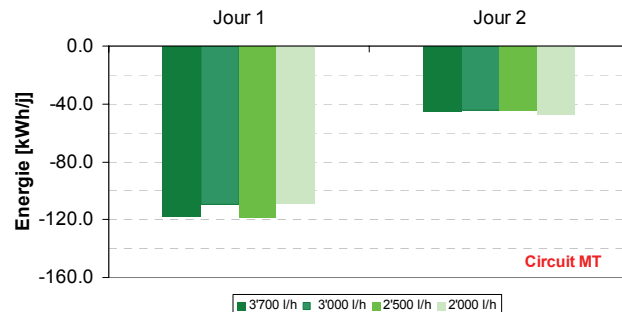


FIGURE 57 : ENERGIES CIRCUIT MT, AVEC DIFFERENTS DEBITS SUR CIRCUIT MT, CLIMAT DE BARCELONE, JOURS 1 ET 2

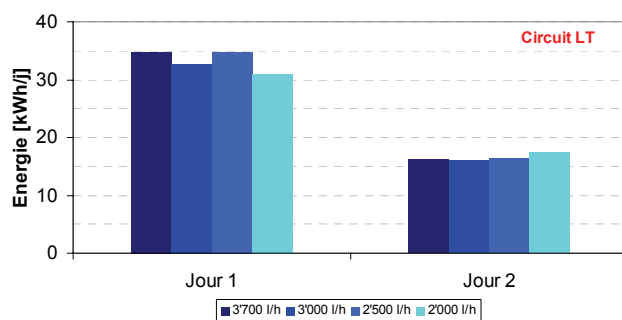


FIGURE 58 : ENERGIES CIRCUIT LT, AVEC DIFFERENTS DEBITS SUR CIRCUIT MT, CLIMAT DE CLIMAT DE BARCELONE, JOURS 1 ET 2

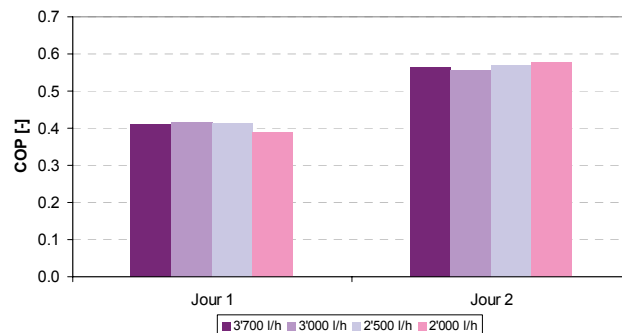


FIGURE 59 : COP CIRCUIT HT, MT ET LT, AVEC DIFFERENTS DEBITS SUR CIRCUIT MT, CLIMAT DE BARCELONE, JOURS 1 ET 2

Pour les deux jours considérés, le COP thermique de la machine reste constant, ceci même pour des débits dans le circuit MT de l'ordre de 2'000 l/h au lieu de 3'700 l/h.

En détaillant l'analyse, il est observé que la diminution du débit sur le circuit MT, même si elle ne pèjore pas le COP, entraîne d'autres phénomènes comme expliqués plus en détail ci-dessous :

### 1) Effet sur la différence de température du circuit MT

La Figure 60 montre que la différence de température sur le circuit MT entre l'entrée et la sortie de Sortech augmente avec la diminution du débit dans le circuit MT.

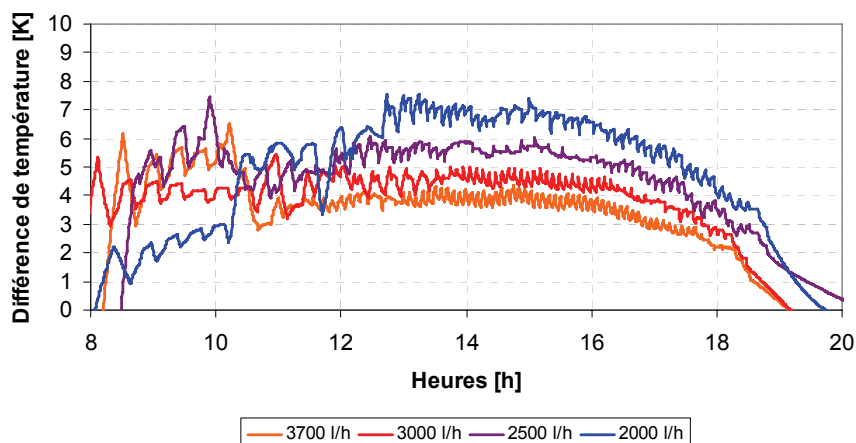


FIGURE 60 : EVOLUTION DE LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE SUR LE CIRCUIT MT A L'ENTREE/SORTIE DE SORTECH, CLIMAT DE BARCELONE, JOUR 1, VALEURS MOYENNEES SUR 20 MINUTES

Par contre, la température d'entrée dans Sortech sur le circuit MT est relativement constante, comme le montre la Figure 61 :

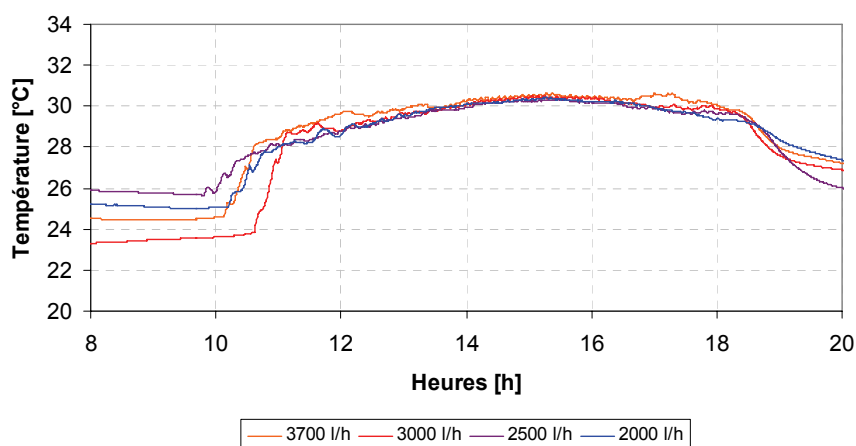


FIGURE 61 : TEMPERATURES D'ENTREE SORTECH, CIRCUIT MT, CLIMAT DE BARCELONE, JOUR 1, VALEURS MOYENNEES SUR 20 MINUTES

La réduction du débit sur le circuit MT diminue l'échange thermique dans le réacteur de Sortech, d'où une augmentation de la température à la sortie de la machine sur le circuit MT. Le refroidir rééquilibre l'échange en abaissant la température de l'eau glycolée au même niveau de température quelque soit le débit mais en travaillant plus souvent et à une vitesse plus élevée.

## 2) Effet sur la consommation électrique du recool

Le recool fonctionne selon deux niveaux de puissance, un premier à 400 W (tension de consigne de 6 V) et un second à 800 W (tension de consigne de 10 V). La Figure 62 montre la consigne demandée par Sortech au recool pour les tests à 3'700 l/h et à 2'000 l/h.

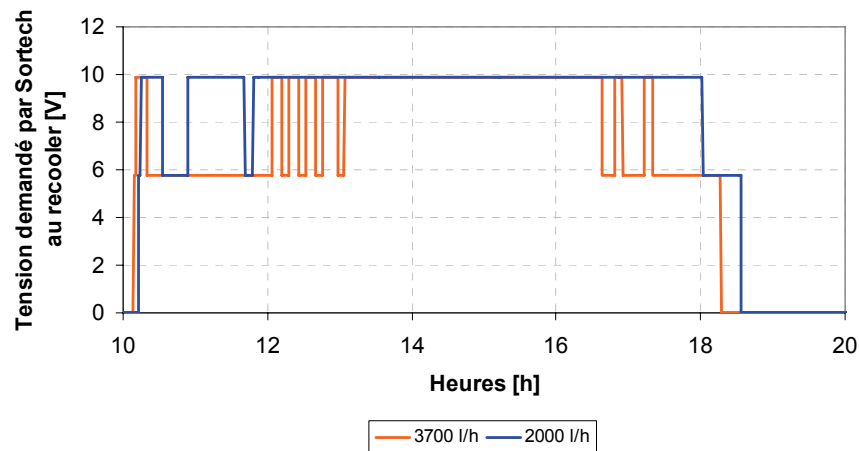


FIGURE 62 : TENSION DE CONSIGNE ENVOYEE PAR SORTECH AU RECOOLER, POUR DIFFERENT DEBITS DANS CIRCUIT MT

La consommation électrique, pour le jour 1 du climat de Barcelone, mesurée pour 3700 l/h est de 5.07 kWh contre 6.27 kWh pour 2000 l/h. Le recool compense le moins bon échange thermique dans Sortech, par une sur-consommation électrique lorsque le débit est faible sur le circuit MT.

## 3) Effet sur le circuit LT

La modification du débit dans le circuit MT entraîne également une différence dans la température de sortie du circuit LT (bâtiment) comme le montre la Figure 63. Jusqu'à un débit de 2'500 l/h, cette différence n'est que peu visible. Mais pour un débit plus faible (2'000 l/h), la température de départ (en direction du bâtiment) du circuit froid est 2 à 3 degrés plus élevée que pour les débits plus grands.

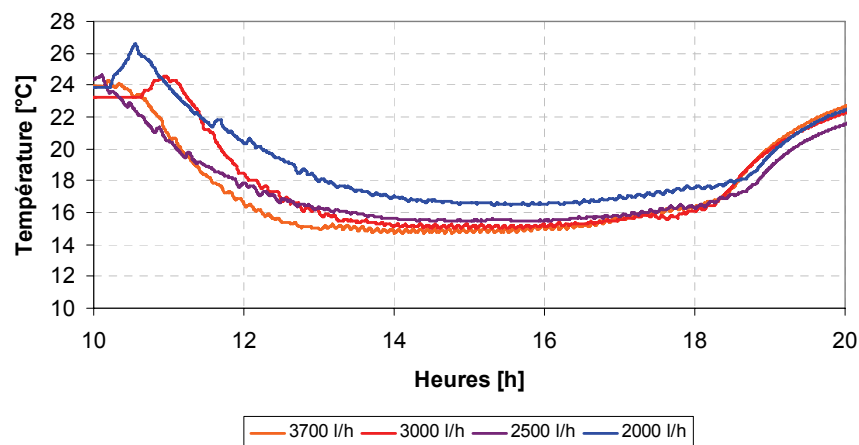


FIGURE 63 : TEMPERATURES DE SORTIE SORTECH DU CIRCUIT LT, POUR DIFFERENTS DEBITS DANS LE CIRCUIT MT, BARCELONNE, JOUR 1, VALEURS MOYENNEES SUR 20 MINUTES

En conclusion à ce chapitre, il est intéressant de constater que la diminution du débit sur le circuit MT au-dessous de la valeur fixée par le fabricant (3700 l/h) mais au-dessus de 2000 l/h permet de diminuer la consommation électrique du circulateur de ce groupe sans modifier les performances globales de l'installation.

## 5.11. Influence de la température de consigne de sortie du circuit LT (T\_SET) sur la machine Sortech

### 5.11.1.Objectif

Sur la régulation de la machine Sortech, l'utilisateur peut choisir une température de consigne pour la sortie du circuit LT (départ du froid vers le bâtiment), noté "T\_SET". Selon le fabricant, cette température doit être choisie en fonction du système de distribution de chaleur dans le bâtiment :

- T\_SET = 15°C pour une distribution par plafond ou dalle froid (Débit LT=2'000 l/h)
- T\_SET = 10°C pour une application avec ventilo-convecteur (Débit LT=1'600 l/h).

Une série de tests a été faite pour analyser l'influence de ces deux valeurs de température de consigne sur les performances de l'installation.

Météo	Barcelone
Cuve	Avec
Numéros de tests :	115 et 114

TABLEAU 11 : CONFIGURATIONS POUR TEST DES VALEURS DE T\_SET

### 5.11.2.Résultats

La Figure 64 montre l'évolution du COP sur les 5 premiers jours du climat type de Barcelone, pour les deux valeurs possibles de la température du départ du circuit LT (T\_SET).

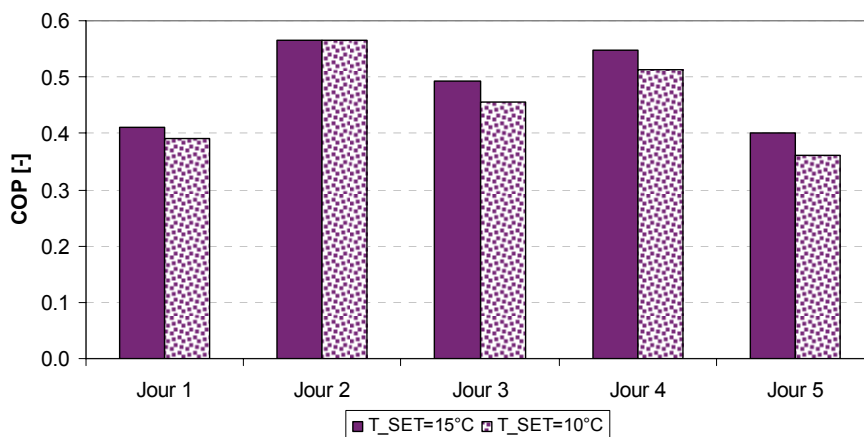


FIGURE 64 : COP THERMIQUE OBTENUS POUR LES DEUX VALEURS DE TEMPERATURE DE CONSIGNE POUR LE DEPART DU CIRCUIT LT (T\_SET), POUR LE CLIMAT DE BARCELONE

Le COP est globalement inférieur pour la séquence T\_SET=10°C (à l'exception du jour 2 (jour passablement nuageux, avec peu de production de froid)). Cette diminution du COP s'explique par une baisse de la puissance fournie au circuit LT, comme le montre les deux graphiques pour deux jours différents présentés dans la Figure 65.

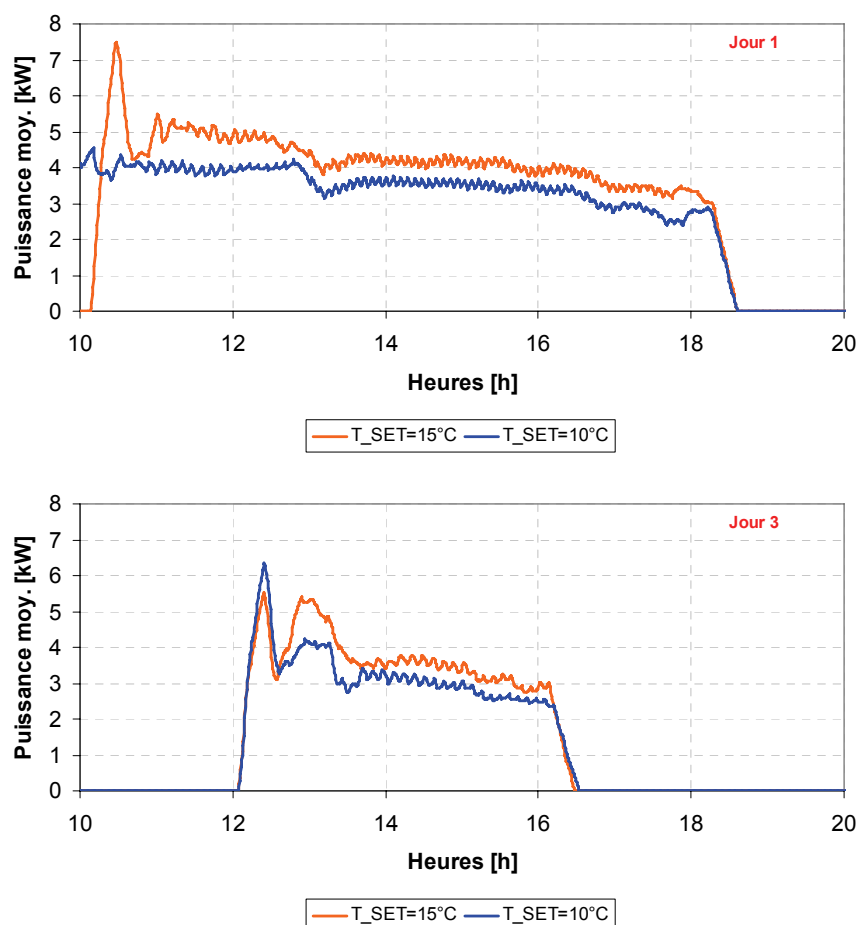


FIGURE 65 : PUISSANCE CIRCUIT LT, CLIMAT DE BARCELONE, JOUR 1 (EN HAUT) ET JOUR 3 (EN BAS), CLIMAT DE BARCELONE, VALEURS MOYENNEES SUR 20 MINUTES

La machine fonctionne en mode « Power » durant la majorité de ces deux tests. Comme le montre la Figure 65, la puissance est inférieure lorsque  $T_{SET}=10^{\circ}\text{C}$  car le débit du circuit LT est plus faible (1'600 l/h au lieu de 2'000 l/h pour  $T_{SET}=15^{\circ}\text{C}$ ).

Une fois de plus la puissance fournie par la machine est nettement inférieure à la puissance nominale. De plus, il a été constaté que la température de consigne  $T_{SET}$  n'est que rarement atteinte dans les deux tests, comme le montre la Figure 66.

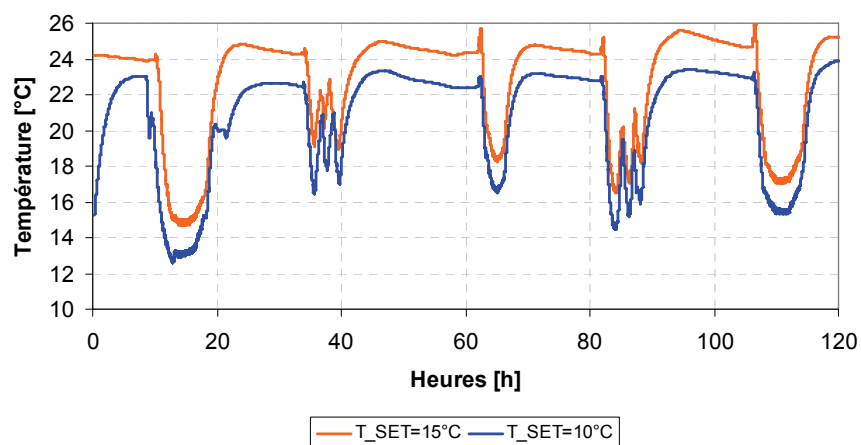


FIGURE 66 : TEMPERATURE DE SORTIE DU CIRCUIT LT, POUR LES DEUX VALEURS DE CONSIGNE DE  $T_{SET}$  (CLIMAT DE BARCELONE, JOUR 1 A 5, VALEURS MOYENNEES SUR 20 MINUTES)

En conclusion à cette section, nous constatons qu'il est difficile pour la machine d'atteindre les températures de consigne ( $T_{SET}$ ) sur la sortie du circuit LT. Une baisse de puissance froide est observée lorsque la machine travaille à  $T_{SET} = 10^{\circ}\text{C}$ . Cette température de  $10^{\circ}\text{C}$  n'étant pas nécessaire pour le système de refroidissement par dalle, il n'y a pas d'intérêt à travailler à ce niveau de température. En cas d'utilisation avec des aéro-convecteur, un bilan d'énergie devra être effectué afin de déterminer quelle est la température de consigne la plus adéquate.

## 5.12. Régulation de la machine SORTECH

### 5.12.1.Objectif

L'objectif de cette section est d'analyser l'influence de la régulation de l'installation sur les performances de la machine Sortech. Il faut noter que cette dernière est livrée sans système de régulation "externe" et qu'il n'y a qu'une entrée ON/OFF qu'il faut activer en fonction des besoins.

Les paramètres du stand ont été modifiés selon l'Annexe 8, le Tableau 12 résume les modifications les plus importantes entre les deux régulations testées :

	Conditions	Régulation A	Régulation B
<i>Gestion du circulateur du circuit Sortech-cuve :</i>			
• Enclenchement	Température du bas de la cuve de stockage supérieure à :	60°C	65°C
• Arrêt	Température du haut de la cuve inférieure à :	55 °C	65°C
<i>Gestion de SORTECH :</i>			
• Enclenchement	Température de sortie de la machine SORTECH du circuit HT supérieure à :	60°C	65°C
	Température du bas de la cuve de stockage supérieure à :	55°C	60°C
• Arrêt	Pas de modification entre les deux régulations		

TABEAU 12 : PARAMETRES DIFFERENTS ENTRE REGULATION A ET REGULATION B

Les deux régulations ont été testées dans les situations définies dans le tableau ci-dessous.

<b>Météo</b>	Barcelone
<b>Cuve</b>	Avec
<b>Numéros de tests :</b>	115 et 116

TABEAU 13 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR TEST AVEC PLAGE DE FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION MODIFIEE

### 5.12.2.Résultats

Globalement, les niveaux de température pour l'enclenchement ou le déclenchement de la machine sont plus élevés dans la régulation B. Par contre le nombre d'heures de fonctionnement de la machine Sortech est sensiblement réduit avec cette régulation, comme le montre la Figure 67 :

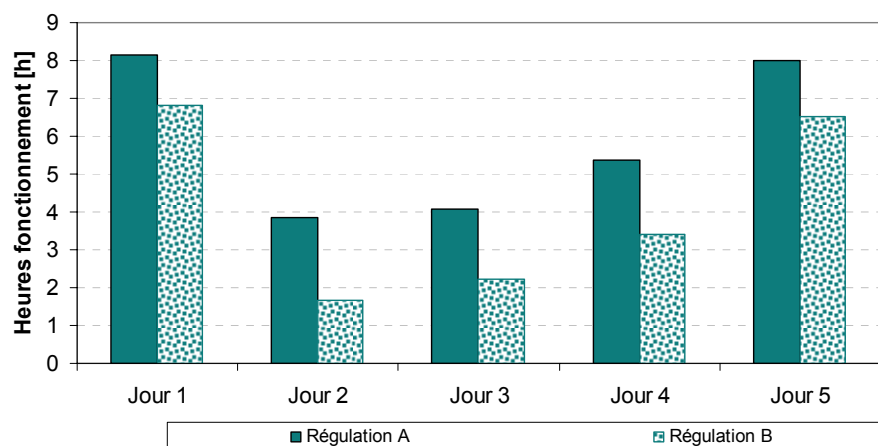


FIGURE 67 : HEURES DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE SORTECH, REGULATION A ET REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE

Avec la régulation B, il y a également une augmentation du nombre d'enclenchements et d'arrêts de la machine durant les journées moins ensoleillées et un démarrage plus tardif de l'installation en début de journée.

Même si les COP de la machine sont relativement proches avec les deux régulations (Figure 68), il est montré dans les Figure 69 à Figure 71 que les énergies des différents circuits sont inférieures pour la régulation B.

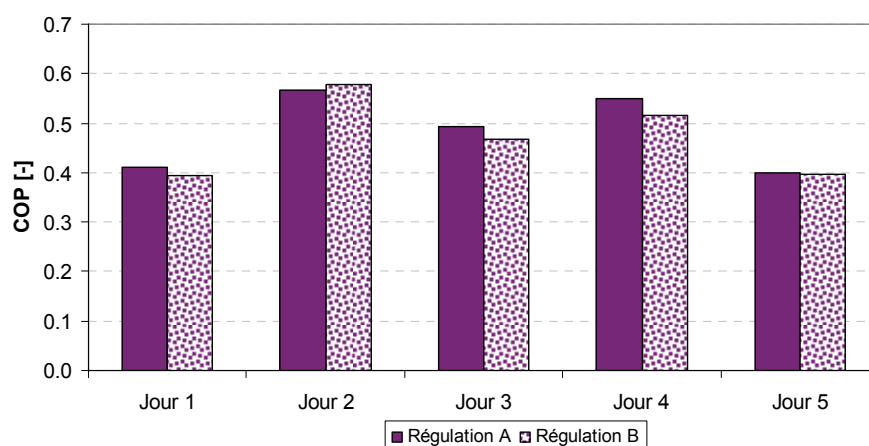


FIGURE 68 : COP MACHINE, AVEC REGULATION A ET REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE

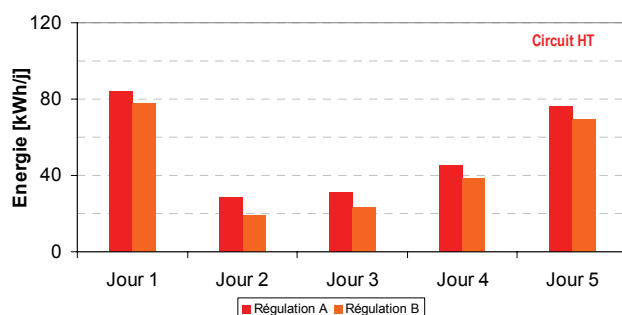


FIGURE 69 : ENERGIES CIRCUIT HT, AVEC REGULATION A ET REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE

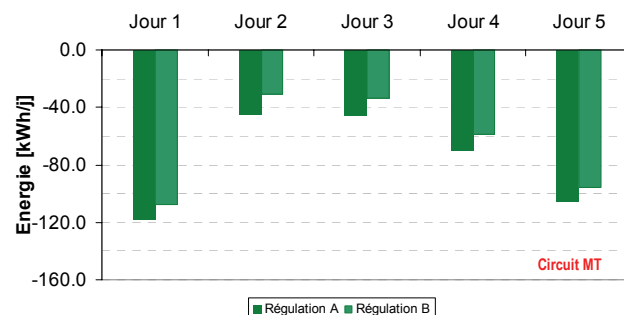


FIGURE 70 : ENERGIES CIRCUIT MT, AVEC REGULATION A ET REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE



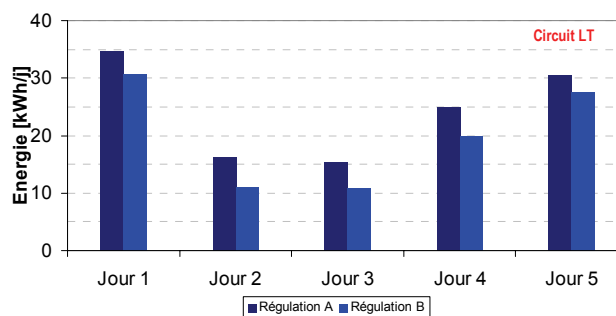


FIGURE 71 : ENERGIES CIRCUIT LT, AVEC REGULATION A ET REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE

Il est intéressant de constater, qu'entre la régulation A et la régulation B, la diminution en temps de fonctionnement de la machine Sortech (et donc de l'installation) se situe entre 15 et 55 % alors que la diminution d'énergie sur le circuit LT est comprise entre 10 et 30% (Figure 72).

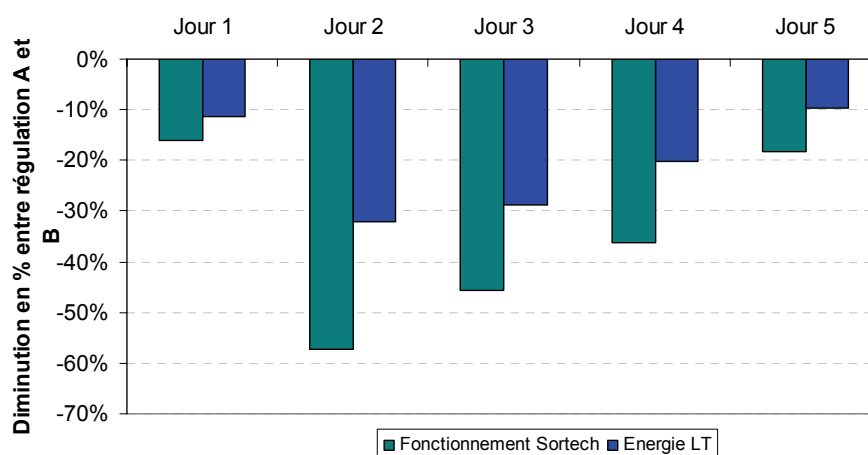


FIGURE 72 : DIMINUTION EN POURCENTAGE DE LA DUREE DE FONCTIONNEMENT DE SORTECH ET DE L'ENERGIE FOURNIE SUR LE CIRCUIT LT ENTRE TESTS AVEC REGULATION A ET AVEC REGULATION B, CLIMAT DE BARCELONE

Cette comparaison montre que les paramètres de la régulation B empêchent la machine de fonctionner à certains moments de la journée (début de journée, fin de journée et passage nuageux), cette limitation entraîne un plus grand nombre d'enclenchements et d'arrêt de la machine. Par contre, la diminution du temps de fonctionnement est proportionnellement plus grande que la diminution de l'énergie froide fournie, cet aspect est intéressant dans le cadre de l'optimisation des consommations électriques de l'ensemble de l'installation.

La suite des tests a été effectuée avec les valeurs introduites dans la régulation B. Ainsi, le test présenté dans ce chapitre fera office de référence.

## 5.13. Vitesse de rotation des ventilateurs du recool

### 5.13.1.Objectif

L'objectif de cette section est d'analyser l'effet de la modification de la vitesse de rotation des ventilateurs du recool (donc de la consommation d'électricité) sur les performances de la machine Sortech.

Les ventilateurs du recool sont commandés par la machine Sortech selon le schéma de la Figure 73 :

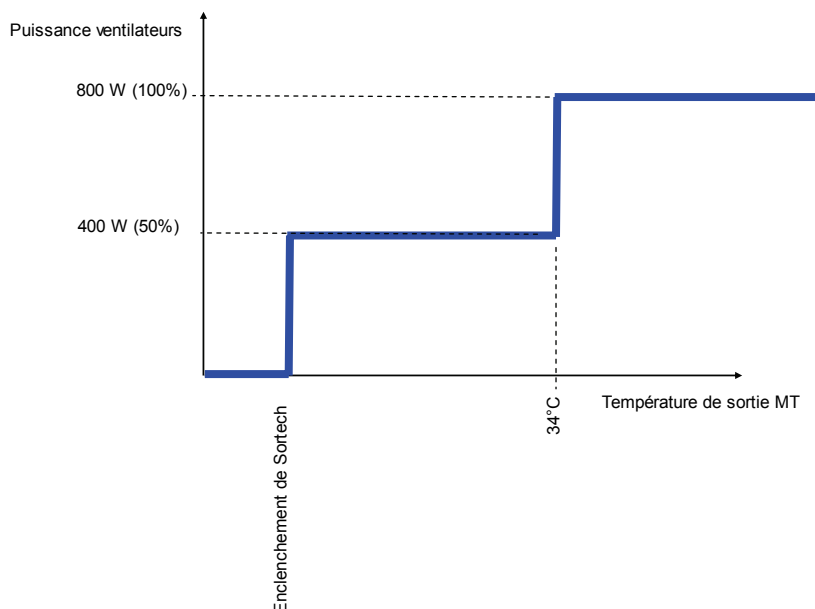


FIGURE 73 : REGULATION DU RECOOLER, 100% ET 50%

La comparaison présentée dans cette section est basée sur la modification de cette régulation comme montré dans la Figure 74. Le but étant d'observer si une diminution du débit d'air délivré par les ventilateurs, donc de la consommation électrique du recool, entraîne une forte ou faible diminution des performances de la machine.

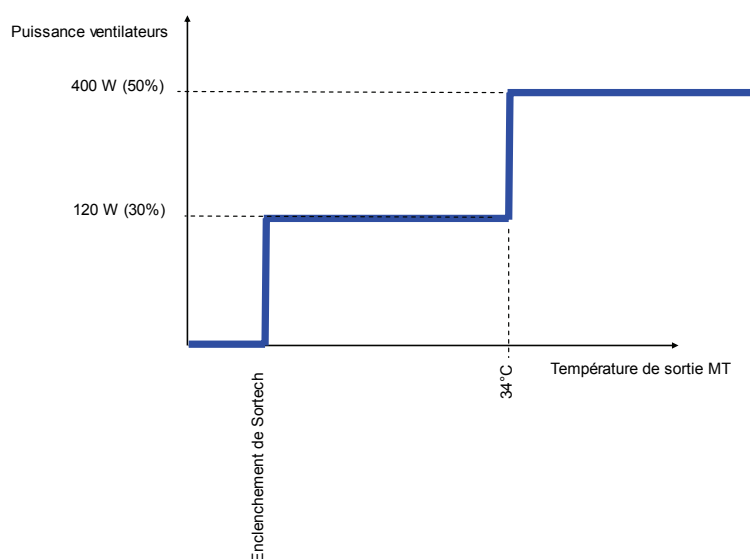


FIGURE 74 : REGULATION DU RECOOLER, 30% ET 50%

Météo	Barcelone
Cuve	Avec
Numéros de tests :	116 et 121

TABLEAU 14 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR TESTS AVEC DIMINUTION DES DEBITS D'AIR SUR LE RECOOLER

### 5.13.2. Résultats

La Figure 75 montre le nombre d'heures de fonctionnement de la machine Sortech pour les deux modes d'utilisation du recooler :

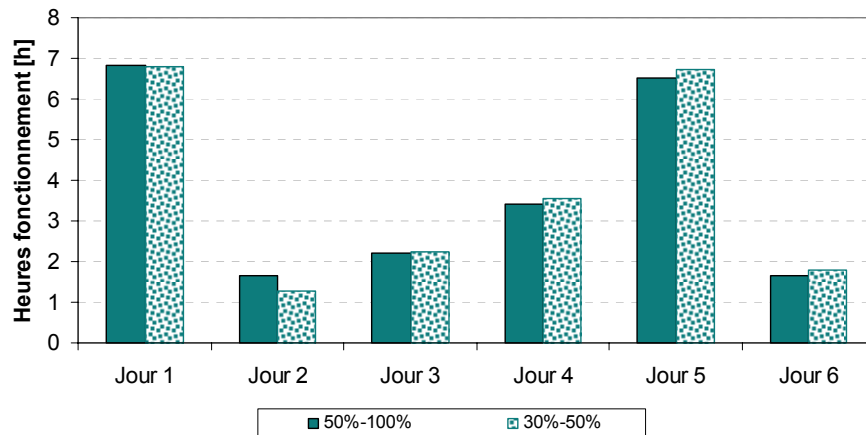


FIGURE 75 : MESURE DES HEURES DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE SORTECH AVEC DIMINUTION DES DEBITS D'AIR SUR LE RECOOLER, CLIMAT DE BARCELONE

Les heures de fonctionnement de Sortech sont très proches entre les deux tests ; les jours 3 à 6 présentent une faible augmentation de durée de fonctionnement. Par contre, ces jours présentent une légère diminution globale du COP, comme le montre la Figure 76.

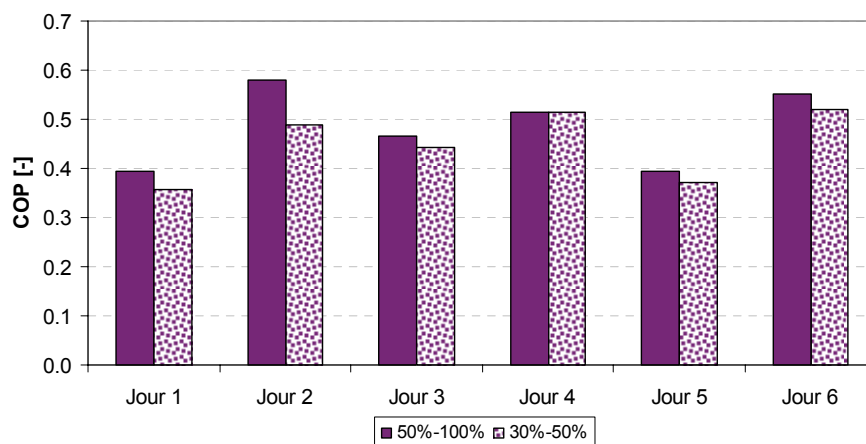


FIGURE 76 : COP MACHINE, AVEC DIMINUTION DES DEBITS D'AIR SUR LE RECOOLER CLIMAT DE BARCELONE

La Figure 77 montre que le COP chute de 5 à 15%, alors que la consommation électrique du recool diminue de plus de 40 % !

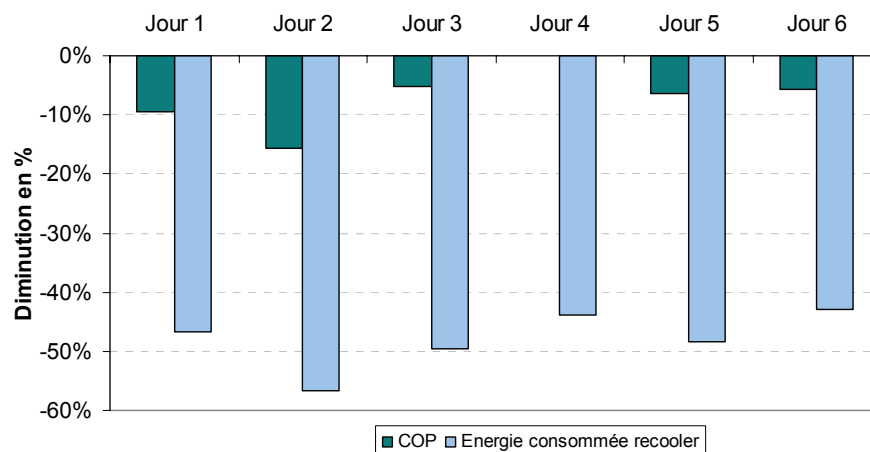


FIGURE 77 : DIMINUTION RELATIVE DU COP ET DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DU RECOOLER OBTENUE EN REDUISANT LA VITESSE DES VENTILATEURS

Ce test met en avant le potentiel de diminution de consommation électrique de l'installation, en particulier, ici, le potentiel sur le recool, sans modifier de manière fondamentale le COP. Après avoir discuté avec le fabricant, ce dernier est également arrivé à la conclusion que la diminution de vitesse des ventilateurs n'entraînait qu'une faible diminution du COP. Après différents tests complémentaires, le fabricant a maintenant opté pour un fonctionnement des ventilateurs à 150 W pour le premier niveau et à 650 W pour le second. De plus, il travaillera probablement avec des ventilateurs de classe d'énergie A pour les futurs recool.

## 5.14. Influence de la maintenance de la machine Sortech

### 5.14.1.Objectif

Après 7 mois d'utilisation, l'entreprise Sortech a proposé de venir effectuer une maintenance de la machine, maintenance proposée aux clients « standards » avant le début de la saison de climatisation. Afin de pouvoir observer l'effet de cette maintenance, un test de 6 jours a été effectué, avec les mêmes paramètres que le test avec vitesse de ventilateur réduite, soit avec diminution de la consigne sur le recool (50 et 30% selon Figure 74). Le même test a été refait après l'opération de maintenance. Les tests ont été effectués dans les conditions données dans le tableau ci-dessous.

<b>Météo</b>	Barcelone
<b>Cuve</b>	Avec
<b>Puissance du recool</b>	50%-30%
<b>Numéros de tests :</b>	122 et 123

TABLEAU 15 : CONFIGURATIONS TESTEES POUR TEST AVANT ET APRES DEGAZAGE

Mise à part quelques vérifications, le point essentiel de cette maintenance consiste à effectuer un dégazage de la machine, en mettant la machine dans des conditions stables et idéales pour faire ce dégazage (hautes températures sur HT, basses température sur MT).

### 5.14.2.Résultats

La Figure 78 montre l'évolution du COP entre les deux tests comparatifs :

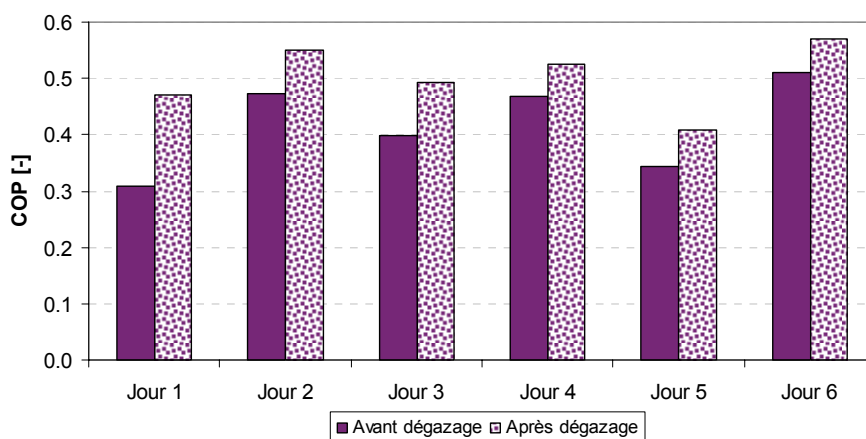


FIGURE 78 : COP MACHINE SORTECH, AVANT ET APRES DEGAZAGE, CLIMAT DE BARCELONE

Une augmentation sensible du COP de 20 à 25% est observée.

Les Figure 79 à Figure 81 donnent les énergies des trois différents circuits obtenues avant et après le dégazage.

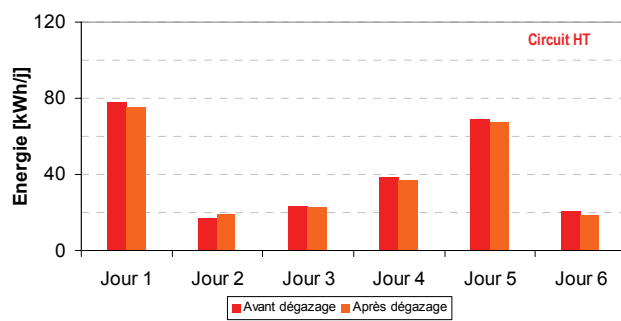


FIGURE 79 : ENERGIE SUR CIRCUIT HT, TESTS AVANT ET APRES DEGAZAGES, CLIMAT DE BARCELONE

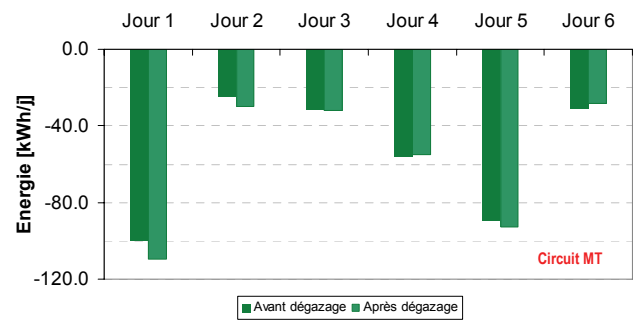


FIGURE 80 : ENERGIE SUR CIRCUIT MT, TESTS AVANT ET APRES DEGAZAGES, CLIMAT DE BARCELONE

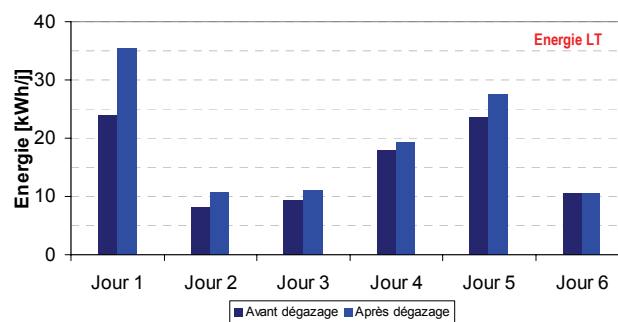


FIGURE 81 : ENERGIE SUR CIRCUIT LT, MESUREE AVANT ET APRES DEGAZAGES, CLIMAT DE BARCELONE

La Figure 81 montre parfaitement que l'augmentation du COP, constatée à la Figure 78, est liée à l'augmentation d'énergie froide produite étant donné que l'énergie HT reste quasi constante.

Il est fort probable que la machine présente de légères fuites, fuites laissant imperceptiblement entrer de l'air dans le circuit sous vide, comme c'est souvent le cas avec des installations fonctionnant avec un vide partiel. Cet air diminue les différents échanges thermiques et empêche une bonne réaction d'adsorption. Ceci implique que la maintenance est absolument nécessaire pour obtenir les performances maximales, et ceci déjà après 6 mois de fonctionnement de la machine. Signalons que le fabricant propose un contrat de maintenance pour 500 €, comprenant un dégazage annuel.

### 5.15. Synthèse de l'ensemble des tests effectués

Suite aux différents tests effectués jusque-là, les performances de la machine ont été regroupées afin de pouvoir effectuer une analyse globale. Un tel regroupement est délicat étant donné les nombreuses configurations testées et il n'est pas facile de les visualiser de manière simple.

**Les personnes ne désirant connaître que les analyses globales obtenues pourront se limiter à la lecture du texte. Les personnes désirant connaître en détails les caractéristiques de tous les tests effectués et présentés dans les graphiques ci-dessous devront se reporter à l'Annexe 18.**

L'ensemble des tests effectués permet de constater les points suivants :

A. COP et Puissance de la machine (Figure 82)

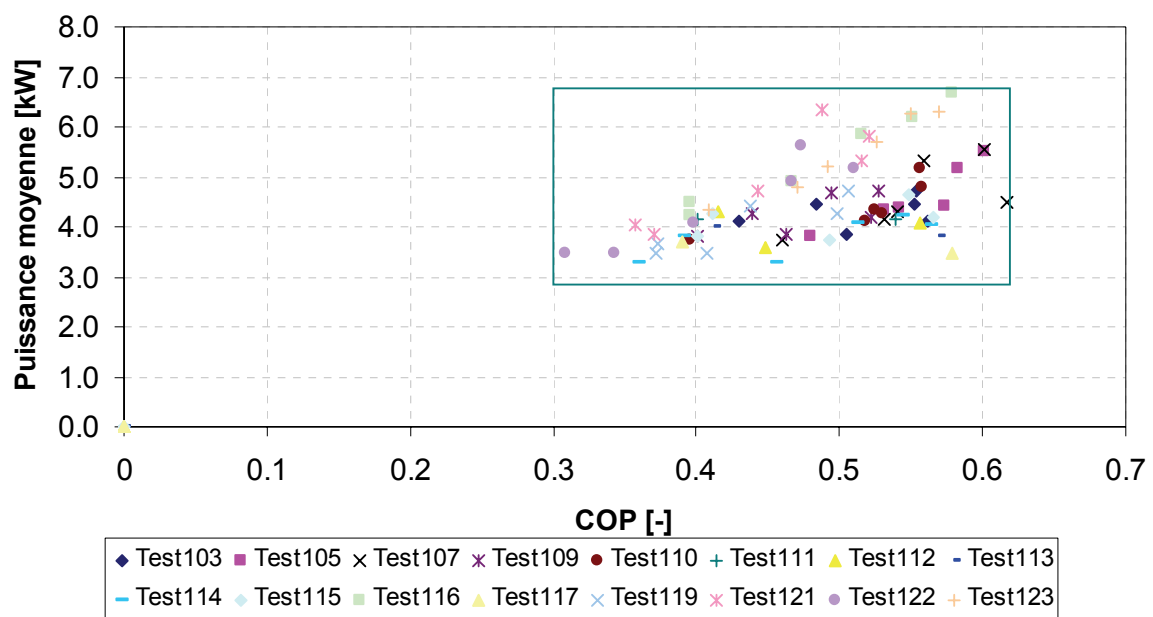


FIGURE 82 : PUISSANCE FROIDE MOYENNE EN FONCTION DU COP ENSEMBLE DES TESTS

Sur tous les tests effectués, la puissance moyenne délivrée (calculée par jour de test) ne dépasse jamais les 7.0 kW. Elle se situe aux alentours des 4.5 kW. Le COP est compris entre 0.3 et 0.6. Ceci confirme que la puissance nominale annoncée par le fabricant n'est jamais atteinte en conditions réelles. Ceci est important, car lors du choix d'une machine, le réflexe est de choisir un producteur d'énergie avec une puissance nominale proche de la puissance calculée. Dans ce cas, si les besoins en froid ont été définis à 8 kW et que l'ACS 08 est choisie, la machine sera sous-dimensionnée.

B. Energie froide délivrée au circuit LT en fonction de l'ensoleillement (Figure 83)

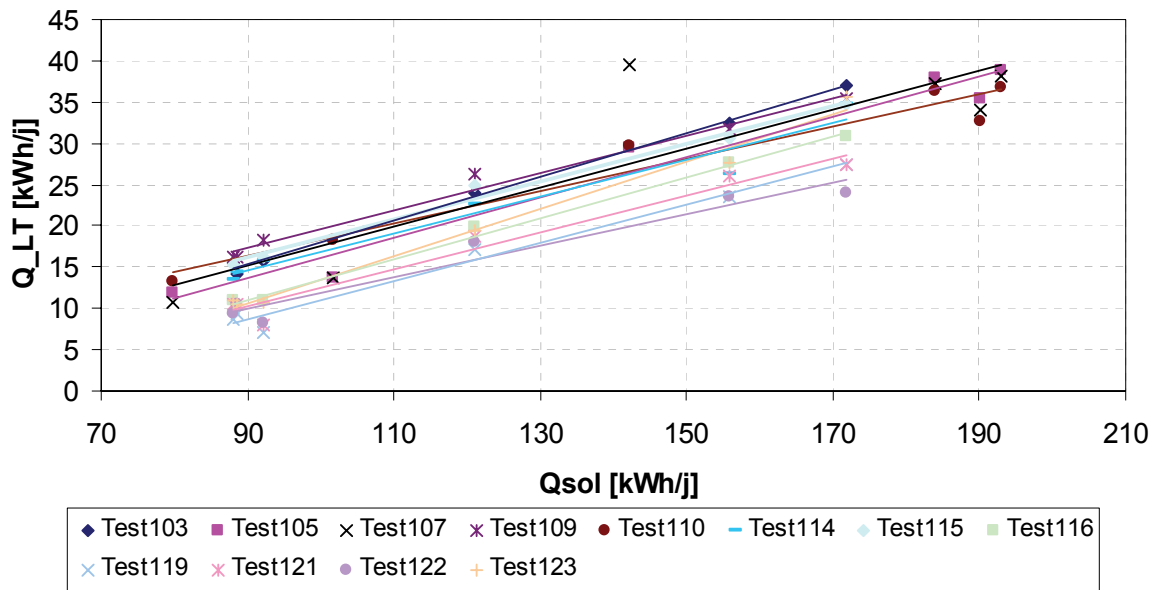


FIGURE 83 :  $Q_{LT}$  FONCTION DE  $Q_{SOL}$ , TESTS 103 A 123

L'énergie froide est directement proportionnelle à l'énergie captée par les capteurs. Selon les configurations testées, cette énergie froide varie considérablement (~50%) pour un même ensoleillement.

C. COP en fonction de la température d'entrée Sortech du circuit MT (Figure 84)

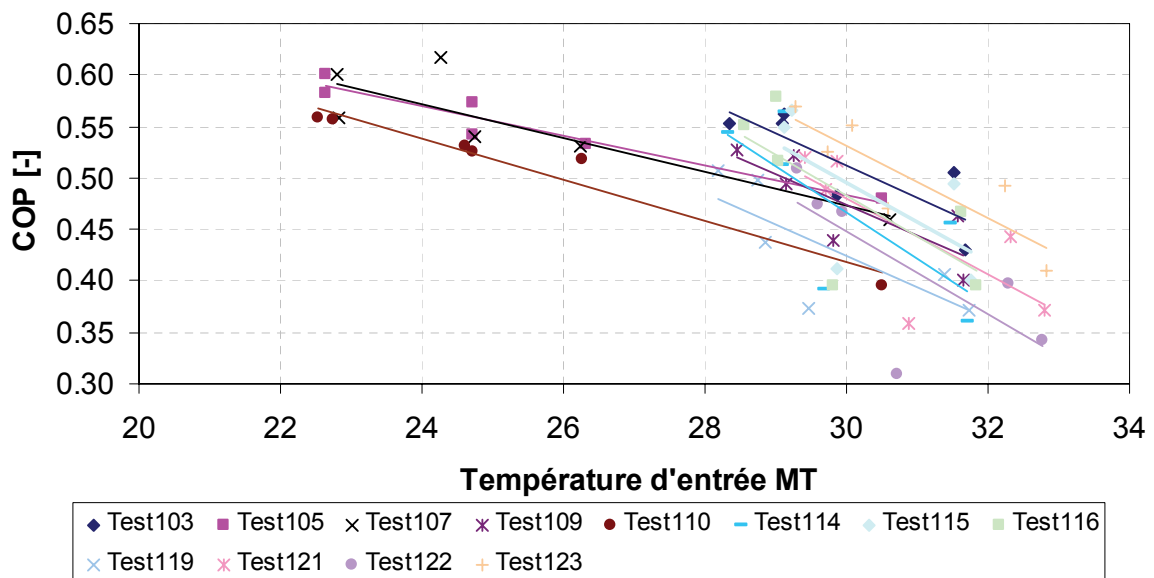


FIGURE 84 : COP EN FONCTION DE LA TEMPERATURE  $T_{MT}$ , TESTS 103 A 123



Le COP diminue considérablement avec l'augmentation de la température d'entrée du circuit MT, donc, indirectement en fonction de la température extérieure. Il est intéressant de constater que la pente est différente entre les tests effectués à Zürich (pente faible) et ceux effectués à Barcelone (pente forte). En effet, à Zürich, la différence d'irradiation solaire entraîne une plus forte variation de la température extérieure qu'à Barcelone (climat continental vs climat méditerranéen).

D. COP électrique en fonction de la température d'entrée Sortech du circuit (Figure 85)

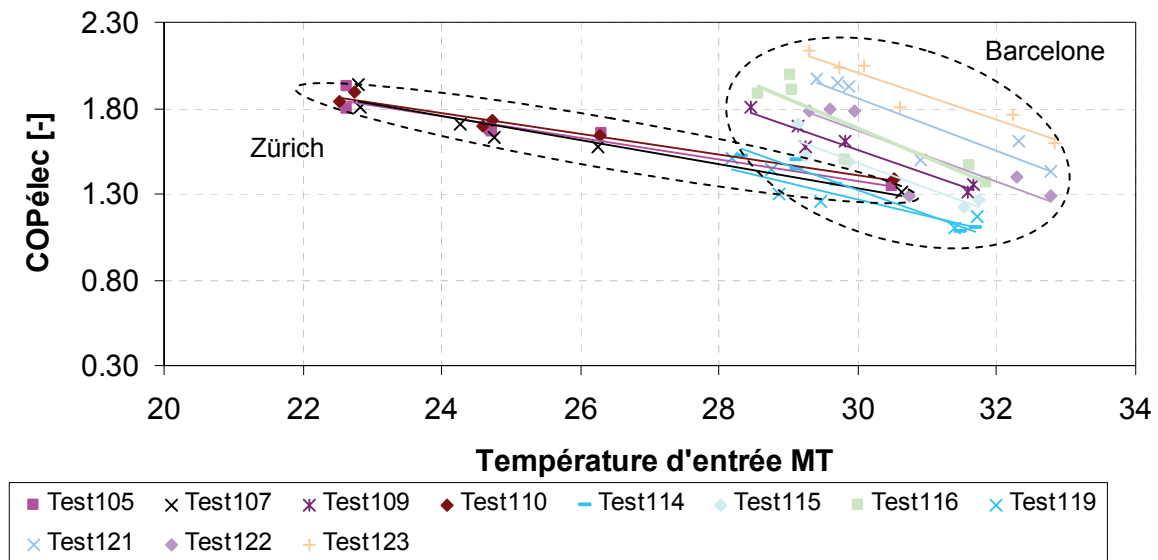


FIGURE 85 : COP<sub>ELECTRIQUE</sub> EN FONCTION DE LA TEMPERATURE T<sub>MT</sub>, POUR DIFFERENTES SEQUENCE DE 5 JOURS DE TESTS (103 A 123)

Ce graphique montre clairement plusieurs choses :

- l'augmentation des COP<sub>électrique</sub> obtenus suite à la maintenance de la machine. Cette augmentation est visualisée par la courbe beige (courbe la plus haute sur le graphique).
- les modifications effectuées entre les tests entraînent un décalage « parallèle » des courbes (bien visible sur les tests effectués à Barcelone). Ainsi, le fait de changer un paramètre ou un autre influe sur le COP<sub>électrique</sub> de l'installation, mais, l'influence de la température d'entrée de la machine reste la même d'une configuration à une autre. Un point de mesure pourrait ainsi être suffisant pour caractériser l'ensemble de la courbe.

D'une façon encore plus générale, il est possible de constater que :

- la commutation de la régulation Sortech en mode "Power" ou "Eco" entraîne un fonctionnement qui peut différer d'un test à l'autre. En effet, une très faible différence d'une température d'un circuit peut faire basculer le mode de cette régulation.
- une diminution continue des performances a eu lieu durant toute la période des tests, comme le prouve l'augmentation des performances suite à la maintenance de la machine Sortech.

## 5.16. Test avec Arpège sur le circuit MT

### 5.16.1.Objectif

Comme imaginé initialement, l'objectif de cette section est d'observer le potentiel d'économie d'énergie possible en ajoutant un combi-système sur le circuit MT. Ce combi-système permettrait de récupérer une partie de l'énergie évacuée par le recooler en vue d'un préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Nous rappelons, dans la Figure 86, les différentes possibilités offertes par notre stand pour le raccordement du circuit MT.

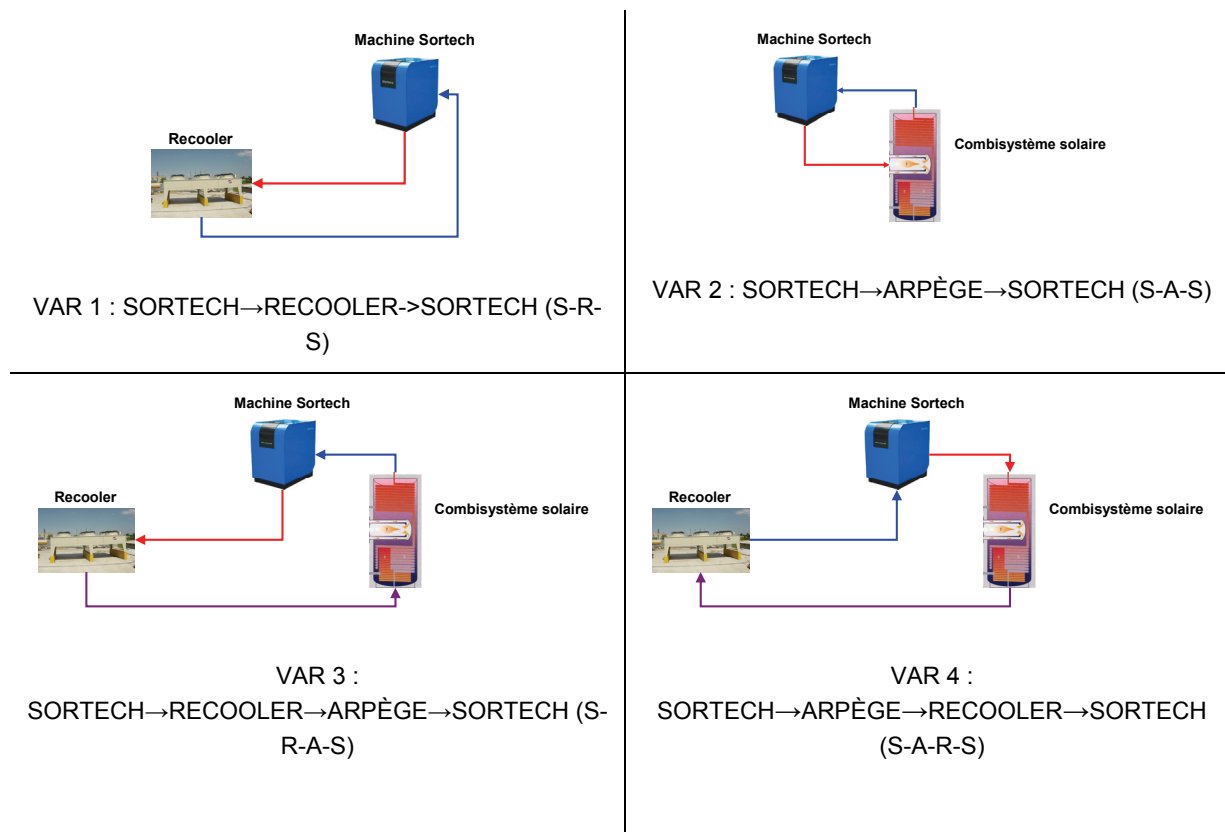


FIGURE 86 : DIFFERENTES POSSIBILITES DE RACCORDEMENT SUR LE CIRCUIT MT

A priori, il n'y a pas de configuration meilleure que l'autre, mais l'intérêt de leur utilisation est différent :

La variante 1 (S-R-S) correspond au mode de fonctionnement testé jusqu'ici et représente la solution actuellement mise en pratique dans les installations réelles.

La variante 2 (S-A-S) permettra de chauffer le combi-système Arpège à un niveau de température assez élevé, par contre, les performances de la machine Sortech risquent de diminuer car la température de retour du circuit MT sera potentiellement plus élevée qu'avec un recooler. Par contre, cette variante permettra de réduire la consommation électrique du recooler, car ce dernier sera à l'arrêt pendant ce temps.

La variante 3 (S-R-A-S) devrait permettre d'augmenter les performances de Sortech puisque la température d'entrée dans la machine du circuit MT est diminuée.

La variante 4 (S-A-R-S) devrait permettre de réchauffer le bas de la cuve du combi-système, ainsi l'eau du circuit MT entre dans le recooler avec une température plus basse qu'en fonctionnement normal. Du fait d'une température d'entrée plus basse, la consigne du recooler sera plus basse, ce qui devrait entraîner une économie d'énergie sur la consommation électrique des ventilateurs. De plus, tout comme la variante 3 (S-R-A-S), les performances de la machine devraient augmenter par la diminution de température à l'entrée de la machine sur le circuit MT.

### 5.16.2. Généralités sur les tests effectués

Avant de modifier la régulation du stand pour prendre en compte le changement de position des vannes de commutation, il a été décidé de faire quelques tests préliminaires pour observer le potentiel de stockage de chaleur dans le bas de la cuve du combi-système Arpège pour absorber l'énergie récupérée sur le circuit MT. Les tests effectués ont été faits en conditions stabilisées, à savoir : températures entrées constantes ( $T_{HT\_IN} = 75^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{MT\_IN} = 30^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{LT\_IN} = 18^{\circ}\text{C}$ ).

Signalons encore que le débit du circuit MT diminue sensiblement lors du passage par Arpège (2500 l/h en mode S-A-S et 2200 l/h en mode S-A-R-S ou S-R-A-S) au lieu des 3700 l/h nominaux. En effet, l'échangeur de chaleur d'Arpège a été conçu à la base pour un circuit solaire de 16 m<sup>2</sup> maximum. Le débit demandé par la machine Sortech de 3700 l/h engendre de telles pertes de charges que le débit ne peut pas être atteint.

Avant chaque tests, nous avons préparé la cuve Arpège afin d'obtenir une température proche de 15°C dans le bas de la cuve et de 50°C dans la partie haute, reproduisant ainsi le fonctionnement normale de ce type d'installation.

### 5.16.3. Mode de fonctionnement S-A-S (Var 2)

L'installation a été mise en température en mode S-R-S (var 1). Ensuite, le banc de tests bascule l'installation en mode S-A-S (var 2). Puis finalement, il repasse en mode S-R-S.

La Figure 87 montre l'évolution des températures sur le circuit MT, dans le bas de la cuve Arpège et du débit sur le circuit MT.

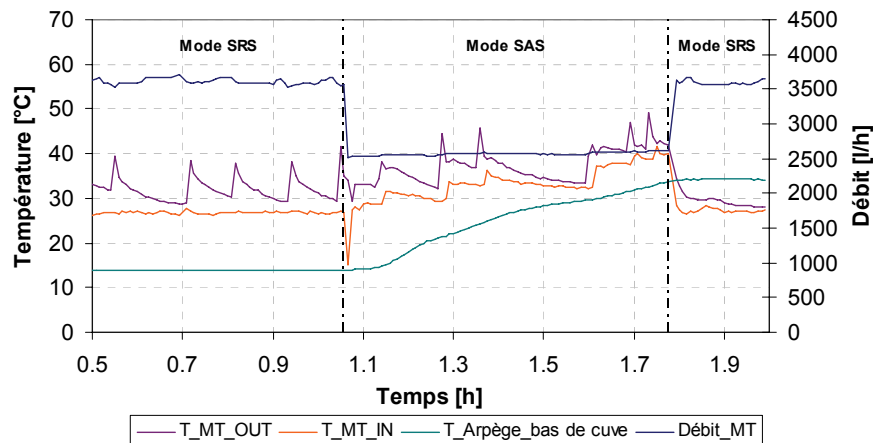


FIGURE 87 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MT EN MODE S-A-S, MESUREES EN CONDITIONS STABLES (75 C; 30°C ; 18°C)

Les courbes de la Figure 87 permettent de constater qu'il y a un bon échange entre le circuit MT et le bas de la cuve Arpège, durant environ 40 minutes. Il est ainsi possible de préchauffer le bas de la cuve avec le circuit MT, car la température de cette zone augmente régulièrement durant le mode S-A-S (courbe  $T_{Arpège\_bas\_de\_cuve}$ ). Cependant, il est vérifié que durant cette période, les performances de la machine Sortech chutent car la température d'entrée dans Sortech ( $T_{MT\_IN}$ ) augmente pour varier entre 30°C et 40°C, alors qu'avec le recycler (mode S-R-S), cette température est inférieure à 30°C.

Cette analyse est confirmée par la Figure 88 qui montre la variation du COP entre les deux modes.

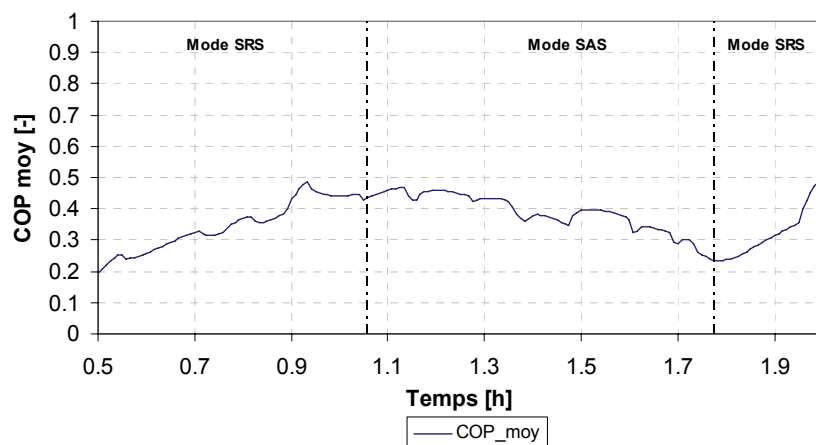


FIGURE 88 : VARIATION DU COP MOYEN (MOYENNE SUR 20 MINUTES), MESUREES EN CONDITIONS STABLES (75 C; 30°C ; 18°C) ENTRE LES MODES S-R-S ET S-A-S

Ce graphique montre que le niveau de température atteint dans le bas de cuve est relativement bas (environ 35°C).

#### 5.16.4. Mode de fonctionnement S-R-A-S (Var 3)

Ce test permet d'observer la diminution de température à l'entrée de Sortech sur le circuit MT. En effet, les conditions stables fixent la température d'entrée d'Arpège à 30°C. Il s'agit de voir si le passage dans Arpège permet d'augmenter les performances de la machine, et durant combien de temps.

Après avoir mis en température l'installation en mode S-R-S (environ 1 h), le banc de tests bascule en mode S-R-A-S. La Figure 89 présente l'évolution des températures sur le circuit MT et dans le bas de la cuve Arpège :

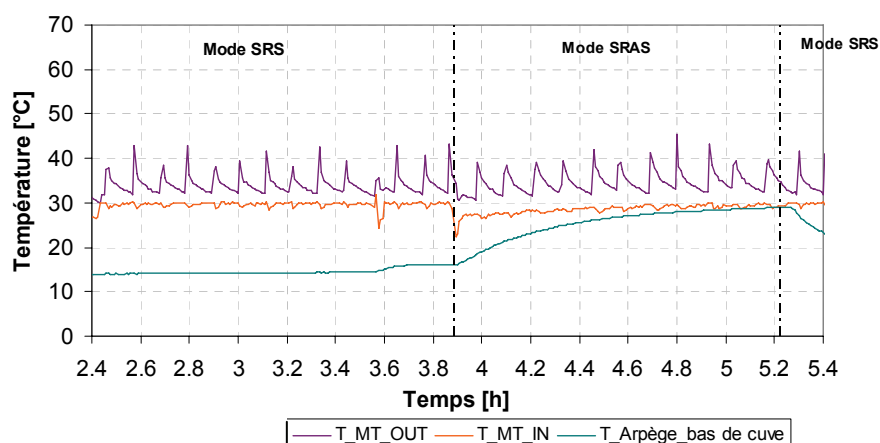


FIGURE 89 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MT, MESUREES EN CONDITIONS STABLES (75 C; 30°C ; 18°C), S-R-A-S

Tout comme pour le test précédent, la durée durant laquelle un gain est possible pour Sortech est très courte. En effet, la température à l'entrée de Sortech ( $T_{MT\_IN}$ ) est réduite entre 3 et 1 K sur une période d'environ 1 heure. Ensuite, il n'y a plus d'échange dans Arpège.

La faible réduction de cette température sur cette courte période est insignifiante par rapport aux énergies mises en jeu sur l'installation. Comme le montre la Figure 90, il n'y a pas de variation du COP durant cette période (COP moyen = 0.45).

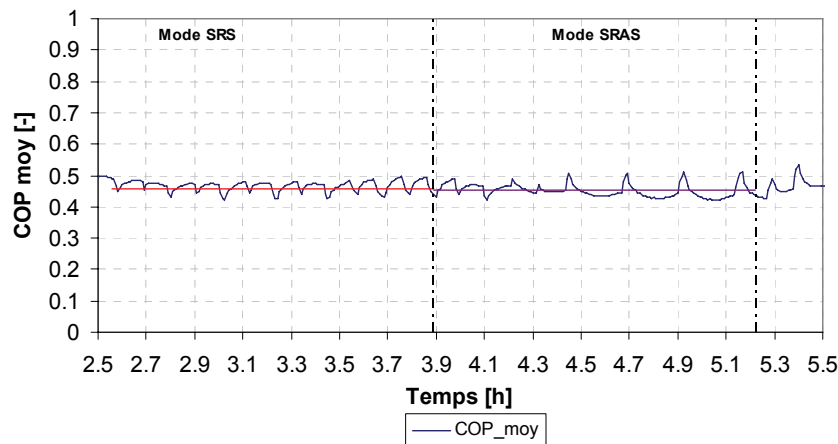


FIGURE 90 : EVOLUTION DU COP MOYEN (MOYENNE SUR 30 MINUTES), MESUREE EN CONDITIONS STABLES (75 °C ; 30 °C ; 18 °C), S-R-A-S

#### 5.16.5. Mode de fonctionnement S-A-R-S (Var 4)

Ce mode de fonctionnement devrait permettre une économie d'énergie électrique sur le re-cooler. En effet, le passage de la sortie Sortech du circuit MT passant par Arpège fera diminuer la température d'entrée dans le re-cooler, ce qui devrait permettre au re-cooler de fonctionner à une puissance plus faible. Rappelons qu'en l'état, la commande du re-cooler est gérée par Sortech en fonction de la température de sortie MT de la machine et non de la température d'entrée du re-cooler. Dans ce test, il ne sera possible que d'estimer le potentiel d'économie sur la base de la température d'entrée du re-cooler (courbe rouge dans la Figure 91), sachant que la commutation entre le niveau 1 (30%) et le niveau 2 (50%) de puissance du re-cooler se fait à 34 °C.

L'installation a été mise en température en mode S-R-S (environ 1 h). Ensuite, le banc d'essais bascule en mode S-A-R-S. La Figure 91 donne l'évolution des températures sur le circuit MT, dans le bas de la cuve Arpège, à l'entrée du recool, de la consigne pour le changement de vitesse du recool et du débit sur le circuit MT :

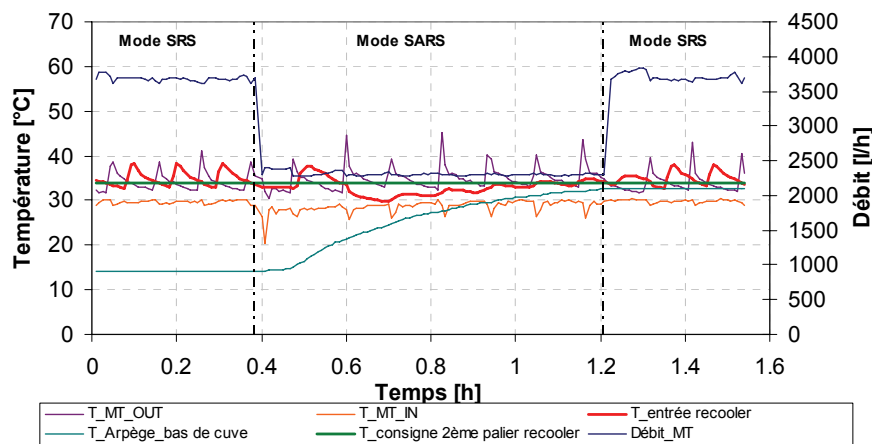


FIGURE 91 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MT, MESUREES EN CONDITIONS STABLES (75°C ; 30°C ; 18°C), S-A-R-S

Tout comme pour les tests précédents, une légère diminution de la température d'entrée de Sortech sur le circuit MT est observée, mais sur une très courte durée (environ 30 minutes). Durant cette période, la température à l'entrée du recool est inférieure à 34°C (température de commutation des niveaux du recool) et le recool fonctionne sur son premier niveau (30%). L'économie d'énergie électrique ainsi épargnée sera donc au maximum de 0.5 h x 400 W = 200 Wh. En comparaison avec la consommation électrique journalière du recool (1.75 et 6.09 kWh pour le test 115), la quantité d'électricité économisée en mode S-A-R-S est extrêmement faible.

#### 5.16.6. Mode de fonctionnement S-A-R avec soutirage en fin de test

Comme dernier test avec Arpège, il a semblé intéressant d'observer la diminution de température dans la cuve suite à un soutirage de 100 litres d'eau chaude sanitaire.

L'installation est mise en température en mode S-R-S (environ 1 h). Ensuite, le banc d'essais est basculé en mode S-A-S, ensuite de quoi un soutirage d'ECS de 114 litres a été effectué (correspondant à la moitié d'une consommation d'un ménage par jour).

La Figure 92, montre l'évolution des températures sur le circuit MT, du bas de la cuve Arpège et du débit sur le circuit MT :

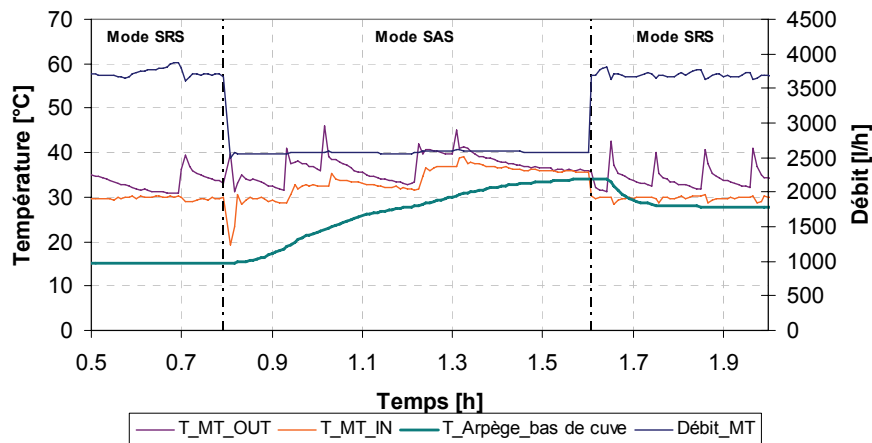


FIGURE 92 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MT, MESUREES EN CONDITIONS STABLES (75°C; 30°C; 18°C), EN MODE S-A-S

La température du bas de cuve est passée de 34 à 28°C suite à ce soutirage de 114 litres, Cette température de 28°C ne permet pas d'envisager une nouvelle récupération d'énergie via le circuit MT sur la suite de la journée.

#### 5.16.7. Conclusions des tests effectués avec Arpège

Plusieurs points ressortent des tests effectués avec Arpège (5.16).

- L'utilisation normale d'un combi-système dans une maison familiale pour la production d'ECS ne permet pas d'augmenter sensiblement les performances thermiques d'une machine de climatisation dimensionnée pour le même type de bâtiment. En effet, les quantités d'eau soutirées pour l'eau chaude sanitaire ne permettent pas de refroidir suffisamment le bas de la cuve afin de récupérer une quantité d'énergie significative du circuit MT.
- L'économie d'énergie électrique sur la tour de refroidissement grâce à la cuve est faible (3%). De plus, dans l'analyse effectuée ci-dessus, il n'a pas été intégré le fait que le passage par le combi-système entraîne une augmentation des pertes de charge du circuit et par conséquent de la consommation électrique du circulateur.
- L'énergie thermique apportée à la cuve par le circuit MT peut s'estimer à environ 9 kWh (400 litres chauffée de 15 à 35°C) par jour. Il est raisonnable de se poser la question de savoir si cette énergie ne pourrait pas être amenée directement par les capteurs solaires. La régulation et le niveau de complication hydraulique du circuit MT ne s'en trouveraient qu'améliorés. De plus, le niveau de température obtenu dans la cuve via le circuit MT est peu élevé, ce qui nécessite de toute façon l'enclenchement d'un appoint.

Ainsi, la conclusion de cette partie est que peu importe la configuration hydraulique choisie, il ne semble pas intéressant d'installer un combi-système sur le circuit de refroidissement d'une machine de climatisation à adsorption.

Le chapitre 8 présente la modélisation d'une installation type englobant un combi-système, mais raccordé hydrauliquement d'une façon différente.

## 6. Modèle numérique de la machine

### 6.1. Introduction

Jusqu'ici, le rapport s'est focalisé sur les performances mesurées de la machine Sortech dans des conditions standards de fonctionnement. Ces tests ont été effectués sur des périodes de quelques jours afin de déterminer les performances réelles de l'installation.

Pour pouvoir connaître les comportements de cette machine sur l'année et déterminer ses performances en modifiant certains paramètres, il n'est pas possible de recourir à des tests réels. C'est pour cette raison qu'un modèle numérique a été utilisé, afin de mettre en évidence les paramètres sensibles et optimiser l'installation.

Un modèle de la machine Sortech ACS 05 de type "boîte noire" a été utilisé (Trnsys, type 232). Quelques simulations ont été effectuées [3]. Suite au remplacement de la machine ACS 05 par la machine ACS 08, un nouveau modèle Trnsys a été utilisé (type 290).

### 6.2. Modèle de la machine ACS 08

Le modèle de la machine ASC 08 (Type TRNSYS 290) comporte :

A) Paramètre pour le type climatisation : deux modes de fonctionnement peuvent être appliqués selon le type de climatisation utilisée.

- Mode 1 : Refroidissement par le sol; débit LT = 2'000 l/h,  $T_{SET} = 15^{\circ}\text{C}$
- Mode 2 : Refroidissement par aéro-convecteurs, débit LT = 1'600 l/h,  $T_{SET} = 10^{\circ}\text{C}$

Pour rappel, les valeurs  $T_{SET}$  mentionnées ci-dessus, correspondent aux valeurs préconisées par Sortech. Selon les cas, ces valeurs peuvent être modifiées.

B) Valeurs d'entrée (7 inputs). Les six premières correspondent aux débits et températures d'entrée de chaque circuit HT, MT et LT tandis que la 7ème entrée règle la température de l'eau en sortie du circuit LT de la machine ( $T_{SET}$ ). Ce dernier paramètre existe aussi physiquement sur la machine.

C) Valeurs de sortie (11 outputs). Les six premières correspondent aux débits et températures de sorties de chaque circuit HT, MT et LT, la 7ème donne le COP thermique de la machine, les trois suivantes donnent les puissances HT, LT respectivement MT alors que la 11ème sortie donne la puissance électrique de la machine.

Les sections suivantes présentent les résultats obtenus en comparants les résultats expérimentaux avec les résultats simulés pour différentes configurations afin de vérifier la conformité du modèle.



### 6.2.1. Test du modèle seul – Mode 1 (débit LT = 2'000 l/h)

Pour commencer, le modèle a été testé en lui imposant des températures et des débits constants en entrée. En utilisant des débits d'entrée dans le modèle différents des débits nominaux, cela n'influence pas la puissance de froid, mais uniquement les températures de sortie. Ce qui amène à la conclusion que les puissances sont fonction uniquement des températures d'entrée du modèle.

Ensuite, le modèle a été testé pour des températures d'entrée HT et LT constantes, mais en faisant varier la température d'entrée du circuit MT. Ceci a permis de comparer ce modèle avec les résultats théoriques donnés par l'entreprise SORTECH et avec les mesures effectuées sur notre banc de tests en conditions stables (cf. ch. 4.2, p. 29).

Les premiers essais ont été effectués en mode de fonctionnement « climatisation par le sol » ( $T_{SET\text{modèle}} = 15^{\circ}\text{C}$ ), avec cuve sur le circuit HT, en faisant varier la température d'entrée MT tout en fixant la température d'entrée LT à  $18^{\circ}\text{C}$  et la température d'entrée HT à  $65^{\circ}\text{C}$  (Figure 93 et Figure 94) puis à  $85^{\circ}\text{C}$  (Figure 95 et Figure 96).

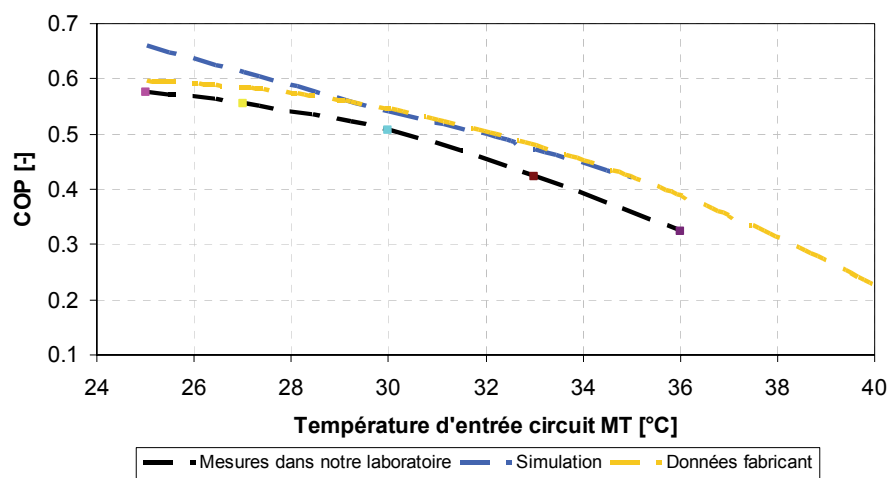


FIGURE 93 : COMPARAISON DES COP A  $T_{HT\_IN} = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=15^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

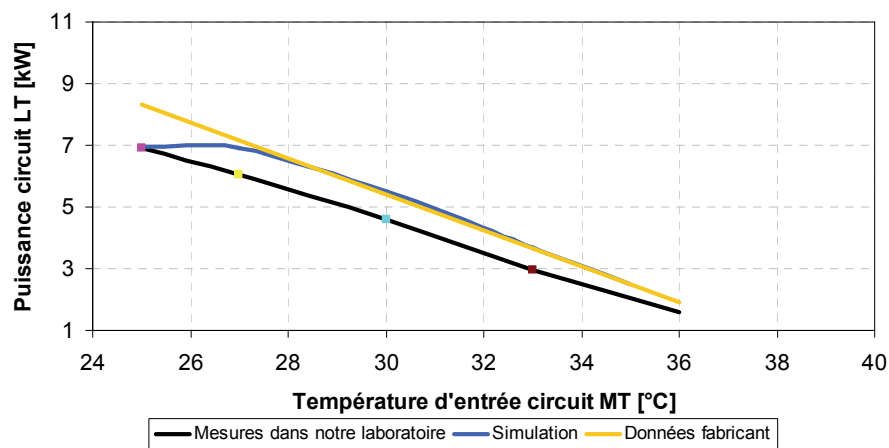


FIGURE 94 : COMPARAISON DES PUISSANCES A  $T_{HT\_IN} = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=15^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

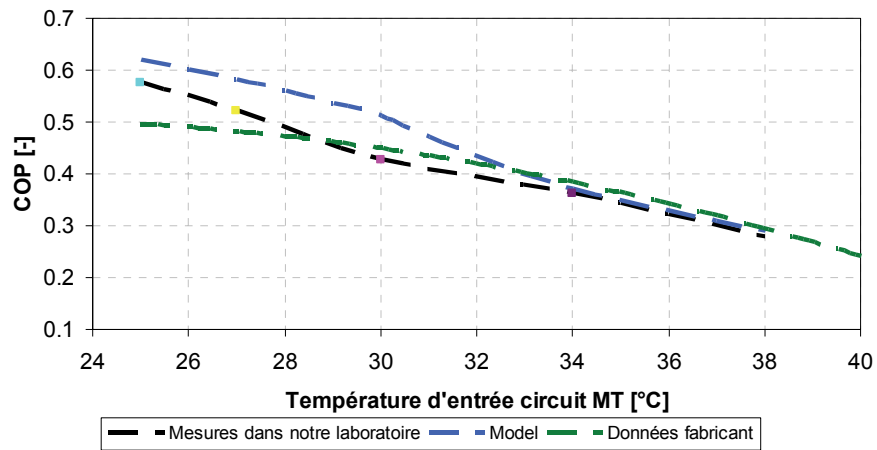


FIGURE 95 : COMPARAISON DES COP A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=15^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

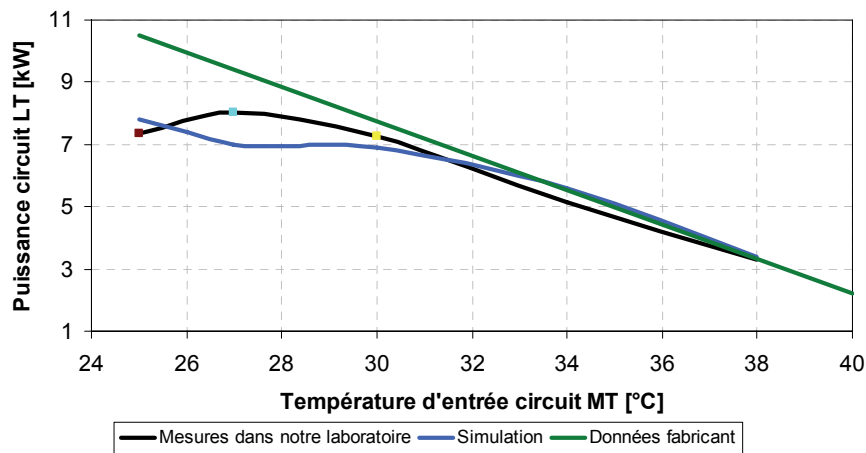


FIGURE 96 : COMPARAISON DES PUISSANCES A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=15^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

Une seconde série de tests a été effectuée en modifiant la température d'entrée LT à  $15^{\circ}\text{C}$  et la  $T_{SET}$  à  $10^{\circ}\text{C}$  (climatisation par aéro-convecteur). Dans ce cas, les résultats donnés par le modèle sont très proches des valeurs données par Sortech comme le montre les Figure 97 à Figure 100.

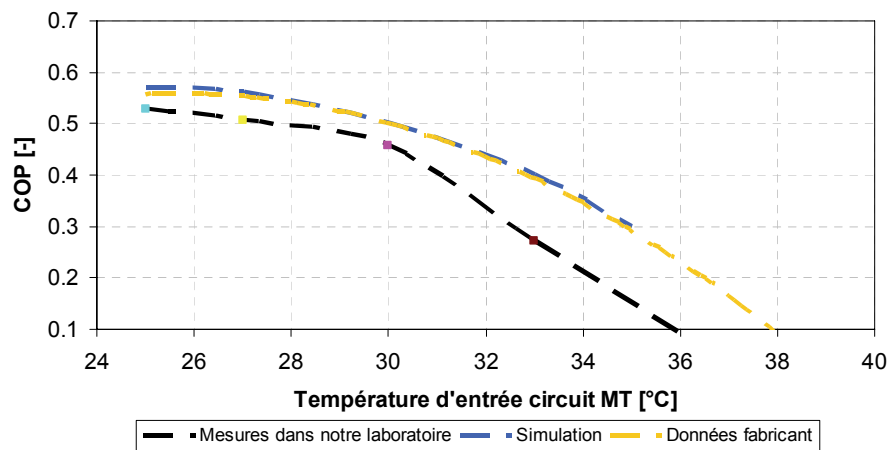


FIGURE 97 : COMPARAISON DES COP A  $T_{HT\_IN} = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

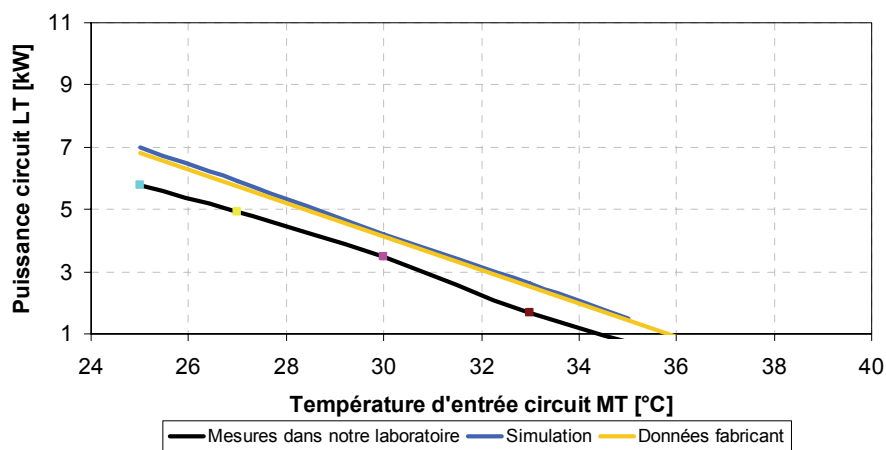


FIGURE 98 : COMPARAISON DES PUISSANCES A  $T_{HT\_IN} = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $T\_SET = 10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

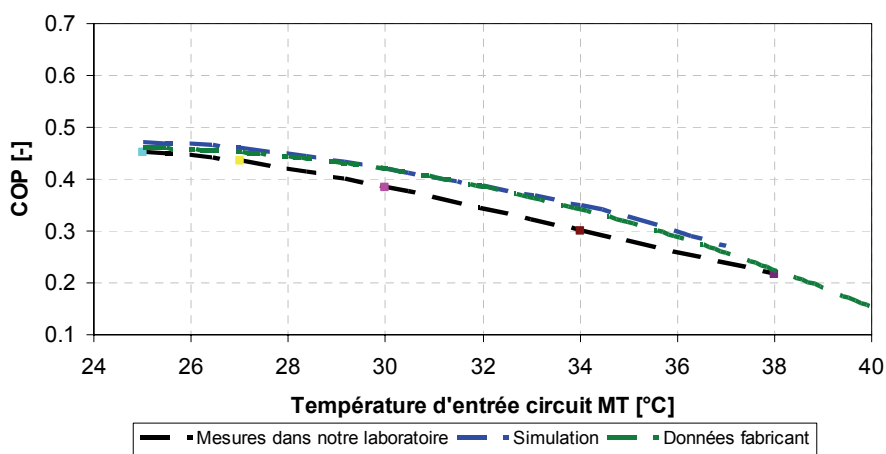


FIGURE 99 : COMPARAISON DES COP A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $T\_SET = 10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

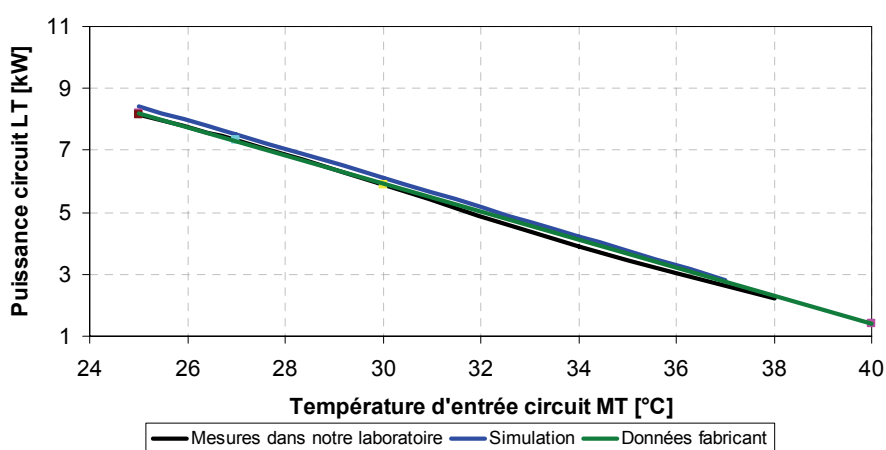


FIGURE 100 : COMPARAISON DES PUISSANCES A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $LT\_IN = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $T\_SET = 10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

Ces résultats montrent que la température  $T_{SET}$  peut jouer un rôle important sur les valeurs des puissances ou des COP du modèle (comparaison de Figure 98 et Figure 100)

Ainsi, des tests avec une température  $T_{LT\_IN}$  à  $18^{\circ}\text{C}$  ont été effectués pour une température  $T_{SET}$  à  $10^{\circ}\text{C}$  afin de vérifier que la machine Sortech est bien en mode POWER sur toute la plage de température  $MT\_IN$ . Les résultats sont montrés dans les Figure 101 et Figure 102:

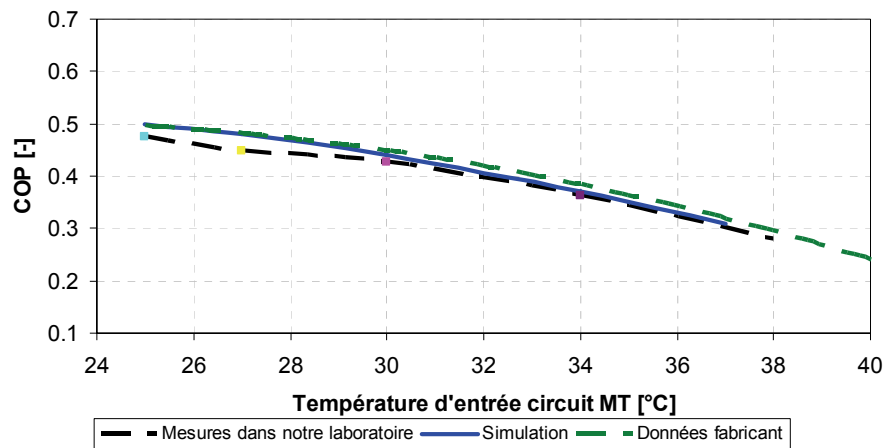


FIGURE 101: COMPARAISON DES COP A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{LT\_IN} = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

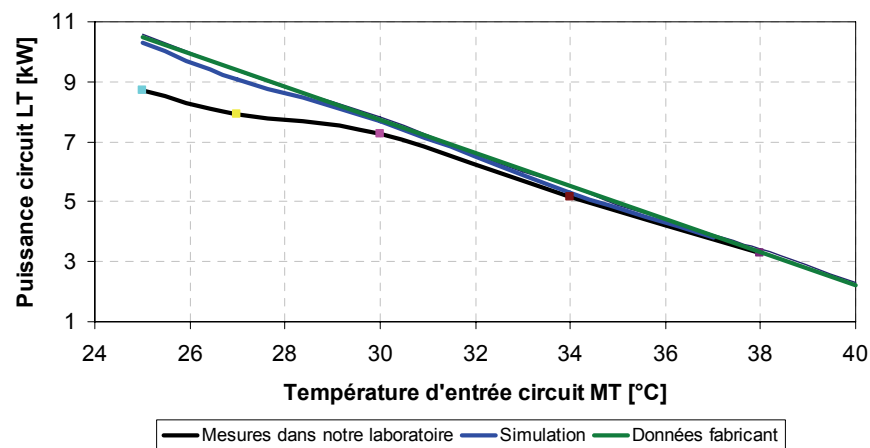


FIGURE 102 : COMPARAISON DES PUISSANCES A  $T_{HT\_IN} = 85^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{LT\_IN} = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{SET}=10^{\circ}\text{C}$  ENTRE VALEURS MESUREES, FABRICANT ET SIMULEES

Cette dernière série de simulations montre que les valeurs calculées par le modèle sont presque identiques à celles fournies par le fabricant.

Cette série de tests montre que certains résultats divergent par rapport aux courbes POWER mode données par le fabricant principalement lorsque la température d'entrée MT descend en dessous de 30°C. Cela apparaît lorsque la machine commute en mode ECO, i.e. lorsque la puissance de froid sur le circuit MT est facile à obtenir.

Le modèle intègre donc le passage de la machine dans ses deux différents modes (ECO et POWER) (cf. ch.1.5.2, p. 14). En effet, une analyse plus approfondie sur les résultats à températures stabilisées avec une  $T_{SET}$  à 15 °C a amené à conclure que pour des températures suffisamment basses en entrée du circuit MT (inférieures à 30°C), la machine et le modèle passent en mode de fonctionnement ECO. En effet, la machine arrive à fournir suffisamment de puissance au circuit LT pour atteindre, en moyenne, la température  $T_{SET}$ .

Au contraire, pour des températures d'entrée MT plus élevées, la machine ne peut plus atteindre la température  $T_{SET}$  sur le circuit LT et passe automatiquement en mode de fonctionnement POWER. C'est pour cela que nos mesures sont proches des données du fabricant.

Ceci explique également pourquoi dans le cas où la température d'entrée LT est à 15°C et la  $T_{SET}$  à 10°C, la courbe théorique POWER mode est proche des données mesurées. En effet, les 10°C en moyenne pour la sortie du circuit LT ne sont jamais atteint. Ainsi, la machine et le modèle numérique sont en mode de fonctionnement POWER sur toute la plage de températures  $T_{MT\_IN}$ .

## 6.2.2. Comparaison des performances entre les deux modes de fonctionnement

Pour rappel, la machine Sortech peut fonctionner selon deux modes :

- Mode 1 : Refroidissement par le sol; débit LT = 2'000 l/h,  $T_{SET} = 15^{\circ}\text{C}$
- Mode 2 : Refroidissement par aéro-convecteurs, débit LT = 1'600 l/h,  $T_{SET} = 10^{\circ}\text{C}$

Des tests ont été effectués dans le Mode 2 pour analyser la différence des performances obtenues avec le Mode présenté dans les paragraphes précédents. Le test du deuxième mode du modèle s'effectue toujours avec un débit constant, mais cette fois fixé à 1600 l/h sur le circuit LT. Avec ce type de fonctionnement, le modèle donne des résultats de puissance LT et de COP légèrement inférieurs aux résultats obtenus avec le premier mode de fonctionnement pour les mêmes températures en entrée de la machine. Cette légère différence semble relativement constante et indépendante des températures d'entrée dans la machine comme le montre les Figure 103 et Figure 105.

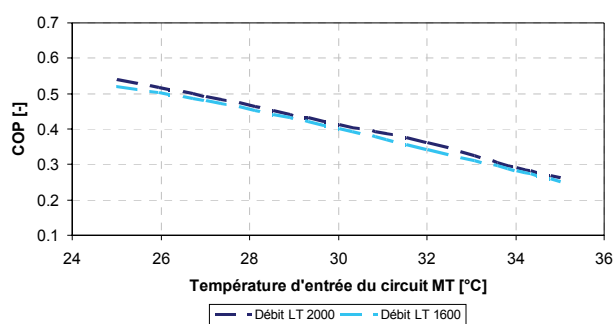


FIGURE 103 : COMPARAISON DES COP POUR LES DEUX MODES DE FONCTIONNEMENT DU MODELE ( $T_{HT\_IN}=85^{\circ}\text{C}$  ET  $T_{LT\_IN}=10^{\circ}\text{C}$ )

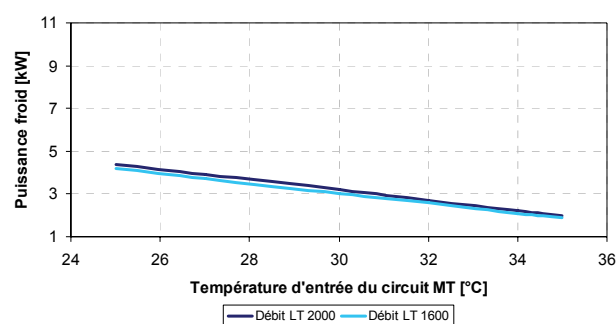


FIGURE 104 : COMPARAISON DES PUISSANCES FROIDES POUR LES DEUX MODES DE FONCTIONNEMENT DU MODELE ( $T_{HT\_IN}=85^{\circ}\text{C}$  ET  $T_{LT\_IN}=10^{\circ}\text{C}$ )

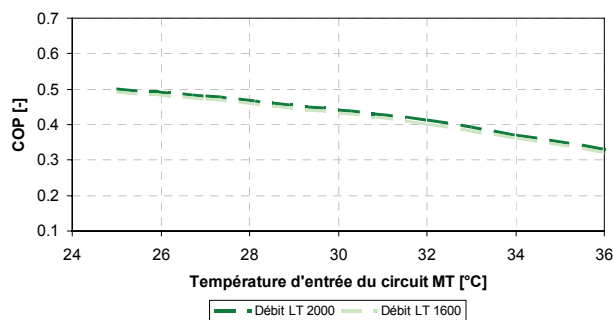


FIGURE 105 : COMPARAISON DES COP POUR LES DEUX MODES DE FONCTIONNEMENT DU MODELE ( $T_{HT\_IN}=85^{\circ}\text{C}$  ET  $T_{LT\_IN}=20^{\circ}\text{C}$ )

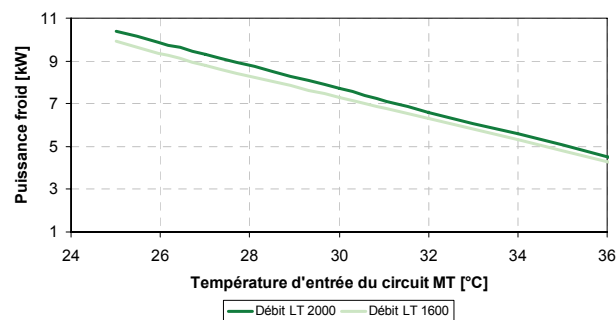


FIGURE 106 : COMPARAISON DES PUISSANCES FROIDES POUR LES DEUX MODES DU FONCTIONNEMENT DU MODELE ( $T_{HT\_IN}=85^{\circ}\text{C}$  ET  $T_{LT\_IN}=20^{\circ}\text{C}$ )

Ces deux modes de fonctionnement devraient être appliqués seulement en fonction du type de chauffage existant dans le bâtiment où la machine SORTECH est utilisée. Pour un refroidissement au sol, le premier mode serait choisi avec un débit LT de 2000 l/h et une température  $T_{SET}$  supérieure à  $15^{\circ}\text{C}$  pour éviter la condensation. Pour un système de chauffage par air, le deuxième mode serait utilisé avec un débit LT de 1600 l/h et une température  $T_{SET}$  inférieure à  $15^{\circ}\text{C}$  en fonction du besoin.

## 7. Simulation numérique de l'installation : comparaison avec le banc de tests

Dans le chapitre précédent, les résultats obtenus avec le modèle numérique de la machine Sortech ont été comparés aux résultats expérimentaux obtenus dans différentes configurations stabilisées. Mis à part quelques points divergents à basse température sur le circuit MT, et compte tenu des différences expliquées (utilisation d'eau glycolée), le modèle est utilisable pour analyser le fonctionnement annuel d'une installation.

Avant d'utiliser le modèle numérique pour effectuer des simulations annuelles, il faut encore comparer la conformité du modèle numérique de toute l'installation avec les résultats obtenus sur le banc de tests. Ce chapitre présente cette analyse qui a été effectuée pour les différents circuits puis sur les performances globales de l'installation.

### 7.1. Modèle de l'installation utilisé

Un modèle TRNSYS de l'ensemble de l'installation et du bâtiment a été développé. Ce modèle a été utilisé, dans un premier temps, afin de vérifier et d'optimiser le fonctionnement de la machine Sortech sur le stand de tests. Pour ce faire, le modèle de la machine Sortech (type 290) a été implémenté dans l'installation hydraulique tel que montré dans la Figure 107.

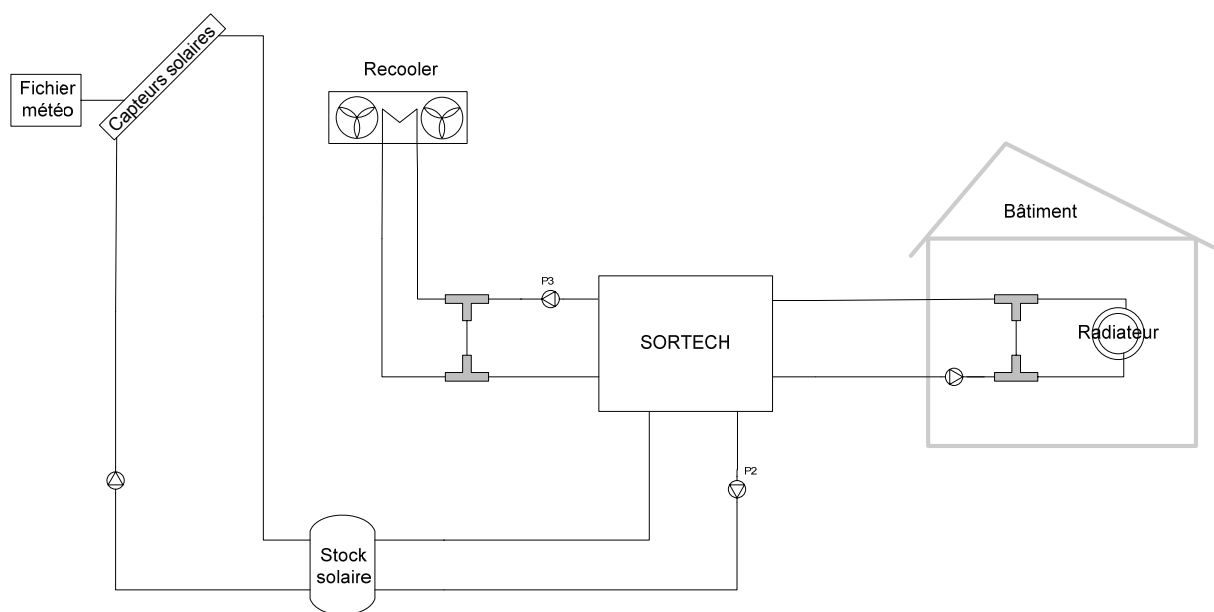


FIGURE 107 : SCHEMA HYDRAULIQUE DE LA MODELISATION DE L'INSTALLATION POUR LES TESTS DE LABORATOIRE

Les sections suivantes présentent pour les différents composants de l'installation, un comparatif entre les résultats simulés et les résultats mesurés sur le banc de tests.

## **7.2. Comparaisons entre résultats simulés et valeurs mesurées**

### **7.2.1. Remarques préliminaires**

Les différents résultats présentés dans les sections ci-dessous ont pour objectifs de vérifier la conformité entre les résultats obtenus avec le modèle numérique TRNSYS de toute l'installation et les résultats mesurés sur le banc de tests. Ces simulations sont basées sur les mesures effectuées précédemment sur le banc de tests, pour 6 jours consécutifs avec la météo Barcelone et Zürich (cf. ch.5).

Pour commencer, une série de test ont servis à vérifier si les températures simulées sortant des trois circuits de la machine Sortech correspondent aux températures mesurées. Pour effectuer cette comparaison, les valeurs des températures et des débits des trois circuits entrant dans Sortech, tirés de mesures, ont été imposés au modèle numérique.

Pour vérifier la conformité des résultats entre simulation et réalité, des bilans d'énergie ont été. Lorsqu'il est question d'énergie, il s'agit de l'énergie calculée à la sortie de la machine, sur les groupes respectifs HT, LT et MT.

Rappelons que le modèle numérique de la machine Sortech a été défini pour une utilisation avec de l'eau pure alors que l'installation utilise de l'eau glycolée dans les circuits HT et MT. Cette différence a été prise en compte dans les bilans d'énergie en recalculant les énergies en jeu sur la base des températures d'entrées et de sortie du modèle.

Enfin, comme déjà mentionné plus haut, le modèle type boîte noire ne permet pas de modéliser les cycles de la machine. Par conséquence, les températures obtenues par simulation sont lissées et les brusques variations observées sur les mesures n'apparaissent pas, comme observé sur la Figure 108. De ce fait, les températures de sortie entre le modèle et les mesures sont différentes, néanmoins, les valeurs moyennes sont similaires.



### 7.2.2. Débit nominal MT 3700 l/h

Les Figure 108 (T\_HT\_OUT), et Figure 109 (T\_LT\_OUT) montrent les comparaisons entre valeurs simulées et valeurs mesurées pour un jour particulier du climat de Barcelone.

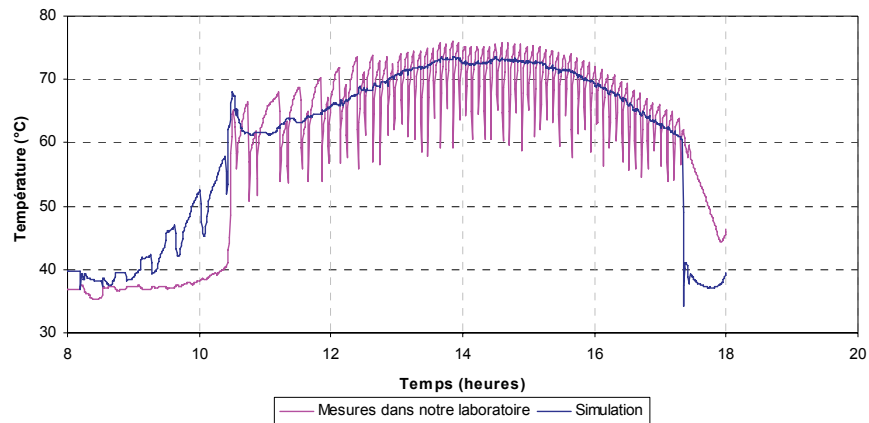


FIGURE 108 : COMPARAISON DES T<sub>HT\_OUT</sub>, BARCELONE, JOUR 1

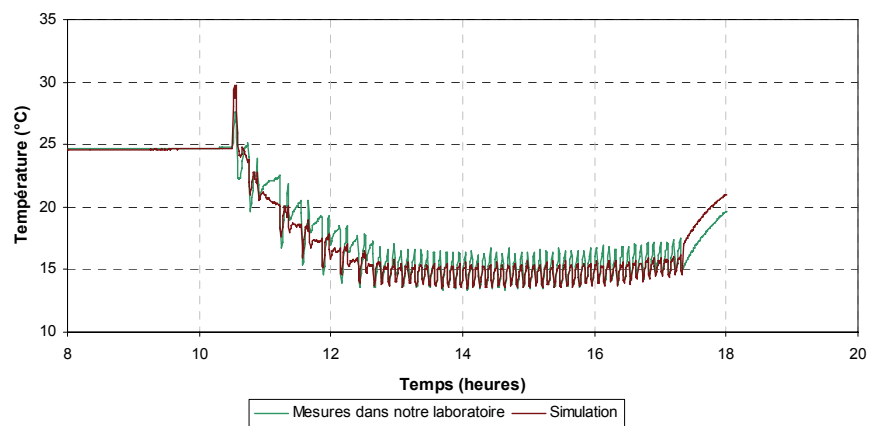


FIGURE 109 : COMPARAISON DES T<sub>LT\_OUT</sub>, JOUR 1, BARCELONE

L'allure des températures données par le modèle est assez proche, en moyenne, de celles mesurées sur le stand.

Les différences qui peuvent être observées sur ces graphiques sont principalement dues au fait que le modèle utilise de l'eau dans les trois circuits ce qui n'est pas le cas pour le stand cependant, l'allure générale des courbes est bien représentée par le modèle.

Les comparaisons entre bilans simulés et mesurés sont données dans les Figure 110 (circuit HT), Figure 111 (circuit MT), Figure 112 (Circuit LT) et Figure 113 (COP).

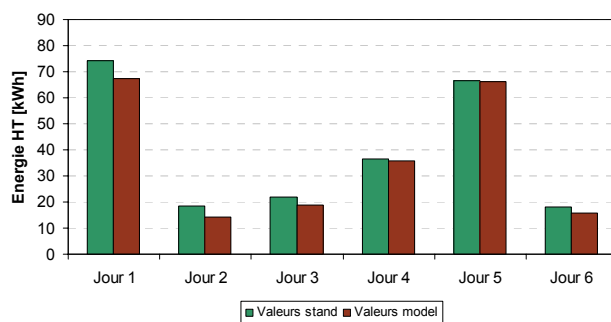


FIGURE 110 : COMPARAISON DES ENERGIES HT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE

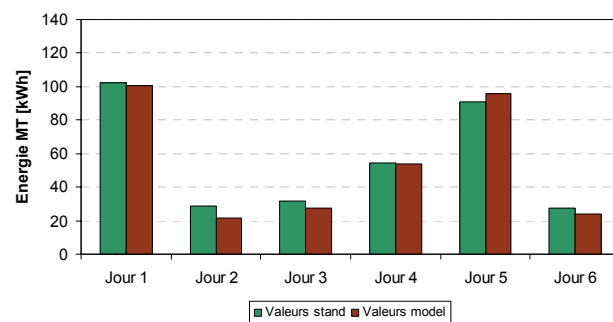


FIGURE 111 : COMPARAISON DES ENERGIES MT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE

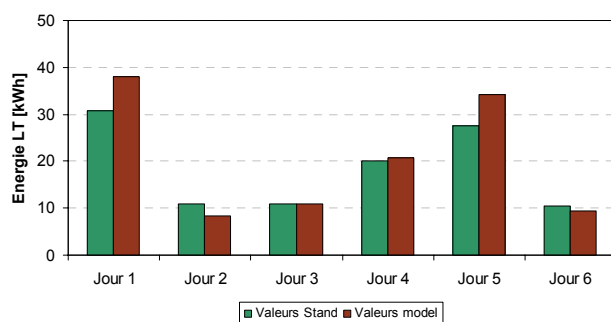


FIGURE 112 : COMPARAISON DES ENERGIES LT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE

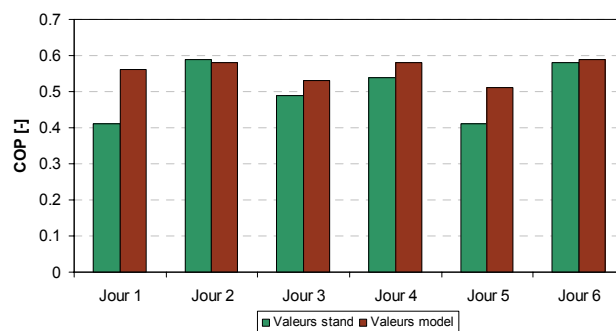


FIGURE 113 : COMPARAISON DES COP SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE

L'analyse des Figure 110 et Figure 111 montre que les énergies HT et MT (à l'exception du jour 5) mesurées sont légèrement supérieures que celles données par le modèle de 7.5% pour le circuit HT et respectivement 3.5% pour le circuit MT en moyenne).

En ce qui concerne le circuit LT (Figure 112), qui fonctionne seulement avec de l'eau, les bilans énergétiques simulés et mesurés semblent influencés par l'ensoleillement de la journée. Pour s'en convaincre, la Figure 114 montre l'irradiation quotidienne reçue dans le plan des capteurs pour ces mêmes jours.

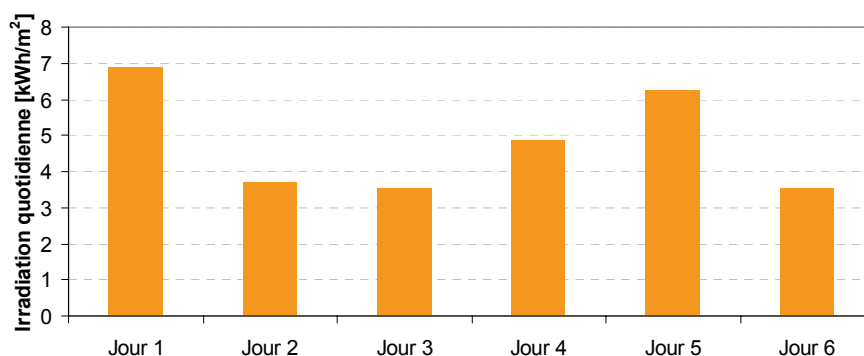


FIGURE 114 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES – CLIMAT DE BARCELONE

La comparaison des Figure 112 et Figure 114, montre que pour de faibles ensoleillements, les valeurs simulées sont inférieures aux valeurs mesurées et que pour de forts ensoleille-

ments, les valeurs simulées sont supérieures. Ainsi, pour les jours 1 et 5, qui sont des journées bien ensoleillées, le modèle fournit ~25% de plus d'énergie LT que la mesure, ceci a une répercussion évidente sur le COP. Au contraire, pour les jours moins bien ensoleillés (jours 2, 3 et 6), la tendance s'inverse et le modèle donne moins d'énergie "froid" que le stand. Pour ces jours, les COP sont plus proches entre modèle et mesures.

Une moyenne globale sur les 6 jours montre que les différences entre les énergies calculées avec les mesures et celles calculées par le modèle numérique sont de l'ordre de 5%, mais du fait que le modèle donne moins d'énergie sur le circuit HT et plus sur le circuit LT, le COP moyen obtenu par simulation est environ 10% meilleur que celui obtenu avec les mesures (0.47 contre 0.51). Etant donné la complexité des transferts de chaleur qui se déroulent dans une machine à adsorption, qui plus est fonctionnant avec des cycles courts, nous pouvons affirmer que le modèle numérique utilisé ici donne des résultats tout à fait satisfaisants.

### 7.2.3. Diminution du débit du circuit MT (2000 l/h au lieu de 3700 l/h)

L'un des plus gros consommateurs d'électricité de l'installation est le circulateur du circuit MT. Le débit nominal élevé demandé par le fabricant SORTECH entraîne des pertes de charge élevées, principalement dans les échangeurs de la machine.

Pour diminuer la taille du circulateur du groupe MT et implicitement sa consommation électrique, des tests sur l'installation réelle ont été effectués en réduisant le débit par paliers successifs entre 3'700 l/h et 2'000 l/h (cf § 5.10). Contrairement aux attentes, les performances n'ont que faiblement diminuées (cf. Figure 59, p. 53). Ainsi, il serait possible de faire fonctionner un circulateur consommant beaucoup moins d'électricité sur ce circuit, en ne péjorant pas trop les performances de la machine.

Pour tester encore un peu plus la fiabilité du modèle numérique, les mesures obtenues précédemment (cf § 5.10) ont été comparées aux résultats obtenus par simulation avec les mêmes caractéristiques de débit (2'000 l/h à 3'700 l/h) sur le circuit MT, (climat de Barcelone durant 6 jours). Les Figure 115 à Figure 118 présentent le comparatif des bilans obtenus sur les circuits HT, MT et LT ainsi que le COP.

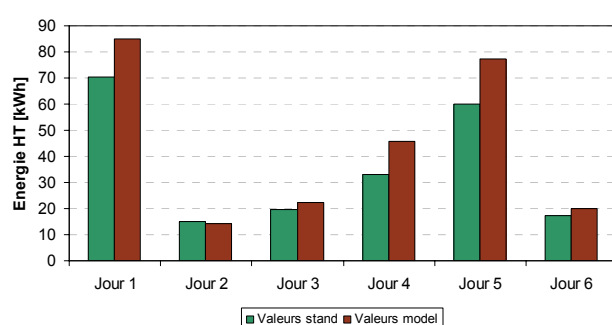


FIGURE 115 : COMPARAISON DES ENERGIES HT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE, DEBIT MT=2000L/H

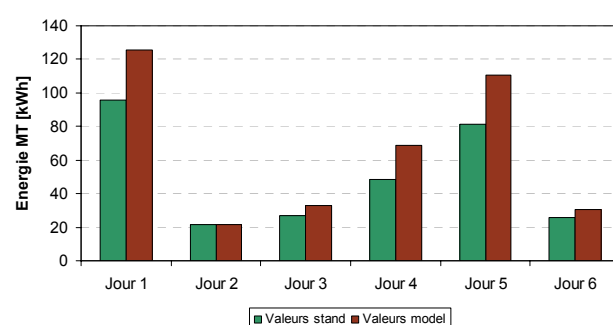


FIGURE 116 : COMPARAISON DES ENERGIES MT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE, DEBIT MT=2000L/H

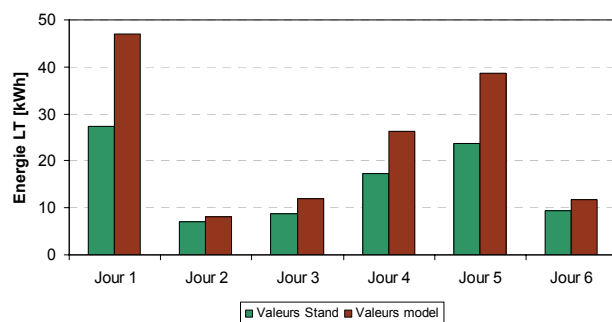


FIGURE 117 : COMPARAISON DES ENERGIES LT SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE, DEBIT MT=2000L/H

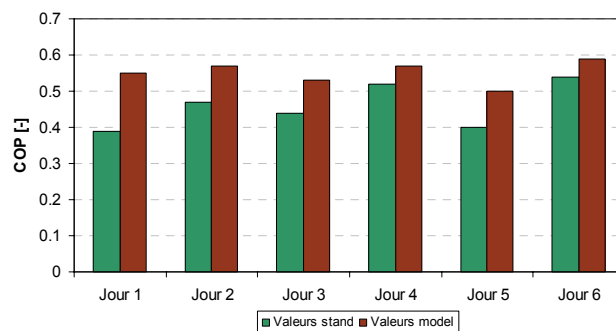


FIGURE 118 : COMPARAISON DES COP SUR 6 JOURS, CLIMAT DE BARCELONE, DEBIT MT=2000 L/H

La comparaison des résultats simulés avec ceux mesurés montrent que le modèle numérique fournit clairement plus d'énergie que la machine du stand et ceci pour les trois circuits MT, LT et HT. Ainsi, pour des jours bien ensoleillés, la différence pour l'énergie LT peut atteindre 70% même si le COP diffère d'environ 35%.

Les comparaisons effectuées ci-dessus montrent que le modèle Trnsys de la machine Sortech a été conçu avec des valeurs mesurées en utilisant un débit nominal du circuit MT de 3'700 l/h. Son utilisation avec des débits différents aboutit à des résultats différents de la réalité. Pour la suite des analyses par simulations, le débit du circuit MT sera fixé à 3'700 l/h afin d'avoir des simulations les plus proches possibles de la réalité et faisant fonctionner la machine avec un débit recommandé par le fabricant.

#### 7.2.4. Diminution de la vitesse des ventilateurs du recool

L'autre gros consommateur électrique de l'installation Sortech est la tour de refroidissement, en particulier ses ventilateurs. Le recool est commandé par SORTECH sur deux paliers de fonctionnement, un premier à 50% (400 W) de la puissance maximale (dès l'enclenchement de Sortech) et un second à 100 % (800 W) (dès que la température de sortie du circuit MT dépasse 34°C) (cf. Figure 73).

Une diminution de la consommation électrique du recool implique une diminution de la vitesse de rotation des ventilateurs. Afin d'estimer les économies possibles, des simulations annuelles avec la météo de Barcelone en changeant les débits d'air ont été effectuées.

Pour analyser l'effet sur la consommation d'électricité de la vitesse des ventilateurs du recool, le pourcentage de chacun de ces deux paliers a été diminué par rapport au fonctionnement de base. Mais, en diminuant le débit d'air du recool, le refroidissement du fluide du circuit MT n'est plus assuré et il y a un risque de changer le comportement et les performances de la machine SORTECH.

Afin de connaître l'influence la puissance des ventilateurs du recool sur les performances de l'installation, une série de sept simulations annuelles a été effectuée en diminuant progressivement le niveau des deux paliers de fonctionnement. Ces résultats sont présentés dans les Figure 119 à Figure 121.

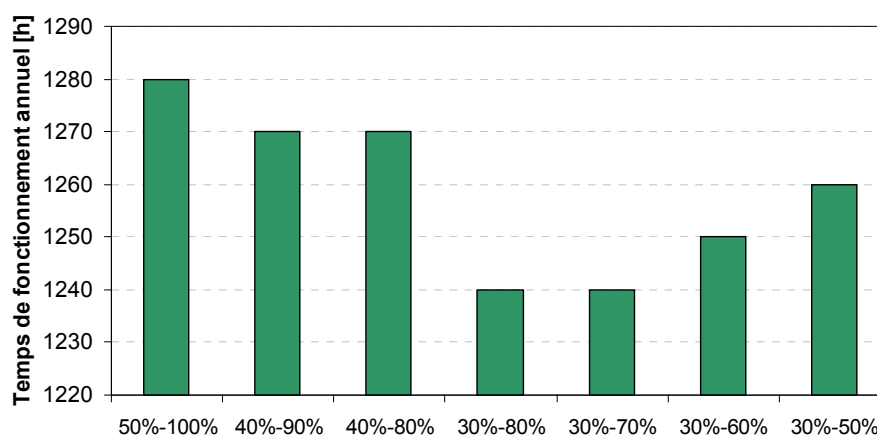


FIGURE 119 : EVOLUTION DES HEURES DU FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE SORTECH EN FONCTION DE LA VITESSE DE ROTATION DES VENTILATEURS, CLIMAT DE BARCELONE, SIMULATION ANNUELLE

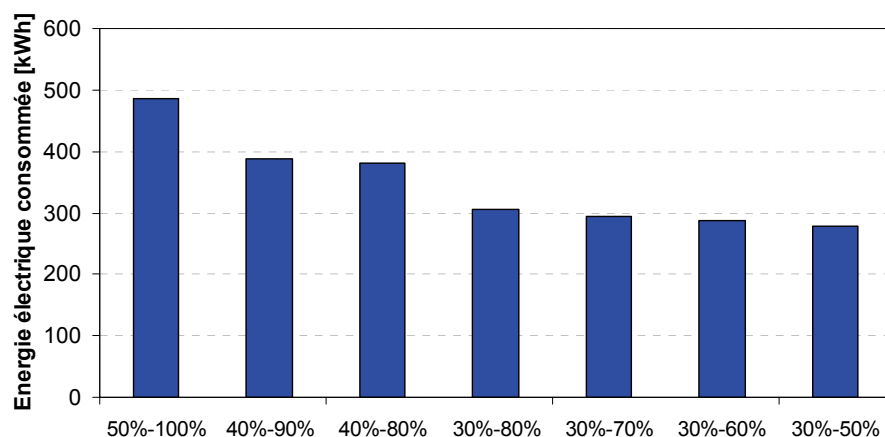


FIGURE 120 : CONSOMMATIONS ELECTRIQUES ANNUELLES DU RECOOLER EN FONCTION DE LA VITESSE DE ROTATION DES VENTILATEURS

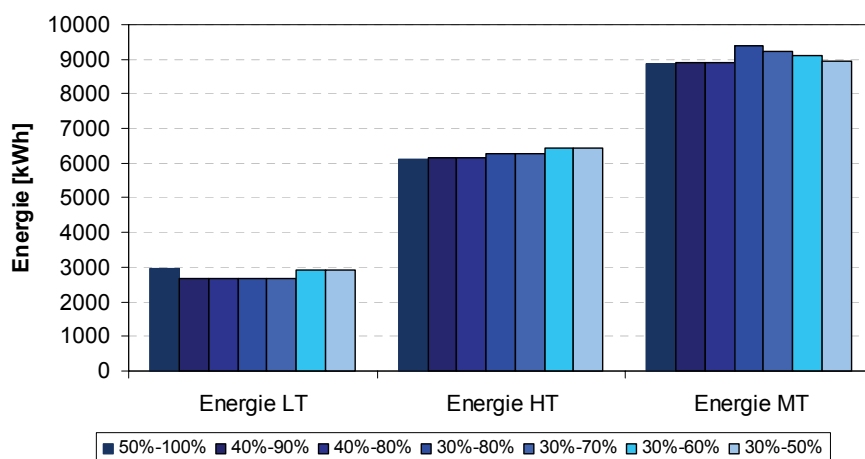


FIGURE 121 : ENERGIES ANNUELLES FOURNIES PAR SORTECH EN FONCTION DE LA VITESSE DE ROTATION DES VENTILATEURS

Ces trois graphiques montrent que le passage du couple de vitesses de 50-100% au couple 30-50%, fait chuter la consommation électrique du recooling de 42% (soit de 485 à 279 kWh) sans fortement influencer les performances de la machine SORTECH. En essayant de diminuer encore plus cette vitesse, il a été constaté que le modèle TRNSYS du recooling donnait des valeurs aberrantes en température de sortie (au delà de 70°C), ceci à plusieurs reprises dans l'année. La raison est que le modèle se base sur des valeurs mesurées obtenues pour un fonctionnement en conditions « normales » et que, dans la réalité, les conditions de fonctionnement s'écartent de ces valeurs. En cas de trop grand éloignement de ces conditions, le modèle ne suit plus. Ainsi, pour la suite des analyses, le couple de vitesse 30-50% a été utilisé. Sur l'année, et dans la configuration testée, le temps de fonctionnement de la machine SORTECH est peu influencé par les changements de la vitesse des ventilateurs du recooling. Le COP, par contre, peut subir une diminution allant jusqu'à 10% au maximum (30-80%), mais avec une moyenne à 6,7% (cf. Figure 122).

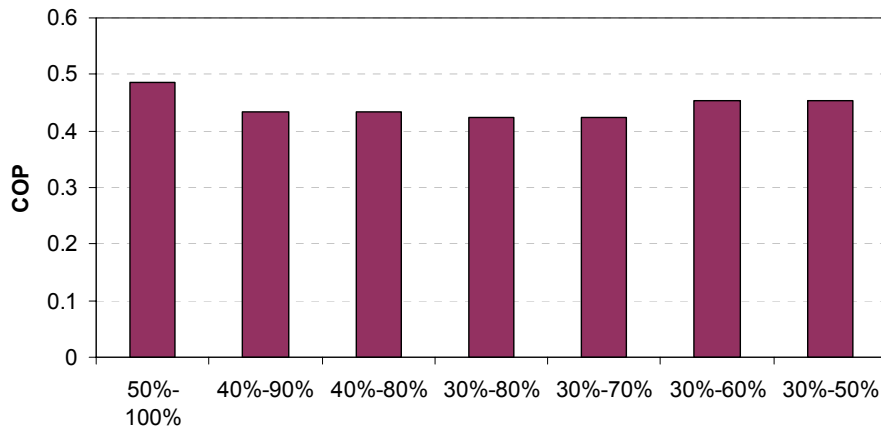


FIGURE 122 : EVOLUTION DES COP ANNUELS EN FONCTION DE LA VITESSE DE ROTATION DES VENTILATEURS DU RECOOLER, CLIMAT DE BARCELONE, SIMULATION ANNUELLE

Suite à la définition de la configuration optimale (30%-50%) sur l'année, une comparaison a été effectuée (par simulation) entre cette option et la configuration nominale sur la séquence habituelle de 6 jours à Barcelone.

Les graphiques des Figure 123 à Figure 126 montrent les énergies sur chaque circuit (HT, MT et LT) ainsi que le COP pour les simulations effectuées avec des vitesses de ventilateurs de 50%-100% et de 30%-50%.

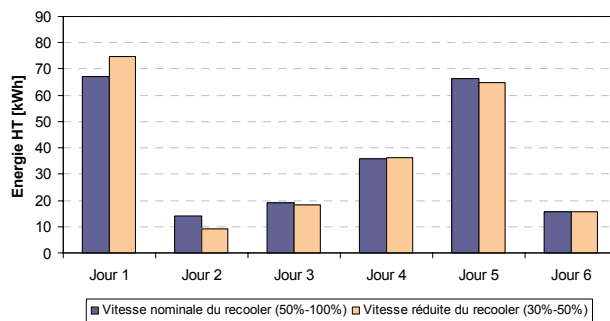


FIGURE 123 : COMPARAISONS DE L'ENERGIE HT DONNEES PAR LE MODELE TRNSYS POUR UN FONCTIONNEMENT NOMINAL DU RECOOLER ET POUR UNE VITESSE REDUITE

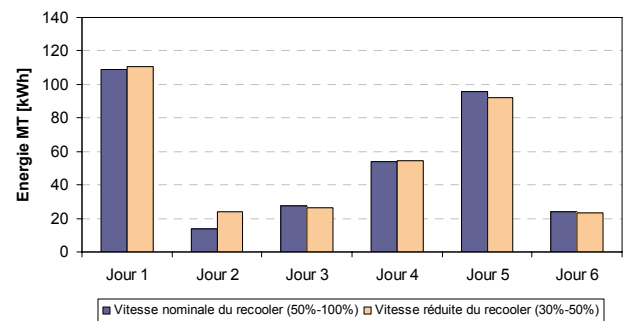


FIGURE 124 : COMPARAISONS DE L'ENERGIE MT DONNEES PAR LE MODELE TRNSYS POUR UN FONCTIONNEMENT NOMINAL DU RECOOLER ET POUR UNE VITESSE REDUITE

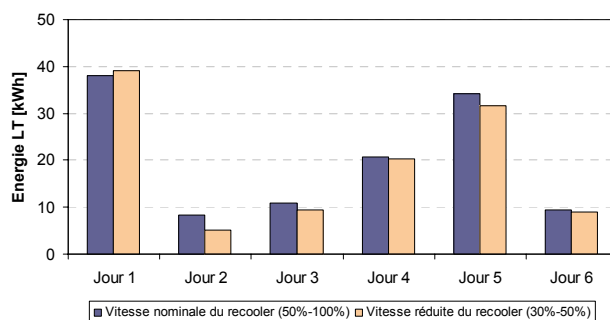


FIGURE 125 : COMPARAISONS DE L'ENERGIES LT DONNEES PAR LE MODELE TRNSYS POUR UN FONCTIONNEMENT NOMINAL DU RECOOLER ET POUR UNE VITESSE REDUITE

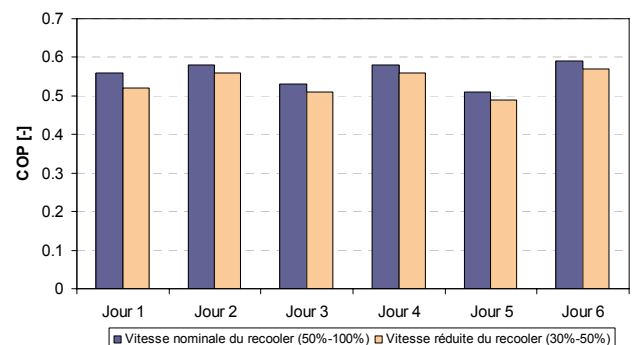


FIGURE 126 : COMPARAISONS DES COP DONNEES PAR LE MODELE TRNSYS POUR UN FONCTIONNEMENT NOMINAL DU RECOOLER ET POUR UNE VITESSE REDUITE

En moyenne, sur les 6 jours-types étudiés pour le climat de Barcelone, une différence d'environ 5% que ce soit sur les énergies ou sur le COP entre les deux types de fonctionnement du recool est observée. Etant donné ces résultats et les résultats obtenus précédemment sur la consommation électrique annuelle du recool (cf. Figure 120), il est possible de diminuer d'environ 40% la consommation annuelle d'électricité du recool, sans influencer de manière sensible les performances de l'installation.

Quelques simulations supplémentaires ont été effectuées afin d'observer si d'autres paramètres pouvaient aller dans le même sens. Ainsi, en plus de la diminution de la vitesse des ventilateurs (30-50%), une modification de la température de passage au 2<sup>ème</sup> palier (passage de 34°C à 36°C), a montré qu'il était possible de gagner encore 10 kWh sur la consommation électrique annuelle, ce qui représente environ 2%.

Une seconde modification testée concerne la modification de la régulation recool pour qu'il puisse fonctionner sur trois paliers (et non plus sur deux). La stratégie de fonctionnement utilisée a été la suivante : à 20% quand SORTECH s'enclenche, à 30% si la température sortie MT de Sortech dépasse 32°C et à 50 % si cette température dépasse 34°C. Avec cette modification, la consommation électrique est tombée à 205 kWh/an, soit une réduction de 58% de la consommation annuelle électrique par rapport à la situation recommandée par le fabricant, sans modifier sensiblement les performances de la machine.

Cette configuration devrait faire l'objet d'une étude plus poussée avec validation sur stand de tests avec une régulation à vitesse variable des ventilateurs mais cela sort du contexte de cette étude.

### **7.3. Conclusion aux simulations basées sur le stand de tests**

Après avoir testé le modèle numérique de la machine Sortech, puis de toute l'installation, dans plusieurs situations différentes, il a été constaté des différences entre les résultats simulés et mesurés qui s'expliquent par les points suivants :

- le modèle est basé sur une approche type boîte noire, dont les courbes de fonctionnement correspondent à des conditions « standards », qui s'écartent souvent des conditions de fonctionnement en conditions réelles.
- Certains composants de l'installation ont des modèles qui ont dû être adaptés, comme par exemple l'inertie du recool qui a dû être ajoutée dans le modèle proposé dans TRNSYS.
- les valeurs utilisées pour le modèle sont basées sur une installation avec des circuits MT et HT sans glycol, contrairement à l'installation testée.
- le modèle ne simule pas les cycles de fonctionnement de la machine réelle mais considère les modes de fonctionnement Power et Eco observés.
- Le modèle intègre certaines restrictions d'utilisation comme entre autre une plage de températures sur les trois circuits ou une puissance minimum. Cependant, ces différentes limites sont pertinentes. En effet, en dehors de ces plages d'utilisation, la machine n'est pas suffisamment performante comme nous avons pu le tester et n'a donc pas d'intérêt à être enclenchée.
- Les limites de débits des différents circuits intégrées au modèle sont restrictives. En effet, lors de l'utilisation de la machine avec des débits différents (inférieurs) cette dernière a montré des performances intéressantes contrairement au modèle numérique.

Malgré ces différences, la marge d'erreur entre les mesures et les simulations n'excède pas les 10% ce qui est tout à fait acceptable connaissant la complexité du fonctionnement de ce genre d'installation, et plus particulièrement de la machine à adsorption.



## 8. Simulations annuelles de l'installation complète

Le chapitre précédent a montré que le modèle numérique de la machine Sortech et de toute l'installation donne des résultats tout à fait acceptables. Il est donc possible d'utiliser le modèle numérique pour effectuer des simulations annuelles, afin de connaître les performances de l'installation étudiée dans différentes situations.

### 8.1. Description de l'installation complète ECS+Chauffage+Climatisation

Les paramètres de l'installation de base utilisée pour effectuer les simulations annuelles ont été définis pour correspondre au mieux à ceux mis en place sur une installation Sortech commercialisée actuellement (été 2010) tout en tenant compte des observations faites dans le chapitre précédent.

L'installation simulée se compose de :

- 25 m<sup>2</sup> de capteurs plans vitrés (capteurs à tubes en variante)
- un ballon de stockage solaire de 1500 l
- un recooler, paramétré selon les dimensions réelles de notre recooler.
- le bâtiment utilisé dans la Tâche 32 (demande en chauffage de 30 kWh/an/m<sup>2</sup>)

Tous les auxiliaires ont été choisis par rapport aux recommandations de l'entreprise Sortech, mis à part le circulateur du circuit HT, qui présentait une pression insuffisante par rapport au circuit HT. Suite à une discussion avec le fabricant, la pression a été fixée à 500 mbar. Sur le circuit HT, le même circulateur que sur le circuit LT a été utilisé. La Figure 127 présente l'installation simulée.

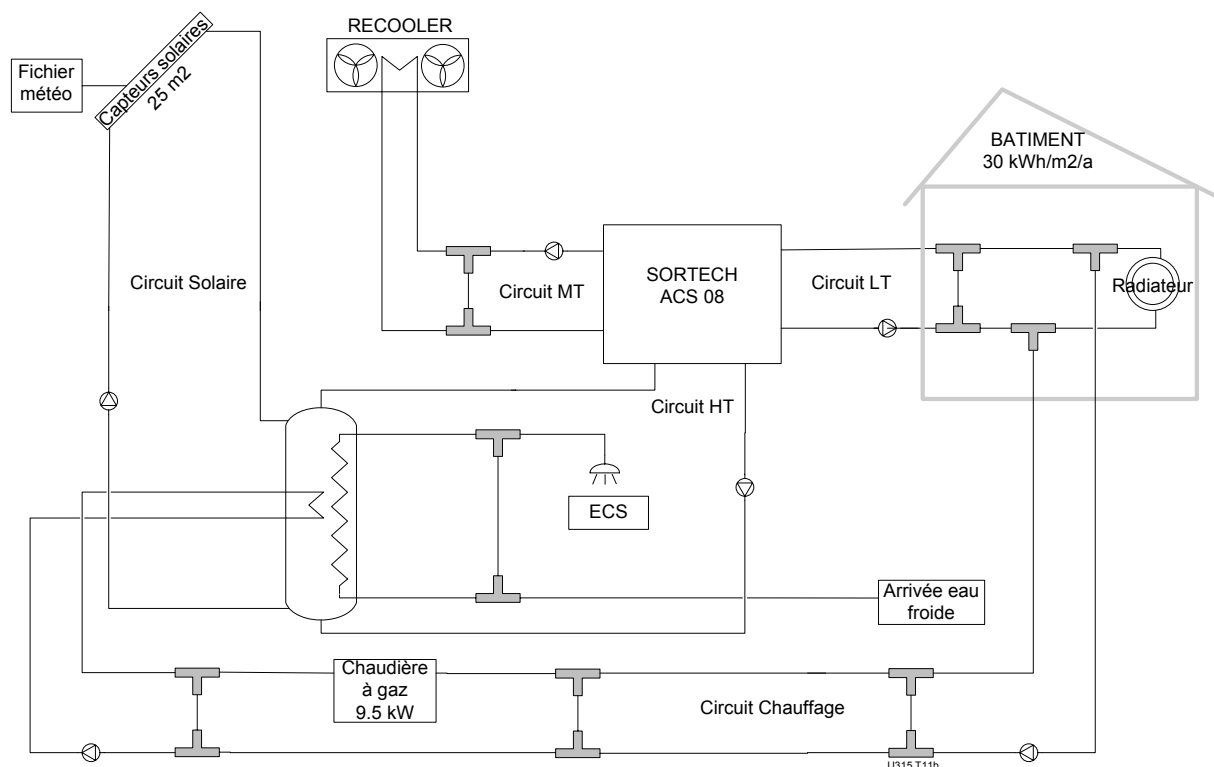


FIGURE 127 : SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION SIMULEE

## 8.2. Paramètres de simulation

Pour cette étude, le logiciel TRNSYS version 16 a été utilisé. Les différents paramètres de simulation utilisés sont présentés dans les sections suivantes.

### 8.2.1. Paramètres généraux des systèmes simulés

Le Tableau 16 précise les valeurs des paramètres utilisés dans les simulations.

Circuit	Conduites		Puissance des circulateurs	Surface des capteurs solaires	Stock	Chaudière à gaz	Recooler
Solaire	U=2,7 [W/m <sup>2</sup> .K]	Ø = 15[mm] L = 2 x 23 m	25 [W]	Hors-tout : 25 m <sup>2</sup>	V=1.5 m <sup>3</sup> H=1.8 m	Puissance 9.5 [kW]	<u>Palier 1</u> (vitesse des ventilateurs) : 7'900 kg <sub>air</sub> /h 150 W  <u>Palier 2 :</u> 13'500 kg <sub>air</sub> /h 650 W
HT		Ø = 32[mm] L = 2 x 4.5 m	55 [W]	(Plans et tubes)			
LT		Ø = 35[mm] L = 2 x 4 m	75 [W]	Absorbeur : 16.6 m <sup>2</sup> (plans)			
MT		Ø = 48[mm] L = 2 x 6.5 m	175 [W]				
Chauffage		Ø = 22[mm] L = 2 x 12 m	80 [W]	21.7 m <sup>2</sup> (tubes)			

TABEAU 16 : PARAMETRES UTILISES DANS LES SIMULATIONS

### 8.2.2. Climats de référence

Deux types de climats représentatifs en Europe ont été choisis :

- Zürich (climat tempéré)
- Barcelone (climat méditerranéen)

Des simulations supplémentaires ont été effectuées avec un climat méditerranéen avec des amplitudes entre la nuit et le jour plus importantes qu'à Barcelone. Pour analyser ce type de climat, la ville de Séville a été retenue. Cela entraîne un temps plus chaud qu'à Barcelone, mais avec des variations de température entre le jour et la nuit d'une vingtaine de degrés, contre une dizaine pour le climat de Barcelone, comme le montre les Figure 128 et Figure 129.

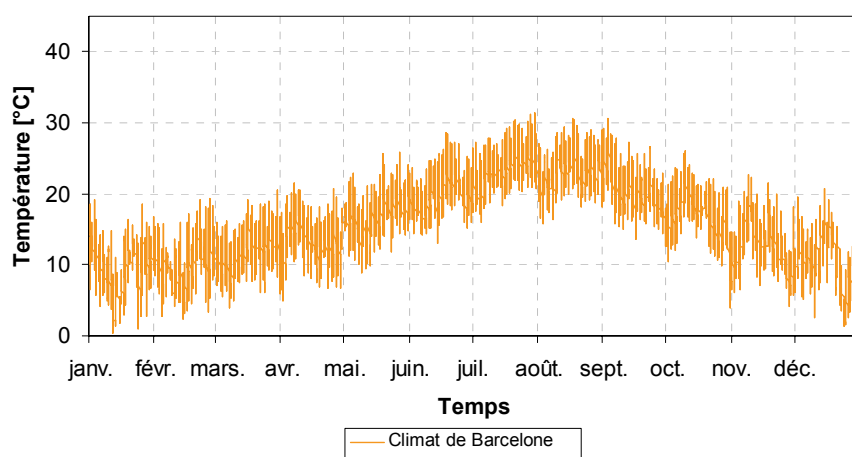


FIGURE 128 : TEMPERATURE EXTERIEURE POUR LE CLIMAT DE BARCELONE

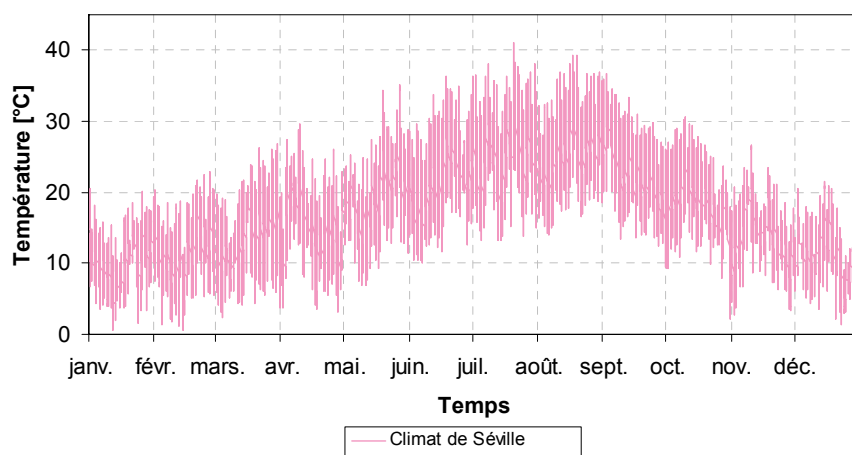


FIGURE 129 : TEMPERATURE EXTERIEURE POUR LE CLIMAT DE SEVILLE

Les données météorologiques proviennent de Météonorm [2]. Les fichiers météo utilisés dans TRNSYS contiennent plusieurs variables horaires, les plus utilisés étant :

- La température extérieure de l'air
- L'irradiation globale reçue sur un plan incliné à 45° et orienté au Sud
- L'humidité relative de l'air

### 8.2.3. Bâtiment

Deux modèles de bâtiments ont été choisis :

- une maison familiale
- un petit bâtiment administratif (bureaux)

#### 8.2.3.1. Maison familiale

L'architecture de la maison familiale est identique à celle utilisée durant les Tâche 26 et 32 de l'AIE programme Solar Heating and Cooling (SHC) [1] (Figure 130).

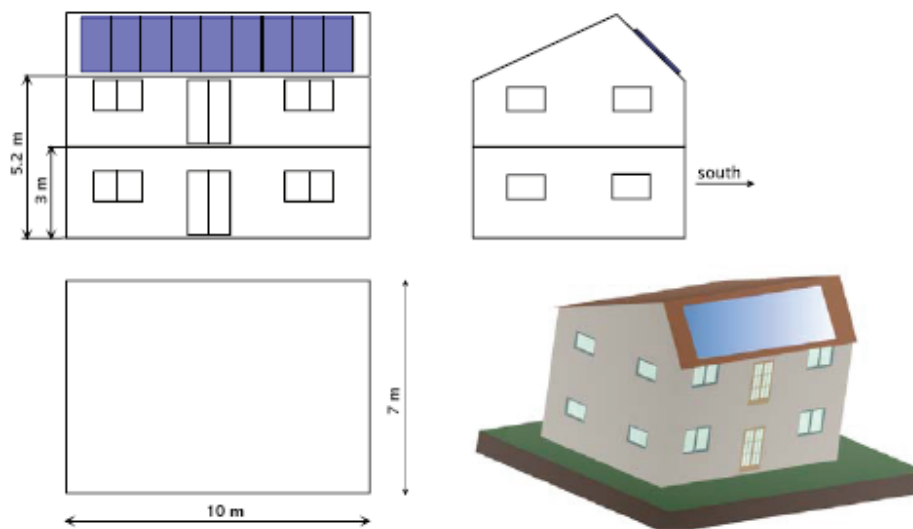


FIGURE 130 : ARCHITECTURE DE LA MAISON

La surface de plancher est de 140 m<sup>2</sup> et les valeurs U des éléments de l'enveloppe sont indiqués dans le Tableau 17.

Eléments de l'enveloppe du bâtiment	Valeur U [W/m <sup>2</sup> .K]
Mur extérieur	0.14
Plancher	0.12
Toit	0.11
Fenêtre avec cadre	0.68

TABLEAU 17 : RECAPITULATIF DES COEFFICIENTS U DE LA MAISON

La surface vitrée représente :

- 25% de la façade Sud
- 10% de la façade Est et Ouest
- 6% de la façade Nord.

Cette construction est de type massive (isolation à l'extérieure) et la valeur g des vitrages est de 0.41.

Le besoin annuel énergétique de ce bâtiment est de 30 kWh/an/m<sup>2</sup>.

### 8.2.3.2. Bureaux

La géométrie du bâtiment administratif est la même que celle de la maison familiale sauf que les surfaces vitrées sont passées à 40 % des façades Sud, Est et Ouest.

Le nombre de personnes, les gains internes et les besoins en eau chaude sanitaire ont également été adaptés sur la base du cahier technique SIA 2024.

### 8.2.4. Profil de besoins en eau chaude sanitaire

L'énergie annuelle de soutirage d'eau chaude sanitaire a été fixée à :

- 3'000 kWh/an pour la maison familiale
- 1'000 kWh/an pour le bâtiment administratif

Le profil de consommation de l'ECS est présenté dans le Figure 131 (maison familiale) et Figure 132 (bureaux):

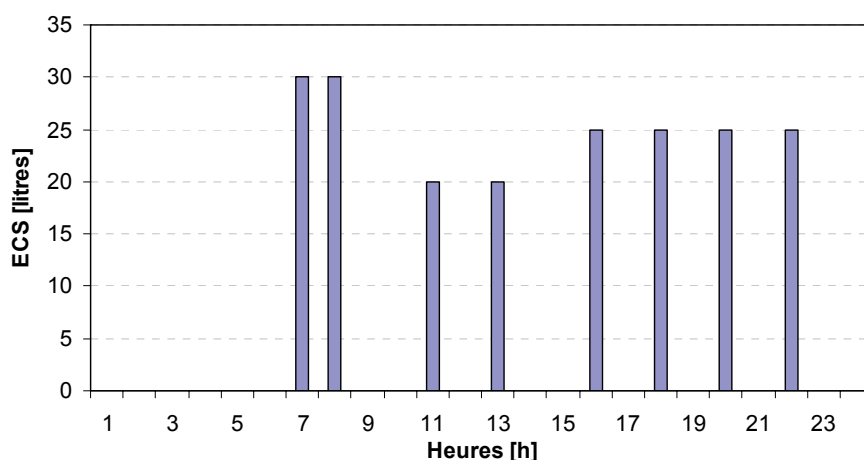


FIGURE 131 : PROFIL JOURNALIER DU SOUTIRAGE D'ECS POUR LA MAISON FAMILIALE

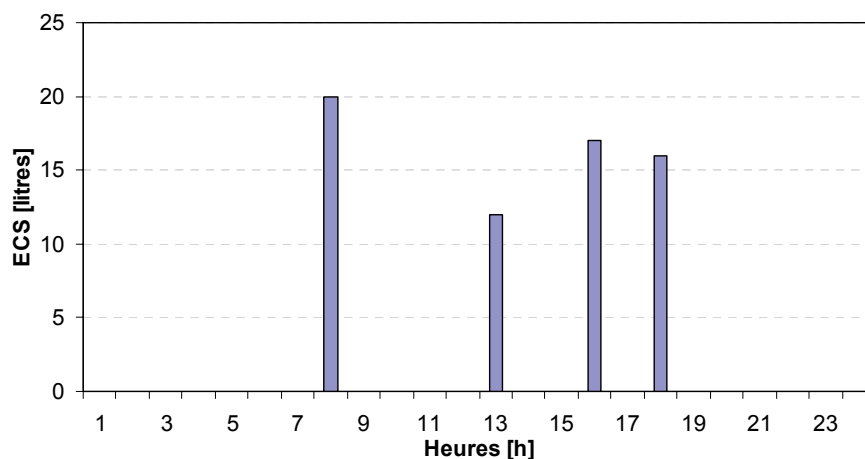


FIGURE 132 : PROFIL JOURNALIER DU SOUTIRAGE D'ECS POUR LES BUREAUX (BATIMENT ADMINISTRATIF)

Pour la maison familiale, la quantité journalière d'ECS est de 200 litres avec une température d'eau froide de 12 [°C] et une température mitigée de 50 [°C]. Ainsi, l'énergie quotidienne est de 8.2 [kWh].

En ce qui concerne les bureaux, les températures de l'eau restent identiques mais la quantité d'ECS soutirée chaque jour est de seulement 62 litres, ce qui donne une énergie quotidienne de 2.7 [kWh].

### 8.2.5. Chaudière a gaz

L'appoint pour l'ECS et le chauffage est fourni par une chaudière à gaz à puissance modulable. Elle peut être utilisée soit uniquement pour le chauffage, soit uniquement pour chauffer le stock, mais ne sert pas d'appoint pour la climatisation.

### 8.2.6. Cuve de stockage

La cuve de stockage est prévue avec deux échangeurs de chaleur intérieurs, le premier d'une hauteur de 1.8 m pour la production de l'ECS et le deuxième d'une hauteur de 0.4 m pour le système de chauffage. Elle comporte aussi deux entrées et deux sorties situées à ses deux extrémités (circuit solaire et circuit HT de la machine Sortech). Pour un souci d'efficacité de la fonction climatisation solaire, il n'a pas été mis d'échangeur de chaleur entre les capteurs solaires et la cuve de stockage et entre le recooler et Sortech. En contrepartie, la cuve de stockage est remplie d'eau glycolée.

### 8.2.7. Recooler

La modélisation du recooler a été réalisée dans TRNSYS à partir d'un type déjà existant (Type 52) avec des paramètres qui ont été relevés sur le recooler utilisé sur le banc de tests. La consommation électrique du moteur du ventilateur est de 150 [W] quand il fonctionne sur le 1<sup>er</sup> palier et 650 [W] sur le second. Ces paramètres correspondent à la consigne actuellement intégrée dans les machines Sortech installées.

### 8.2.8. Machine Sortech

Comme indiqué dans le paragraphe 6.2, la machine Sortech peut être paramétrée pour un système de chauffage au sol et pour un système de chauffage par aéro-convection. Pour toutes les simulations effectuées dans ce projet, c'est un système de chauffage au sol qui a été retenu. Sortech préconise dans ce cas, une valeur de  $T_{SET}$  de 15°C.

Néanmoins pour analyser la pertinence de cette valeur, une série de simulations a été effectuée en faisant varier cette valeur entre 9 et 18°C afin de vérifier l'influence de ce paramètre sur le COP et la puissance froide délivrée. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure 133 pour le climat de Zurich et dans la Figure 134 pour le climat de Barcelone).

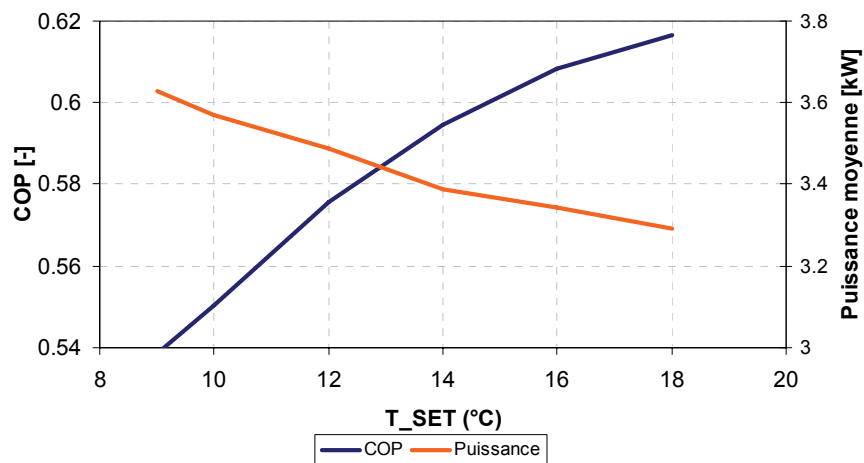


FIGURE 133: EVOLUTION DU COP ET DE LA PUISSANCE FROIDE EN FONCTION DE  $T_{SET}$ , SIMULATION ANNUELLE, ZÜRICH

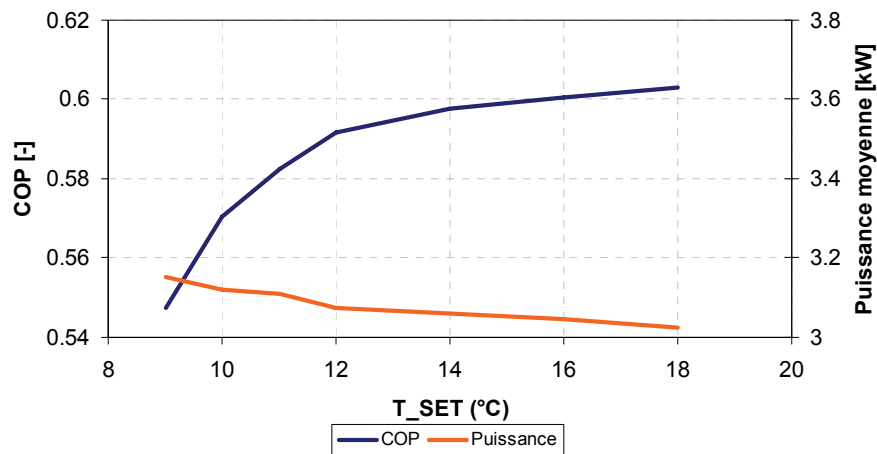


FIGURE 134: EVOLUTION DU COP ET DE LA PUISSANCE FROIDE EN FONCTION DE T\_SET, SIMULATION ANNUELLE, CLIMAT DE BARCELONE

Comme le montre la Figure 133, pour Zürich, il est difficile de trouver un compromis car le COP augmente avec T\_SET alors que la puissance diminue avec ce paramètre. Par contre, à Barcelone (Figure 134), une température T\_SET comprise entre 12 et 14 [°C] serait un bon compromis entre le COP et la puissance.

Afin d'être conforme avec ce que préconise Sortech, la valeur de TSET = 15 °C a été utilisée par la suite pour les deux climats.

Idéalement, ce paramètre nécessite d'être choisi en fonction des besoins et des désirs du client. Avec une surface de capteurs largement dimensionnée, il faudrait privilégier la puissance car il y a suffisamment voire trop d'énergie à disposition. Par contre, si la surface de capteurs est légèrement sous-dimensionnée, il faudrait favoriser le COP afin d'utiliser au mieux le peu d'énergie solaire à disposition.

### 8.2.9. Capteurs solaires

Dans un premier temps, les simulations ont été effectuées avec des capteurs solaires plans vitrés. Une seconde série de simulation a été faite avec des capteurs à tubes sous vide, dans le but de compléter l'analyse de cycle de vie (cf. ch. 9).

Le Tableau 18 résume les différentes caractéristiques des capteurs utilisés lors des simulations.

Type de capteur	Rendement et coefficients de pertes rapportés à la surface d'encombrement du capteur	Rendement et coefficients de pertes rapportés à la surface d'absorbeur du capteur
Plan vitré (n° SPF C968)	$\eta_0 = 0.724$	$\eta_0 = 0.830$
	$a_1 = 3.22$	$a_1 = 3.69$
	$a_2 = 0.0079$	$a_2 = 0.0090$
Tubes sous vide (n° SPF C681)	$\eta_0 = 0.535$	$\eta_0 = 0.805$
	$a_1 = 0.76$	$a_1 = 1.14$
	$a_2 = 0.0063$	$a_2 = 0.0095$

TABLEAU 18 : PARAMETRES DES CAPTEURS SOLAIRES UTILISES DANS LES SIMULATIONS

Tous les calculs et simulations se réfèrent à la surface totale d'encombrement des capteurs et non à celle de l'absorbeur.

### 8.2.10. Stratégie de contrôle du système

#### 8.2.10.1. Courbe de chauffe

La température de départ chauffage suit une courbe (linéaire) en fonction de la température extérieure à laquelle un terme est ajouté prenant en compte la température ambiante dans le bâtiment :

$$T_{consigne\_ch} = (a * T_{ext} + b) + 15 * (T_{amb\_ref} - T_{amb}) \quad (3)$$

Avec :

$T_{consigne\_ch}$	: Température de consigne départ chauffage
$T_{ext}$	: Température extérieure
$T_{amb\_ref}$	: Température ambiante de référence dans le bâtiment, 20°C
$T_{amb}$	: Température ambiante dans le bâtiment
$a$	: Terme constant (pente = -0.66)
$b$	: Terme constant (33.33)

#### 8.2.10.2. Consigne ECS

La température de consigne du ballon de l'eau chaude sanitaire est fixée à 60 [°C] pour une température d'utilisation d'ECS de 50 [°C]. La demande en ECS est prioritaire sur la demande en chauffage et sur la demande en climatisation.



#### **8.2.10.3. Chaudière à gaz**

L'enclenchement de la chaudière à gaz est ordonné lorsqu'il y a une demande en eau chaude sanitaire ou lorsque la température de sortie du stock (côté chauffage) est inférieure à la consigne de chauffage.

La chaudière va charger en priorité le haut de la cuve si la température de consigne ECS n'est pas atteinte.

Pour le chauffage, soit la température du milieu de la cuve est supérieure à la consigne du chauffage, et l'énergie pour le chauffage est soutirée dans la cuve, soit cette température de consigne n'est pas atteinte, et la chaudière fournit directement l'énergie au circuit du chauffage, sans passer par la cuve.

Notons encore, que la boucle de simulation interdit à la chaudière de fournir de l'énergie à Sortech (pas d'appoint pour la climatisation).

#### **8.2.10.4. Machine Sortech**

La machine Sortech est régulée en fonction de la température dans le bâtiment et dans la partie haute du stock. Ainsi, elle est autorisée à s'enclencher si la température dans le bâtiment est supérieure ou égale à 25°C et si la température du haut du stock est plus chaude que 65°C. Elle est arrêtée si la température dans la maison est inférieure à 24°C (hystérésis de 1 K) et si la température dans la partie haute de la cuve est inférieure à 64°C.

## 8.3. Résultats et analyses

### 8.3.1. Résultats

Un résumé complet des résultats obtenus pour les simulations annuelles se trouve dans le Tableau 19.

	Zürich				Barcelone				Séville
	Bureaux		Maison familiale		Bureaux		Maison familiale		Maison familiale
Type de capteurs solaires	Plans	A tubes	Plans	A tubes	Plans	A tubes	Plans	A tubes	Plans
<b>Energies thermiques [kWh]</b>									
Circuit LT	2'790	3'287	1'374	1'504	5'413	6'068	3'537	3'808	4'893
Circuit HT	4'414	5'181	2'225	2'444	8'959	9'922	6'064	6'492	10'980
Solaire	8'486	10'099	7'786	8'980	13'548	14'982	12'750	13'779	17'808
Chauffage	3'385	3'344	3'408	3'382	59	53	95	79	13
ECS	1'162	1'162	2'987	2'987	1'164	1'164	2'995	2'995	2'995
<i>Production d'énergie totale (froid et chaud)</i>	<i>7'337</i>	<i>7'793</i>	<i>7'769</i>	<i>7'873</i>	<i>6'636</i>	<i>7'285</i>	<i>6'627</i>	<i>6'882</i>	<i>7'901</i>
<b>Pertes thermiques [kWh]</b>									
Circuit HT	147	180	90	107	298	343	226	256	372
Circuit chauffage	236	233	319	314	18	13	29	25	9
Circuit solaire	1'212	1'617	1'244	1'663	1'581	1'879	1'658	2'036	1'838
Pertes de la cuve	1'348	1'436	1'454	1'575	1'575	1'624	1'736	1'883	1'747
<b>Energie d'appoint [kWh]</b>									
Chaudière	3'394	2'992	3'934	3'519	145	80	156	106	112
<b>Energies électriques [kWh]</b>									
Circulateurs Sortech (HT, MT, LT)	250	315	106	124	533	625	357	391	643
Circulateur solaire	21	26	9	10	44	51	29	32	53
Machine Sortech	30	30	28	28	33	34	31	31	35
Recooler	124	155	53	62	278	320	185	199	568
Circulateur chauffage	166	163	208	250	5	4	8	6	13
<b>Total</b>	<b>590</b>	<b>689</b>	<b>404</b>	<b>474</b>	<b>893</b>	<b>1'035</b>	<b>610</b>	<b>660</b>	<b>1'311</b>
<b>Heures de fonctionnement [h]</b>									
Sortech	820.1	1'032.8	348.6	407.2	1748.0	2'050.5	1171.0	1'281.5	2108.0
Chauffage	1865.8	1'864.6	2285.0	2'280.8	47.2	45.2	81.0	66.1	11.7
ECS	210.5	169.9	316.2	273.5	16.6	8.6	17.6	11.3	150.6
Chaudière	916.5	834.6	945.8	847.6	19.2	11.3	22.1	15.8	16.9
Solaire	1189.5	1'509.2	1244.0	1'662.9	1740.1	2'107.5	1664.6	1'915.9	2095.7
<b>Coefficients de performance [-]</b>									
COP thermique (selon 1.7.1)	0.63	0.63	0.62	0.62	0.60	0.61	0.58	0.59	0.45
COP électrique (selon 1.7.2)	6.59	6.24	7.03	6.72	6.10	5.88	5.87	5.83	3.77

TABLEAU 19 : RESUME DES RESULTATS OBTENUS PAR SIMULATION POUR ZÜRICH, BARCELONE ET SEVILLE

Afin de mieux comprendre la répartition des différentes énergies prises en compte, nous avons effectué un diagramme de Sankey pour la configuration Zürich, maison familiale :

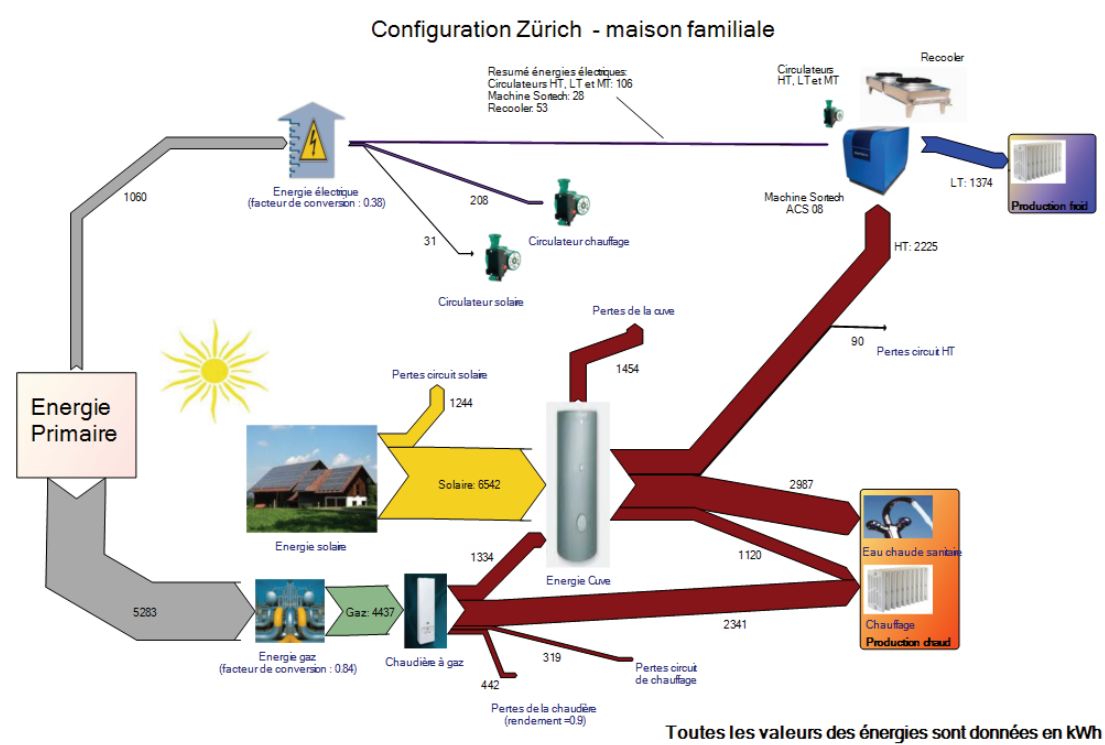


FIGURE 135: DIAGRAMME DE SANKEY POUR LA CONFIGURATION ZÜRICH – MAISON FAMILIALE

Les résultats obtenus sont analysés dans les paragraphes ci-dessous.

### 8.3.2. Fonctionnement de la machine Sortech

La Figure 136 montre graphiquement la variation des coefficients de performance thermiques et électriques des différentes configurations simulées.

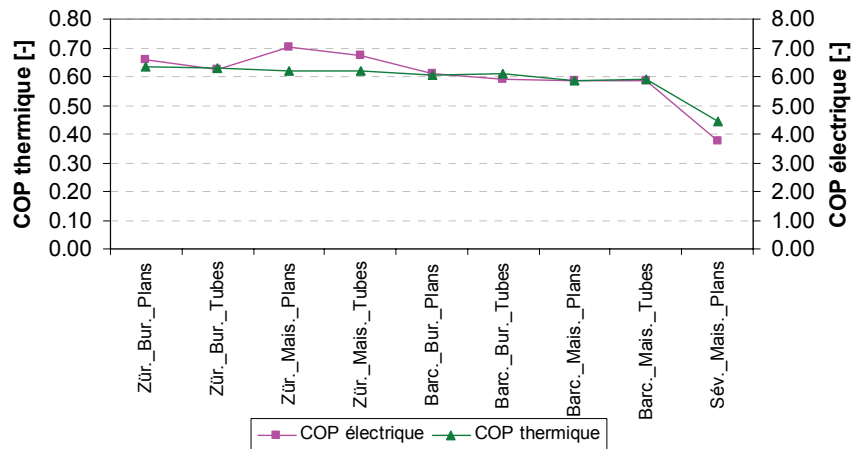


FIGURE 136 : COP THERMIQUE ET COP ELECTRIQUE SELON LES CONFIGURATIONS SIMULEES

La Figure 136 montre que le COP thermique est relativement constant entre Zürich et Barcelone, avec des valeurs légèrement supérieures pour Zürich. Ce léger avantage peut s'expliquer par la plus faible température extérieure durant la période où la climatisation fonctionne à Zürich. Cette température extérieure agissant particulièrement sur le fonctionnement du recool.

Il y a peu de différence entre les configurations "capteurs plans" et "capteurs à tubes". Par contre, le COP thermique chute dans les simulations de Séville (valeur moyenne annuelle à 0.45). Cette diminution peut s'expliquer également par l'augmentation de la température extérieure de Séville par rapport à Barcelone et Zürich. Ainsi, la température de retour du recool est supérieure à celle obtenue à Barcelone et Zürich et les performances de la machine diminuent comme montrées dans les tests en conditions stables (cf. Figure 33, p. 35). Pour vérifier cette analyse, la température moyenne annuelle d'entrée dans Sortech sur le circuit MT a été calculée pour les différents climats. Celle-ci se situe à 29°C pour Séville contre 27°C pour Barcelone (cas maison familiale, capteurs plans). Nous constatons également que les valeurs moyennes obtenues de COP thermique correspondent assez bien à celles obtenues sur la machine en conditions stables (cf. Figure 32, p. 35).

Les résultats obtenus pour le  $COP_{\text{électrique}}$  sont, d'une manière générale, satisfaisants, avec des valeurs comprises entre 5.83 et 7.03 selon les configurations, ceci pour Zürich et Barcelone. La valeur obtenue pour Séville est par contre basse (3.75).

La Figure 137 montre la répartition des consommations d'énergie électrique pour les différentes configurations simulées :

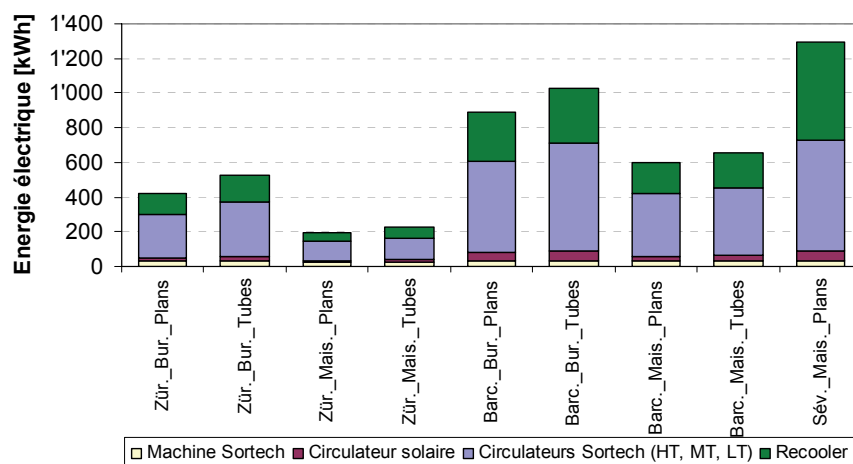


FIGURE 137 : ENERGIE ELECTRIQUE CONSOMMEE SELON LES CONFIGURATIONS SIMULEES

Une fois de plus, il est montré que l'influence de la température extérieure sur les consommations électriques est forte. A Séville et Barcelone, la consommation électrique du recooling est largement supérieure à celle de Zürich. Malgré le climat méditerranéen de Barcelone, le recooling reste la quasi-totalité du temps sur le 1<sup>er</sup> palier de fonctionnement (puissance moyenne sur l'année de 160 W) alors qu'à Séville où la température extérieure est la plus élevée, il bascule bien plus régulièrement sur le second niveau (puissance moyenne de 265 W).

La différence entre Zürich et Barcelone réside dans le nombre d'heures de fonctionnement sur l'année de l'installation de climatisation. La Figure 138 montre la répartition de ce nombre d'heures selon les différents postes simulés à savoir :

- Nombre d'heures de fonctionnement de la machine Sortech
- Nombre d'heure de fonctionnement du circulateur de chauffage
- Nombre d'heure de fonctionnement de la chaudière, réparti entre production de chaleur et production d'ECS
- Nombre d'heure de fonctionnement du circulateur solaire.

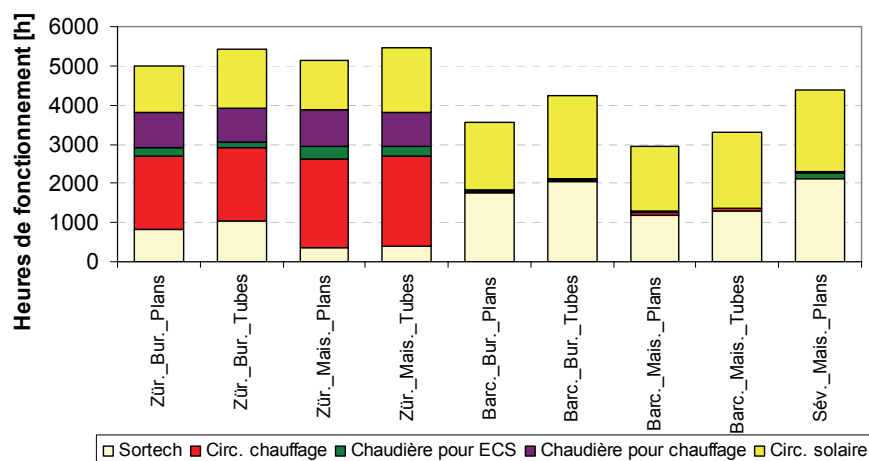


FIGURE 138 : HEURE DE FONCTIONNEMENT DES DIFFERENTS COMPOSANTS SELON LES CONFIGURATIONS SIMULEES

Le second gros poste de consommation électrique est le poste "circulateurs Sortech" (cf. Figure 137). Les différences observées d'un climat à l'autre sont directement liées au nombre d'heures de fonctionnement de la machine Sortech (cf. Figure 138), car ces circulateurs s'enclenchent lorsque la machine Sortech fonctionne. Toutefois, il a été constaté, qu'une diminution des pertes de charge dans la machine Sortech permettrait de diminuer ce poste (cf. chapitre 5.10).

Sur la base des résultats des simulations, une puissance moyenne de fonctionnement de la machine Sortech a été définie en divisant l'énergie LT fournie par le nombre d'heure de fonctionnement de Sortech. Les résultats sont présentés dans la Figure 139.

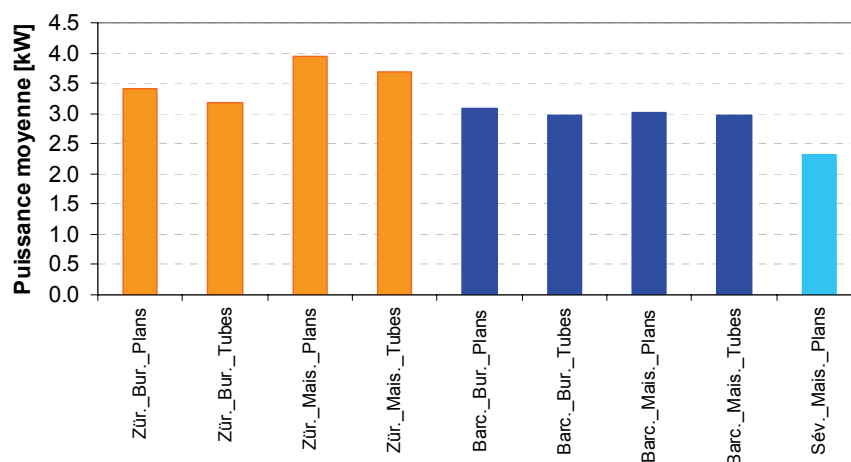


FIGURE 139 : PUISSANCE MOYENNE DE LA MACHINE SORTECH SELON LES CONFIGURATIONS SIMULÉES

Comme vu précédemment (cf. ch.5.15), la puissance moyenne de froid fournie par Sortech est inférieure à la puissance nominale de Sortech donnée par le fabricant à 8.5 kW. En effet, cette puissance nominale est rarement atteinte et la valeur maximale obtenue pour chaque climat se situe à 2.32 kW pour Séville, 3.10 kW pour Barcelone et 3.94 kW pour Zürich. Ces valeurs de puissances rejoignent celles observées sur les tests de la machine dans le laboratoire (cf. ch. 5.15, p. 67). Cependant, il ne faut pas tirer trop de conclusions par rapport à cette valeur moyenne car, comme déjà mentionné, la machine fonctionne selon deux modes, (ECO et POWER) et en fonction d'un grand nombre de paramètres (Text, T<sub>HT\_IN</sub>, T<sub>LT\_IN</sub>). De ce fait, il peut arriver que durant une période de l'année, alors que les conditions sont favorables, la machine soit en mode ECO et fournisse une puissance relativement faible (3 kW par exemple). De même, une même puissance de 3 kW pourrait être le résultat d'un fonctionnement maximal (POWER) de la machine lors d'une belle période ensoleillée avec des températures extérieures élevées.

### 8.3.3. Confort dans le bâtiment

Pour rappel, dans les simulations effectuées, aucun appoint froid n'a été ajouté lorsque l'énergie des capteurs solaires est insuffisante pour faire fonctionner la machine Sortech. De ce fait, les résultats montrés dans le Tableau 19 ne donnent aucune information sur le niveau de température obtenu dans le bâtiment. Ainsi l'énergie froide (LT) fournie au bâtiment ne correspond pas à la demande en climatisation de ce dernier, mais seulement à la capacité maximale de la machine Sortech à fournir du froid.

Rappelons que dans la simulation, la machine Sortech s'enclenche lorsque la température ambiante dépasse 25°C et s'arrête si cette température descend au-dessous de 24°C.

Les Figure 140 (Zürich) et Figure 141 (Barcelone) montrent la fréquence de températures obtenues durant l'année.

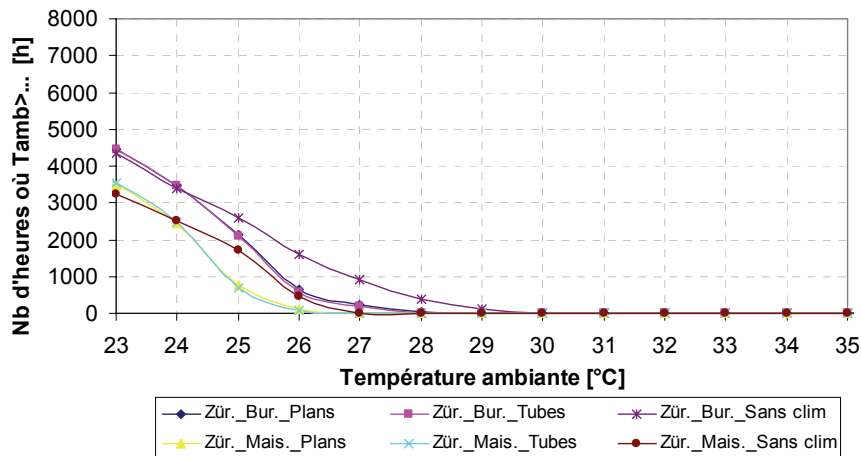


FIGURE 140: REPARTITIONS DES TEMPERATURES DANS LE BATIMENT, ZÜRICH

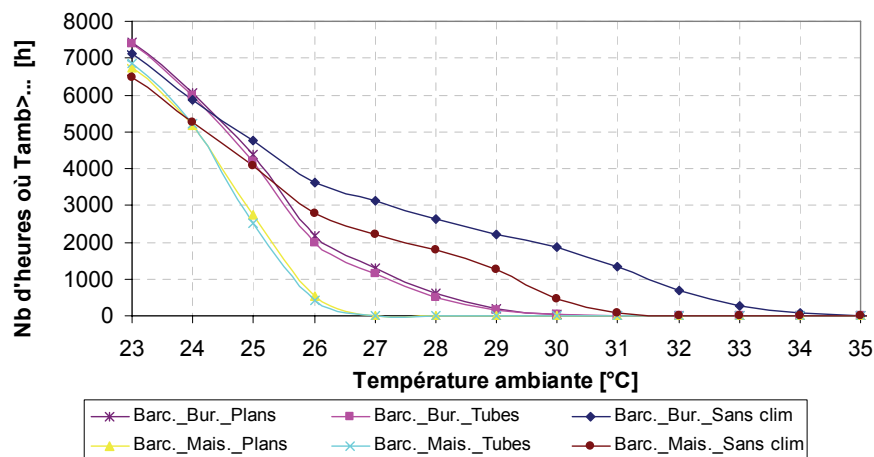


FIGURE 141: REPARTITIONS DES TEMPERATURES DANS LE BATIMENT, BARCELONE

En étudiant les Figure 140 (Zürich) et Figure 141 (Barcelone) les points suivants ressortent :

- les configurations "bureaux" présentent la température ambiante la plus haute, ceci dû aux gains internes importants.
- il n'y a pas de grande différence entre les configurations capteurs plans et capteurs à tubes évacués. Par exemple, à Zürich, la température ambiante dépasse les 25°C durant 2083 heures sur l'année avec des capteurs à tubes contre 2147 pour les capteurs plans. Dans les deux cas, aucune température supérieure à 29°C n'a été observée.
- A Zürich, dans le bureau, fortement vitré avec une inertie relativement faible, l'utilisation d'une installation de climatisation peut se justifier, car, sans celle-ci, il y aurait 393 h avec des températures intérieures supérieures 28°C.

A Barcelone, aussi pour les bureaux, il est observé que même en utilisant l'installation de climatisation, la température se situe au-dessus de 26°C durant 2178 heures, durant 1282 heures au-dessus de 27°C, 593 heures au dessus de 28°C, 188 heures au-dessus de 29°C, 26 heures au-dessus de 30° et 2 heures au-delà.

Pour illustrer ceci, la Figure 142 montre la température ambiante pour les bureaux, capteurs plans à Barcelone ainsi que la température extérieure.

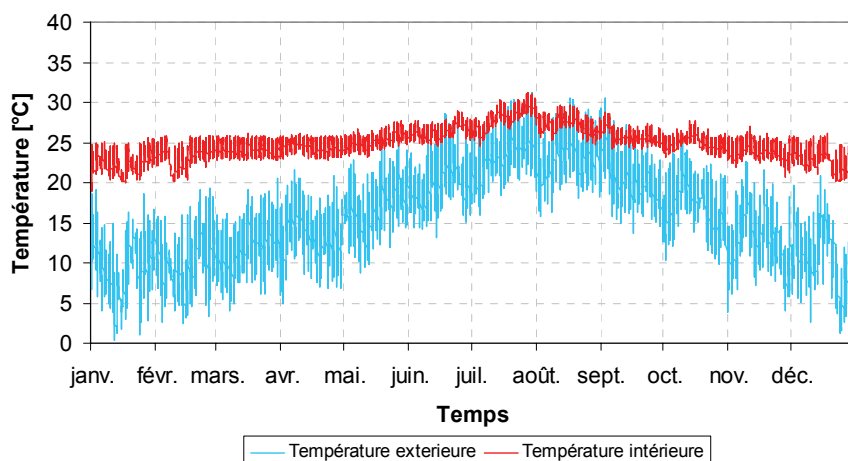


FIGURE 142: TEMPERATURE INTERIEURE ET EXTERIEURE, BUREAUX. CAPTEURS PLANS, BARCELONE

Comme le montre la Figure 142, la température intérieure atteint parfois 25°C en hiver alors que le chauffage n'est pas enclenché. Ceci est dû aux gains solaires et aux gains internes et aux faibles besoins thermiques du bâtiment.

Pour terminer cette analyse, une simulation dans la configuration Barcelone, bureaux, mais sans climatisation a été effectuée. La Figure 143 montre la température ambiante obtenue dans le bâtiment avec cette simulation (courbe bleue) et la température obtenue avec climatisation (courbe rouge).

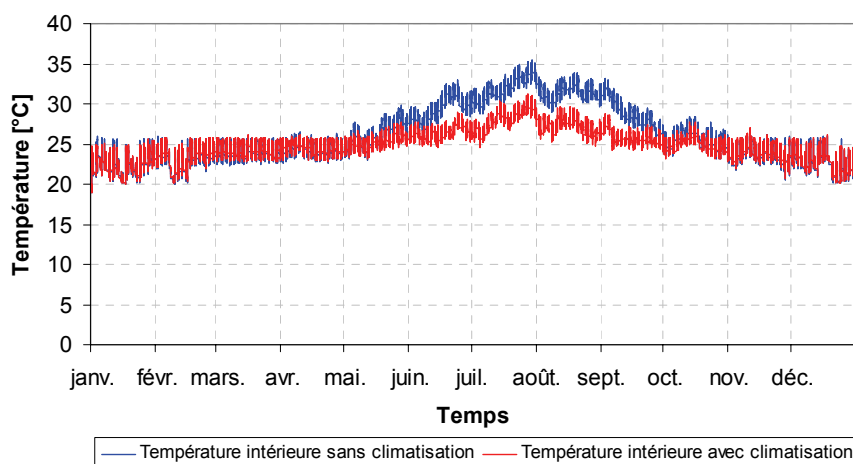


FIGURE 143: COMPARAISON DES TEMPERATURES AVEC ET SANS CLIMATISATION, BUREAUX, BARCELONE

Le niveau de température obtenu grâce à la climatisation, durant la période la plus chaude de l'année, permet de réduire d'environ 4 K la température intérieure durant la période estivale. Cette valeur permet d'avoir un gain important sur le confort thermique dans le bâtiment.



### 8.3.4. Capteurs plans vs capteurs à tubes évacués

Suite aux résultats de simulations obtenus, une analyse peut être effectuée entre capteurs plans et capteurs à tubes évacués.

La Figure 144 montre l'énergie fournie au circuit LT par Sortech sur l'année entre capteurs vitrés et capteurs à tube évacués pour les différentes configurations étudiées (climats et bâtiments).

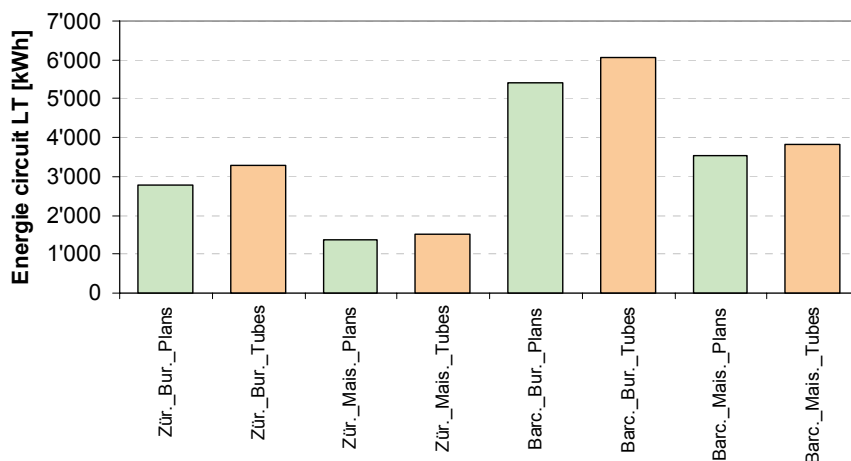


FIGURE 144 : ENERGIE FOURNIE AU CIRCUIT LT SELON LES CONFIGURATIONS SIMULEES

La Figure 144 montre que l'utilisation des capteurs à tubes évacués (oranges) permet de fournir plus d'énergie froide sur l'année, ceci tant pour les bureaux (12% de plus à Barcelone et 17% à Zürich) que pour la maison familiale (7% de plus à Barcelone et 9% à Zürich). En effet, les capteurs à tubes permettent d'obtenir des niveaux de température plus élevés dans la cuve (au delà des 65°C). Ainsi, la machine Sortech fonctionne plus longtemps sur l'année, entre 200 et 300 h de plus pour les bureaux et entre 50 et 100 h de plus pour la maison familiale, par rapport à la configuration avec des capteurs plans (cf. Figure 138).

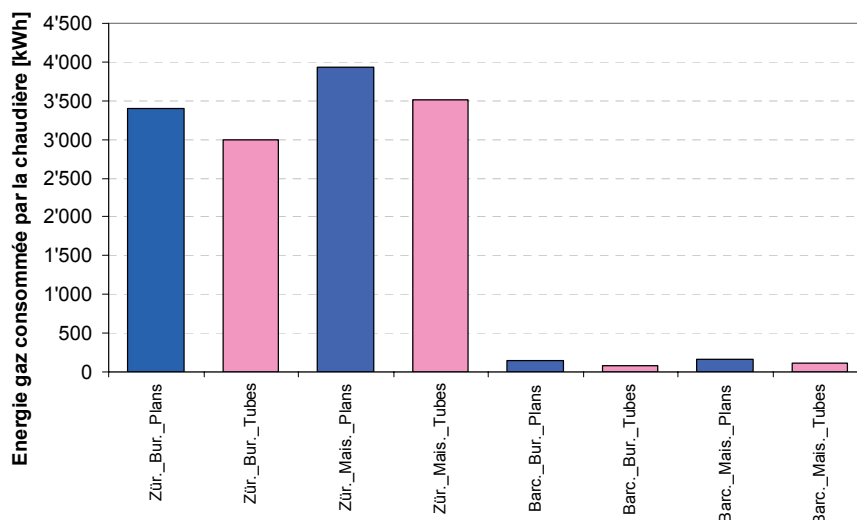


FIGURE 145 : ENERGIE GAZ CONSOMMEE PAR LA CHAUDIERE SELON LES CONFIGURATIONS SIMULEES

En ce qui concerne la période d'utilisation en mode chauffage, la Figure 145 montre que l'utilisation des capteurs à tubes évacués permet de diminuer sensiblement la consommation de gaz, en particulier pour Zürich (10% à 15%).

#### 8.4. Conclusions aux simulations annuelles

Les résultats des simulations présentés dans ce chapitre 8 ont permis d'analyser les performances annuelles d'une climatisation solaire par adsorption pour différents climats et différents type de bâtiments.

##### A. Consommation d'électricité

La consommation d'électricité d'une installation de climatisation à adsorption est fortement dépendante du climat dans lequel celle-ci se trouve. En effet, la consommation électrique du recoolera sera d'autant plus grande que la température extérieure moyenne est grande.

##### B. COP thermique et électrique

Les COP électriques obtenus dans les simulations atteignent pour les climats de Zürich et Barcelone des valeurs comprises entre 5 et 7. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles obtenues sur le stand de tests. Ainsi, nous constatons que les différentes optimisations des composants (recooler, circulateur) données par Sortech, permettent d'atteindre des valeurs prometteuses.

##### C. Capteurs plans vs capteurs à tubes

L'utilisation de capteurs à tubes permet d'économiser l'appoint gaz pour l'ECS et le chauffage. Même si le COP<sub>électrique</sub> est légèrement plus bas avec des capteurs à tubes, le gain annuel en énergie froide semble justifier l'emploi de capteurs à tubes plutôt que de capteurs plans, ceci d'un point de vue énergétique. La différence entre les deux types de capteurs est plus grande à Barcelone qu'à Zürich, ceci à cause de la différence de température extérieure entre les deux villes.

##### D. Confort thermique

Les températures atteintes dans les différents bâtiments durant l'année permettent de dire que l'utilisation d'une installation de climatisation solaire à adsorption est justifiable à Barcelone, mais difficilement à Zürich. Cependant, même à Zürich et dans les bureaux, un meilleur confort sera obtenu.

Les résultats obtenus seront utilisés dans le chapitre analyses de cycle de vie (cf. 9) afin d'effectuer une comparaison avec d'autres systèmes de chauffage et de climatisation.

## 9. Ecobilan de l'installation de climatisation solaire

### 9.1. Objectif

Ce chapitre concerne l'analyse des impacts environnementaux liés aux matériaux et à l'énergie des systèmes pouvant fournir alternativement du chauffage et de la climatisation. Une partie importante de ce chapitre présente les résultats obtenus pour l'installation de climatisation solaire utilisant la machine Sortech.

La seconde partie de ce chapitre concerne l'écobilan de différents systèmes permettant la production de chaleur et de froid. Ils ont été comparés en utilisant les résultats obtenus précédemment par simulation (cf. ch. 8).

Les systèmes comparés sont :

- Installation à adsorption Sortech et chaudière à gaz
- Installation comprenant un "chiller" conventionnel (groupe frigorifique) et une chaudière à gaz
- Installation avec une pompe à chaleur réversible "air/eau"
- Installation avec une pompe à chaleur réversible "sol/eau"

Deux sites météorologiques ont été pris en considération pour faire les simulations de demande en énergie, à savoir:

- Zürich (Suisse)
- Barcelone (Espagne)

Le bâtiment considéré est le même qu'utilisé plus haut pour la simulation de la consommation d'énergie (Tâche 26 de l'AIE [10]). Il sera possible de déterminer la contribution dans l'écobilan de la part matériaux des installations techniques et de la part consommation d'énergie chaude et froide. Les affectations considérées sont les mêmes que dans le chapitre 8 :

- Maison individuelle
- Bureau

### 9.2. Champ de l'étude

La méthodologie appliquée dans tout ce chapitre pour effectuer les écobilans est conforme aux normes ISO 14'040 et suivantes [19].

#### 9.2.1. Fonction du produit

La fonction principale des installations étudiées est de produire de l'eau chaude sanitaire et du chauffage durant la période froide et de produire du froid durant la période estivale.

L'objectif est ici de regarder quelle production de froid peut être obtenue uniquement avec la climatisation solaire sans utiliser l'appoint de gaz pour une production complémentaire de froid. Connaissant cette production de froid, les autres variantes étudiées sont analysées pour une même production de froid.

### 9.2.2. Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle utilisée pour la majeure partie de ce chapitre est : les impacts générés par une installation de refroidissement, de chauffage et de production d'ECS pour une durée de vie de 20 ans, rapportés à l'année, en incluant l'énergie et les matériaux consommés durant le cycle de vie de l'installation

Le chapitre 9.7.1.4 fait exception à cette définition en considérant les impacts générés par kWh d'énergie chaude et froide fournie (climatisation, chauffage et ECS).

### 9.2.3. Limites du système

Le cycle de vie des installations étudiées peut se décomposer selon les phases schématisées à la Figure 146.

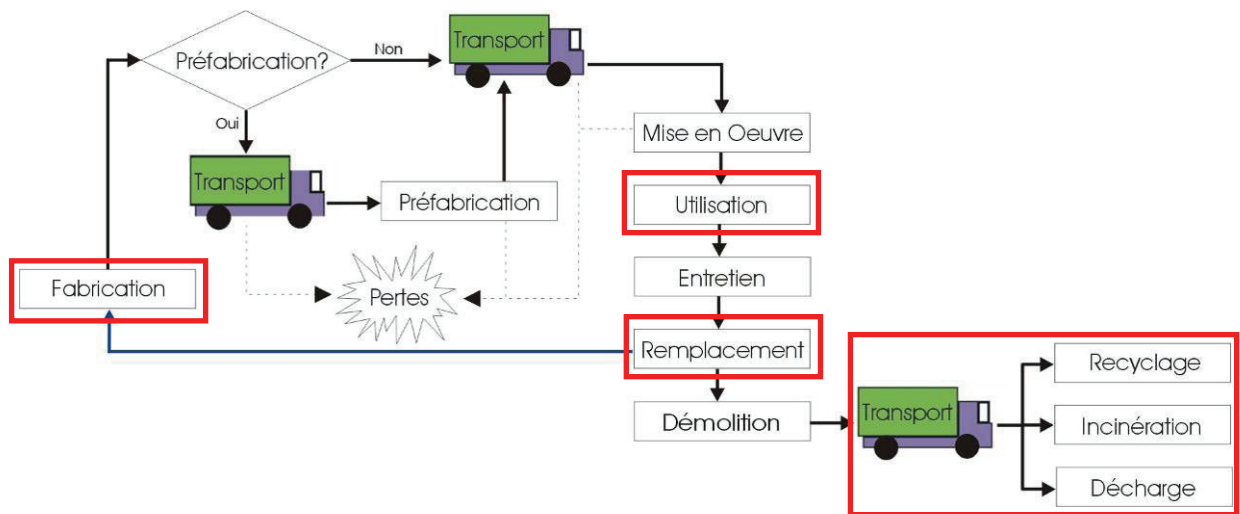


FIGURE 146 : FRONTIERES DU SYSTEME

Dans le cadre de cette étude, les phases suivantes ont été retenues (en rouge dans la Figure 146), car les autres ont des impacts négligeables :

- Fabrication des matériaux des composants des installations (extraction des matières premières et leur transport à la fabrique de transformation)
- Transport de ces composants (depuis le fournisseur au site de montage de l'installation)
- Utilisation : consommation de l'énergie (pour la production de chaud et de froid obtenus par simulation)
- Élimination des composants en fin de vie des installations

Dans cette étude, les infrastructures du bâtiment dans lequel se trouve l'installation ne sont pas prises en compte, car elles sont considérées comme identiques pour toutes les variantes.

### 9.2.4. Base de données

Les données de base concernant les matériaux constituant les différents composants de l'installation à analyser sont :

- Soit fournies par les fabricants des différents composants de l'installation (données techniques, analyse de laboratoire, etc.)
- Soit définies selon la base de données Ecoinvent v.2.2 [21].
- Soit déterminées au LESBAT, lorsque les données étaient manquantes

### 9.2.5. Informations de base nécessaires pour l'écobilan

Le calcul de l'écobilan a été effectué avec le logiciel Eco-Bat 3.0 [11]. Celui-ci a été adapté pour les matériaux et éléments constituant les différentes variantes de climatisation.

Concernant les distances de transports, les valeurs types sont données entre les fournisseurs et le site de construction. Elles sont déterminées selon le nombre de fabricants en Suisse. Comme cette étude n'a pas été faite en Espagne, les mêmes hypothèses de distances ont été prises pour les variantes à Barcelone.

Les énergies de climatisation fournies par Sortech, le besoin en chaud du bâtiment et les consommations d'électricité des auxiliaires sont tirés des résultats de simulation (cf. ch. 8.3.1). De ces simulations, ont été calculées les énergies de fonctionnement des autres variantes de comparaison, ceci en fonction des performances respectives de chaque système (cf. ch. 9.6.4).

### 9.2.6. Données sur les matériaux et les énergies

La détermination des masses des composants a été faite selon plusieurs méthodes :

- Valeurs fournies par les fournisseurs
- Valeurs pesées de composant à matériaux uniques
- Démontage de certains composants (vannes à billes, circulateurs, etc.) de composants défectueux fournis par les fournisseurs et pesages des différentes pièces
- Pour les composants de l'installation non démontables, des hypothèses ont été faites concernant la distribution des masses des différents matériaux

Pour les matières plastiques, une hypothèse a été posée en les regroupant tous sous du polyéthylène haute densité. En effet, les impacts des polymères sont relativement proches les uns des autres. De plus, pour certains composants, le type de plastique n'a pas pu être déterminé, mais il s'agit en grande majorité de plastiques durs.

Le système électrique n'a pas été pris en compte dans le calcul. Il ne s'agit pas d'impacts prédominant car les câblages utilisés sont de petits diamètres. Ceux-ci sont négligeables en comparaison avec la masse d'acier inoxydable et autres métaux composant l'installation.

L'élimination des matériaux est considérée selon les hypothèses suivantes :

- Les données des installations complètes (chaudière, capteurs solaire, etc..) déjà définies dans Ecoinvent [9] comprennent la phase d'élimination.
- Pour les autres composants de l'installation, les éliminations standards ont été considérées, à savoir:
  - Les métaux sont recyclés
  - Les plastiques sont incinérés

Les vecteurs énergétiques se trouvant dans l'analyse sont de l'électricité basse tension du réseau et du gaz naturel pour la combustion en chaudière à gaz.

### 9.3. Durée de vie

Les résultats présentés incluent tout le cycle de vie, de l'extraction des matières premières à leur élimination suivant les trois formes possibles (incinération, recyclage et mise en décharge), les transports des matériaux et la consommation d'énergie finale des systèmes étudiés.

Pour les matériaux, une durée de vie de 20 ans a été fixée. Afin de démontrer l'impact des matériaux sur la durée de vie, une comparaison est faite sur trois durées de vie différentes : 15, 20 et 25 ans (cf. ch.9.7.1).

Afin de simplifier l'étude nous n'avons pas pris en compte le remplacement de certains composants. L'hypothèse est faite que tous présentent la même durée de vie de 20 ans.

Il n'est pas tenu compte des pannes éventuelles car il est impossible de connaître leurs occurrences et les composants affectés.

### 9.4. Les indicateurs

Les indicateurs d'impacts retenus pour cette analyse sont :

- GWP : Gaz à effet de serre exprimé en kg CO<sub>2</sub>-éq
- NRE : Energie primaire non-renouvelable incluant le nucléaire, le fossile, le bois et la biomasse provenant des forêts primaires et exprimé en MJ-éq
- CED : Energie primaire totale incluant le non-renouvelable et renouvelable et exprimé en MJ-éq
- UBP : (Umwelt Belastung Punkten) : C'est un indicateur qui ne correspond pas à une unique catégorie d'impacts mais représente l'ampleur globale de différents effets agrégées par un système de pondération puis de normalisation. Les UBP, aussi appelés « Ecopoints » quantifient ainsi les charges environnementales résultant de l'utilisation des ressources énergétiques, de la terre et de l'eau douce, des émissions dans l'air, l'eau et le sol, ainsi que de l'élimination des déchets. Eco-Bat utilise la dernière version: l'UBP 2006. Ce dernier n'étant pas encore disponible dans la base de données Ecoinvent 2.01, les facteurs de caractérisation définis par [22] ont été utilisés. Il faut noter que cet indicateur est développé en Suisse et qu'il n'est pas reconnu comme la solution unique d'agrégation au niveau international, alors que les trois indicateurs précédents le sont.

## 9.5. Analyse d'une installation "réelle"

Suite aux données des différents composants d'une installation de climatisation solaire, l'étude a été élargie à une installation réelle dans une maison type en tenant également compte de l'énergie consommée pour faire fonctionner l'installation de production de chaud et de froid durant la phase d'utilisation. Comme déjà mentionné, et afin de donner une signification à l'analyse du cycle de vie au niveau des impacts environnementaux, des comparaisons avec d'autres installations ont également été faites. Les deux sites tests dans ce projet étant en Suisse (Zürich) et en Espagne (Barcelone), des installations pertinentes pour ces deux régions ont été choisies, à savoir :

- Installation de référence : Installation de climatisation solaire à adsorption avec chaudière à gaz (réf)
- Configuration 1 : Installation traditionnelle avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz (conf. 1)
- Configuration 2 : Installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2)
- Configuration 3 : Installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (avec sondes géothermiques) (conf. 3)

La comparaison entre les différentes configurations est basée sur les simulations effectuées dans le chapitre 8.3.1 pour le système de référence (Sortech). Ainsi, nous avons considéré que les configurations 1, 2 et 3 devaient fournir les mêmes énergies que fournissait l'installation de référence, pour la production de froid pour la climatisation et de chaud pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

### 9.5.1. Installation de référence : Clim. solaire à adsorption avec chaudière à gaz

La composition de l'installation de référence est schématisée à la Figure 147. Les limites de l'installation sont montrées par le cadre rouge. Ainsi, la distribution de chaleur (chauffage sol) n'est pas prise en compte dans les calculs car identique dans toutes les variantes étudiées.

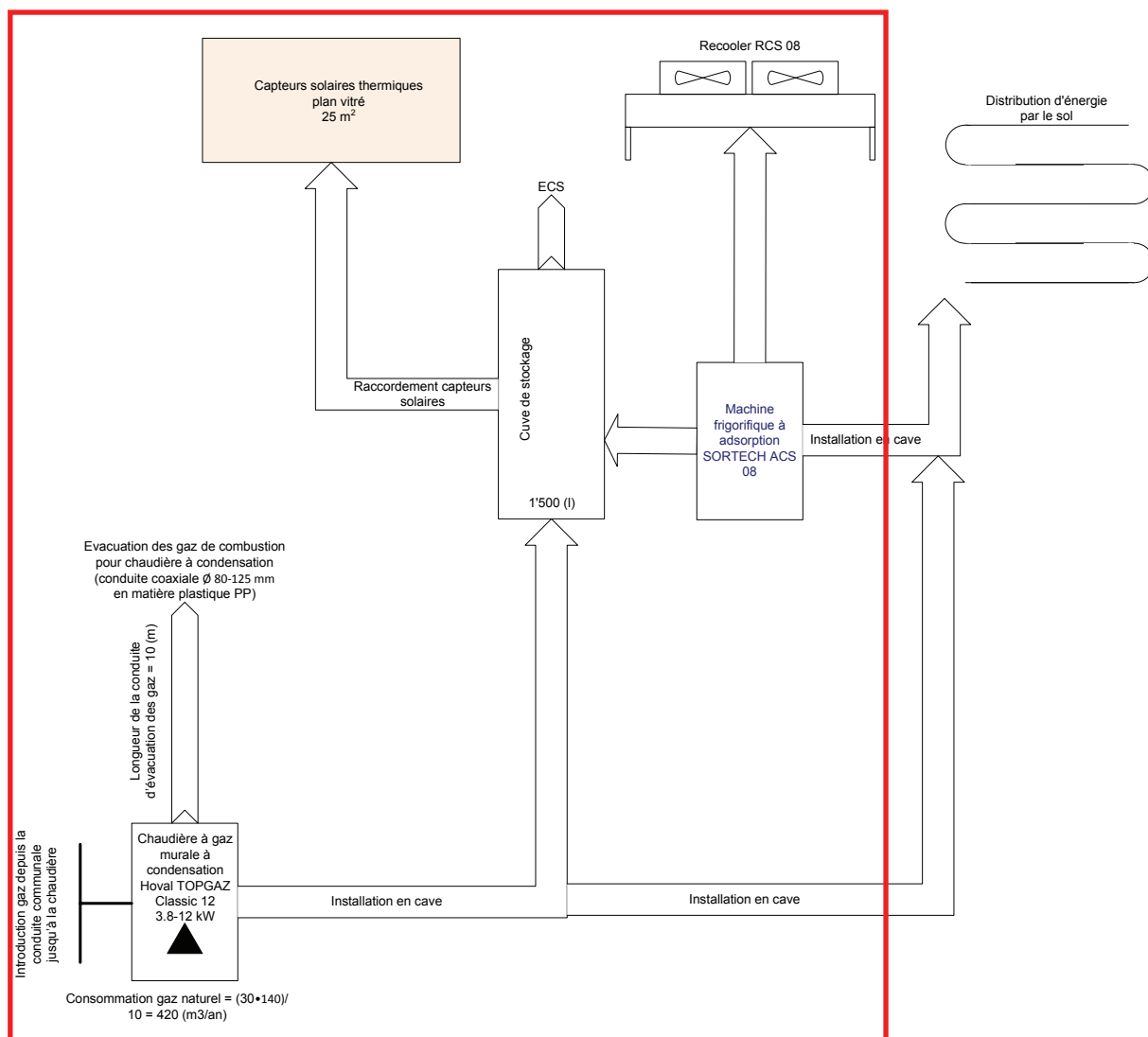


FIGURE 147 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'INSTALLATION DE REFERENCE ET LIMITE DU SYSTEME (EN ROUGE)



L'installation se compose de :

- Une machine Sortech (ACS 08), considérée comme une boîte noire comme le demande le fournisseur afin de ne pas dévoiler les composants et leur masse respective
- Des capteurs plans vitrés de 25 m<sup>2</sup> de surface brute (21.7m<sup>2</sup> de surface d'absorbeur) (ou à tubes sous-vide en variante (16.6m<sup>2</sup> de surface d'absorbeur))
- Une cuve de stockage en acier de 1500 litres
- Un recoolant (deux ventilateurs entourés d'une structure métallique en acier et en aluminium)
- Une chaudière à gaz murale à condensation, type Hoval TopGaz Classic, 12 kW, rendement 0.9 dont les caractéristiques sont données en Annexe 19.
- Une conduite d'évacuation des gaz d'échappement en polypropylène (PP)
- Des composants du réseau hydraulique (vannes, soupapes, circulateurs, raccords, etc...) et le fluide caloporteur avec du propylène glycol (40% à Zürich et 20% à Barcelone) pour les circuits HT et MT.
- L'isolation des conduites en élastomère

Les données d'impacts pour les capteurs plans vitrés, la cuve de stockage et la chaudière à gaz sont données par Ecoinvent V2.2. Le reste des éléments a été analysé matériau par matériau dans le cadre de ce projet. La conduite d'amenée du gaz au niveau du bâtiment n'est pas prise en compte, car elle est incluse dans la donnée du vecteur énergétique du gaz naturel.

### 9.5.2. Configuration 1 : Installation avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz (conf. 1)

La composition de cette configuration est schématisée dans la Figure 148. Les limites de l'installation sont montrées par le cadre rouge.

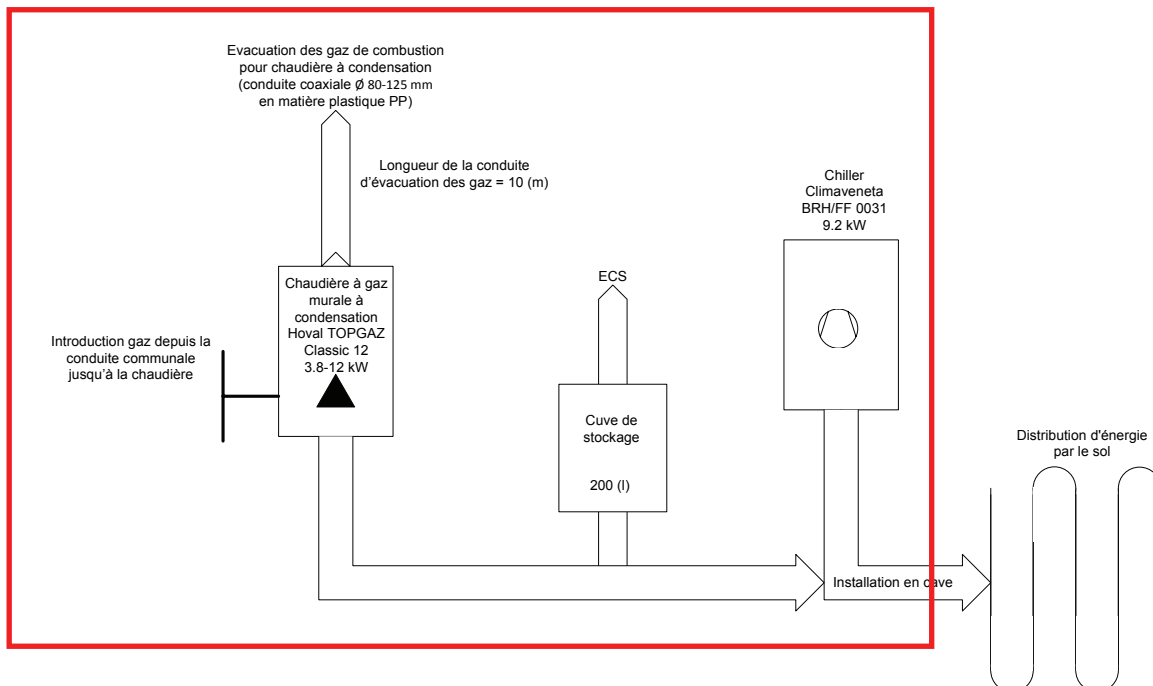


FIGURE 148 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT ET DE CHAUFFAGE CONVENTIONNEL

Cette variante est constituée des éléments suivants :

- Une chaudière à gaz murale à condensation, Hoval TopGaz Classic, 12 kW, rendement 0.9. (cf. Annexe 19)
- Une conduite d'évacuation des gaz d'échappement en polypropylène (PP)
- Un groupe frigorifique à compression, Climaveneta SPA, BRH/FF 0031, 9.2 kW, ESEER de 4.38 (cf. Annexe 20)
- Une cuve de stockage en acier de 200 litres pour l'ECS
- Des composants du réseau hydraulique (vannes, soupapes, circulateurs, raccords, etc...)
- L'isolation des conduites en élastomère

Le modèle de groupe frigorifique a été choisi en fonction de ses bonnes performances selon le standard Eurovent [23] et est disponible en Suisse.

Les données d'impacts pour le groupe frigorifique, la cuve de stockage et la chaudière à gaz sont données par Ecoinvent V2. Le reste des éléments a été analysé matériau par matériau dans le cadre de ce projet. La conduite d'amenée du gaz au niveau du bâtiment n'est pas prise en compte, car elle est incluse dans la donnée du vecteur énergétique du gaz naturel.

### 9.5.3. Configuration 2 : Installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2)

Cette configuration de pompe à chaleur réversible "air/eau" offre les trois fonctions, à savoir refroidissement, chauffage et production d'eau chaude sanitaire grâce à la récupération de l'énergie contenue dans l'air extérieur. Cette configuration est schématisée dans la Figure 149.

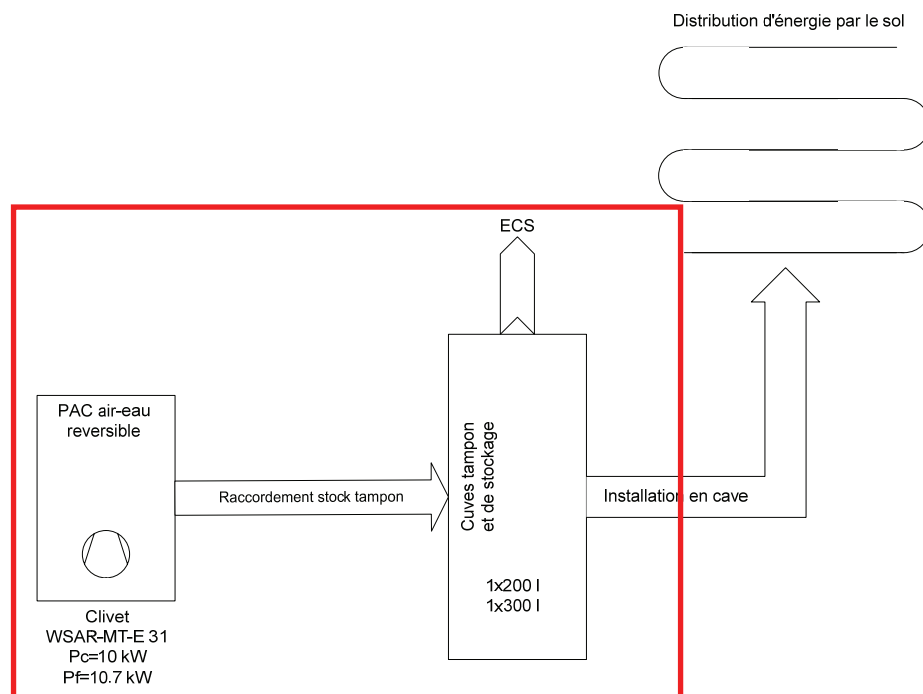


FIGURE 149 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'INSTALLATION PAC AIR/EAU RÉVERSIBLE

Cette installation comprend les éléments suivants :

- Une PAC "air/eau" réversible, Clivet SPA, WSAR-MT31, Puissance froide de 10.7 kW et puissance chaud de 10 kW, ESEER de 2.71 (cf. Annexe 21)
- Une arrivée d'air pour la PAC
- Une cuve de stockage en acier de 200 litres pour l'ECS et une cuve tampon en acier de 300 litres pour le chauffage
- Des composants du réseau hydraulique (vannes, soupapes, circulateurs, raccords, etc...)
- L'isolation des conduites en élastomère

Les données d'impacts pour la PAC et les cuves de stockage sont données par Ecoinvent V2. Le reste des éléments a été décortiqué matériau par matériau et intégré dans Eco-Bat afin de reconstituer chaque élément.

Le modèle de PAC réversible "air/eau" été retenu en fonction de ses bonnes performances selon le standard Eurovent [23] et disponible en Suisse.

Ce système est certainement le plus simple à mettre en place. Cependant quelques considérations doivent être faites :

- Le COP de la machine dépend fortement de la température de l'air extérieur qui varie considérablement pendant toute l'année. Pour tenir compte de cette dépendance, les calculs ont été effectués avec le  $COP_a$  des PAC, sur la base des COP fournis par les fabricants et des conditions mensuelles de fonctionnement.
- Les problèmes de givre sur l'évaporateur de la PAC lorsque la température de l'air extérieur diminue font chuter les performances de celle-ci. Des précautions doivent être prises lors de l'installation de ces systèmes dans des climats rigoureux comme les climats Suisse. Cette solution convient plus facilement pour des climats tempérés et méditerranéens comme à Barcelone.
- Pour ces systèmes, le COP moyen présenté par les fabricants se situe autour de 2 à 3,5 mais plus la température de l'air extérieur est basse, plus petit est ce COP. Lorsque la température extérieure descend au-dessous de  $-15^{\circ}\text{C}$ , la PAC risque de ne plus pouvoir garantir le chauffage de la maison. Il peut donc être nécessaire de prévoir un chauffage d'appoint (poêle à bois, par exemple) pour prendre le relais de la PAC lorsque la température de l'air extérieur devient trop basse ( $-15^{\circ}\text{C}$  ou moins). Nous n'en avons pas tenu compte dans cette analyse.

#### 9.5.4. Configuration 3 : Installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (avec sondes géothermiques) (conf. 3)

Cette configuration utilise une pompe à chaleur réversible "sol/eau". La source de chaleur étant l'énergie récupérée durant l'hiver dans le sol au moyen de sondes géothermiques. Cette configuration est schématisée dans la Figure 150.

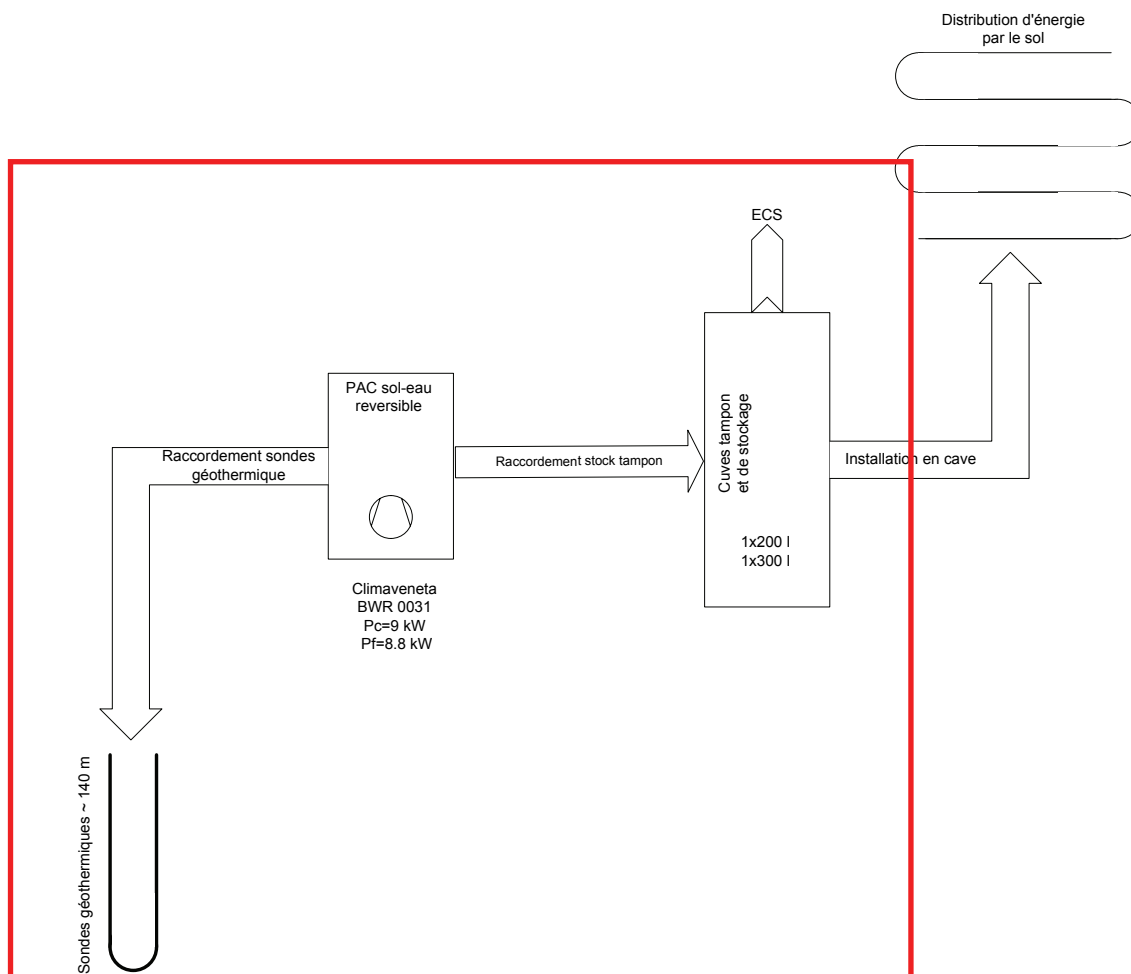


FIGURE 150 : SCHEMA SIMPLIFIE DE L'INSTALLATION PAC SOL/EAU RÉVERSIBLE

Cette installation comprend les éléments suivants :

- Une PAC "sol/eau" réversible, Climaveneta SPA, Puissance froide de 8.8 kW et puissance chaud de 9 kW, ESEER de 3.95 (cf. Annexe 22)
- Une sonde géothermique d'une longueur totale de 140 m avec glycol intégré.
- Une cuve de stockage en acier de 200 litres pour l'ECS et une cuve tampon en acier de 300 litres pour le chauffage
- Des composants du réseau hydraulique (vannes, soupapes, circulateurs, raccords, etc...)
- L'isolation des conduites en élastomère

Les données d'impacts pour la PAC, les cuves de stockage et la sonde géothermique sont données par Ecoinvent V2. Le reste des éléments a été analysé matériau par matériau dans le cadre de ce projet.

Contrairement à la température de l'air extérieur qui fluctue fortement tout au long de l'année, celle du sol reste stable entre 10 et 15 °C en Europe centrale et du sud. C'est pourquoi les PAC "sol/eau" présentent des COP supérieurs à ceux des PAC "air/eau". Pour les premières, les valeurs moyennes avancées par les fabricants sont de l'ordre de 3.5 à 4.

## 9.6. Analyse énergétique des différentes configurations

### 9.6.1. Configurations avec chaudière (réf. et conf. 1)

Dans les configurations avec chaudière, la consommation annuelle de gaz est définie par :

$$Q_{\text{gaz}}^{\text{annuelle}} = \frac{Q_{\text{gaz}}^{\text{Sim}}}{\eta_{\text{chaudière}}} \quad (4)$$

Avec

$Q_{\text{gaz}}$  : énergie finale gaz annuelle [kWh]

$Q_{\text{gaz}}^{\text{Sim}}$  : énergie utile gaz annuelle obtenu par simulations [kWh]

$\eta_{\text{chaudière}}$  : rendement de la chaudière [-], (ici considéré à 0.9)

### 9.6.2. Configuration avec groupe frigorifique (conf. 1)

Pour le système conventionnel de refroidissement, la consommation électrique annuelle est calculée de façon identique que celle calculée pour une pompe à chaleur réversible, en mode refroidissement (cf. ch. 9.6.3).

### 9.6.3. Configurations avec pompe à chaleur (conf. 2 et conf. 3)

L'efficacité d'une PAC fonctionnant en mode chauffage/ECS s'exprime au moyen du coefficient de performance (COP) qui traduit le rapport entre l'énergie fournie en chauffage/ECS et l'énergie électrique totale consommée par la PAC. Sur les PAC réversibles, l'équivalent du COP pour la production froide, est le coefficient d'efficacité énergétique (EER). Plus l'écart entre la température du milieu où est prélevée la chaleur et la température de consigne du chauffage/ECS/refroidissement est important, moins performant est le système.

Le COP/EER couramment annoncé par les fabricants est mesuré suivant la norme européenne NF EN 14511 [24] pour des valeurs ponctuelles de fonctionnement selon le type de PAC. Cette performance, dite instantanée, est utile pour comparer entre elles les PAC de même type mais, en revanche, est insuffisante pour comparer différents types de PAC et pour connaître les performances moyennes obtenues en conditions réelles de fonctionnement.

Afin de comparer les performances des différentes configurations et calculer la consommation annuelle d'énergie électrique en mode refroidissement, il faut utiliser l'efficacité saisonnière (ESEER), un équivalent du  $\text{COP}_{\text{annuel}}$  qui est mesuré par le fabricant et qui traduit la performance énergétique moyenne annuelle à charge partielle à partir de quatre conditions de fonctionnement définies par Eurovent [23]. La consommation annuelle d'énergie électrique en mode refroidissement est donc obtenue par :

$$E_{\text{annuelle}}^{\text{refroid}} = \frac{Q_{\text{annuelle}}^{\text{refroid}}}{\text{ESEER}} \quad (5)$$

Avec

$E_{\text{annuelle}}^{\text{refroid}}$  : énergie électrique moyenne annuelle pour le refroidissement [kWh]

$Q_{\text{annuelle}}^{\text{refroid}}$  : énergie thermique moyenne annuelle de refroidissement [kWh]

Par contre, en mode chauffage/ECS, le  $COP_{\text{annuel}}$  n'est pas disponible chez les fabricants et nous avons calculé la consommation électrique moyenne annuelle de notre système à partir du COP moyen mensuel et du rendement exergetique, définis par :

$$\eta_{\text{exer}} = COP_{\text{fabricant}} \cdot \eta_{\text{Carnot}} \quad \text{et} \quad \eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_{\text{chaude}} - T_{\text{froide}}}{T_{\text{chaude}}} \quad (6)$$

$$COP_{\text{mensuel}} = \frac{\eta_{\text{exer}}}{\eta_{\text{Carnot}}^{\text{mensuel}}} \quad \text{et} \quad COP_{\text{mensuel}} = \frac{Q_{\text{utile}}^{\text{mensuel}}}{E_{\text{elec}}^{\text{mensuel}}} \quad (7)$$

Avec :

- $COP$  : coefficient de performance [-]  
 $Q$  : énergie thermique moyenne utile [kWh] – soit de chauffage ou ECS  
 $E_{\text{elec}}$  : énergie électrique moyenne utile [kWh]  
 $\eta_{\text{exer}}$  : rendement exergetique [-]  
 $\eta_{\text{Carnot}}$  : rendement idéal de Carnot [-]  
 $T_{\text{chaude}}$  : température moyenne de la source chaude [°C]  
 $T_{\text{froide}}$  : température moyenne de la source froide [°C]

Le rendement exergetique de la PAC obtenu sur la base des données des fabricants, permet de calculer mensuellement le rapport entre l'énergie utile produite et l'énergie électrique consommée ( $COP_{\text{mensuel}}$ ) en mode chauffage/ECS. La consommation électrique moyenne annuelle de notre système est donc définie par :

$$E_{\text{elec}}^{\text{annuel}} = \sum_{i=1}^{12} E_{\text{elec}}^{i(\text{mensuel})} \quad (8)$$

Les valeurs obtenues pour chaque mode d'utilisation, permettent, par la suite, le calcul du coefficient de performance annuel qui est le rapport de l'énergie utile produite en une année sur l'énergie électrique consommée par la PAC, défini par :

$$COP_{\text{annuel}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{\text{utile}}^{i(\text{mensuel})}}{E_{\text{elec}}^{\text{annuel}}} \quad (9)$$

Il est ainsi tenu compte de la variabilité des conditions d'utilisation.

Un  $COP_{\text{annuel}}$  est donc calculé, qui tient compte du chauffage et de l'ECS, selon les différents niveaux de températures des sources chaudes et froides définies mensuellement sur la base des simulations numériques.

Le Tableau 20 présente pour les deux climats et les deux types d'affectation du bâtiment les  $COP_{\text{annuel}}$  obtenus.

$COP_{\text{annuel}}$	Zürich	Barcelone
<i>Maison familiale avec PAC "air/eau"</i>	2.59	2.55
<i>Bureau avec PAC "air/eau"</i>	2.76	2.40
<i>Maison familiale avec PAC "sol/eau"</i>	3.04	2.28
<i>Bureau avec PAC "sol/ea"u</i>	3.35	2.19

TABLEAU 20 : COP ANNUEL POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS CALCULE POUR CHAQUE CONFIGURATION  
Signalons que les valeurs de  $COP_{\text{annuel}}$  données pour la PAC "air/eau" à Zürich ont été calculées en prenant en compte l'énergie supplémentaire pour le dégivrage, soit 10% de l'énergie totale utilisée (chauffage + ECS).

#### 9.6.4. Résultats de l'analyse énergétique

Pour chaque installation, les consommations énergétiques en chauffage, ECS et refroidissement ont été définies sur la base des simulations de la machine Sortech présentées au chapitre 8. Il a été ainsi possible de calculer les consommations d'énergie finale pour l'électricité et le gaz selon chaque configuration. Ensuite, ces valeurs ont été converties en énergie primaire par le biais des facteurs CED de chaque vecteur énergétique. Le coefficient de conversion pour l'électricité varie d'un pays à l'autre, mais pas celui du gaz qui est une donnée européenne. Ils ont été tirés d'Ecoinvent V2.2 et sont présentés dans le Tableau 21 :

<b>Coefficient de conversion énergie finale → énergie primaire</b>	<b>Suisse</b>	<b>Espagne</b>
<i>Électrique</i>	0.33	0.30
<i>Gaz</i>	0.80	0.80

TABLEAU 21 : COEFFICIENTS DE CONVERSION DE L'ENERGIE PRIMAIRE EN ENERGIE FINALE POUR LA SUISSE ET L'ESPAGNE, BASE SUR LE CED [21]

Les valeurs de CED de l'électricité tiennent compte pour l'électricité de la production du pays, des importations et exportations, des pertes dans le réseau et de la transformation de haute à basse tension.

Pour la consommation du gaz naturel pour la partie chauffage, les données proviennent de la même source pour les deux pays. En effet, les données connues n'existent que pour une moyenne européenne.

A partir des consommations d'énergie et des facteurs CED, il est possible d'estimer l'économie en énergie primaire des différentes configurations par rapport au système de refroidissement et chauffage conventionnel (conf. 1).



Le Tableau 22 présente les différents éléments pris en compte pour l'analyse énergétique primaire de chaque installation.

Réf.		Conf. 1		Conf. 2	Conf. 3
Machine Sortech et chauffage à gaz		Refroidissement par compressions et chauffage à gaz		PAC air/eau réversible	PAC «sol/eau» réversible
Énergie					
Électrique	Gaz	Électrique	Gaz	Électrique	
Circulateurs Sor- tech	Chaudière	Groupe frigori- fique	Chaudière	PAC ECS	
Circulateur solaire				PAC chauffage	
Machine Sortech				PAC refroidissement	
Recooler					Pompe sonde géother- mique

TABEAU 22 : ELEMENTS PRIS EN COMPTE DANS L'ANALYSE ENERGETQUE DES CONFIGURATIONS

Les Tableau 23 et Tableau 24 résument les résultats obtenus pour chaque configuration à Zürich et respectivement à Barcelone.

Installation	Zürich							
	Bureaux				Maison familiale			
	Réf.	Conf. 1	Conf. 2	Conf. 3	Réf.	Conf. 1	Conf. 2	Conf. 3
<b>Energie finale [kWh]</b>								
Électrique chauffage+ECS	-	-	1694	1395	-	-	2587	2202
Électrique refroidissement	362	567	1030	706	169	279	507	348
Gaz chauffage+ECS	3771	6549	-	-	4437	8986	-	-
<b>Énergie primaire [kWh]</b>								
Électrique chauffage+ECS	-	-	5133	4229	-	-	7841	6674
Électrique refroidissement	1098	1719	3120	2141	513	846	1537	1054
Gaz chauffage+ECS	4713	8186	-	-	5547	11232	-	-
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	5811	9905	8253	6518	6060	12079	9377	7791
<b>Économie en énergie primaire [%]<sup>2</sup></b>								
Chauffage + ECS	42	-	37	48	51	-	30	41
Refroidissement	36	-	-82	-25	39	-	-82	-25
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	41	-	17	34	50	-	22	35

<sup>1</sup> pour la conf. 3, cette valeur prend en compte l'énergie du circulateur de la sonde géothermique

<sup>2</sup> par rapport à la conf. 1 (système conventionnel chaudière + groupe de refroidissement)

TABEAU 23 : RESUME DES ENERGIES POUR CHAQUE CONFIGURATION, ZÜRICH

	Barcelone							
	Bureaux				Maison familiale			
Installation	Réf.	Conf. 1	Conf. 2	Conf. 3	Réf.	Conf. 1	Conf. 2	Conf. 3
<b>Energie finale [kWh]</b>								
Électrique chauffage+ECS	-	-	521	571	-	-	1247	1390
Électrique refroidissement	757	1100	1997	1370	515	719	1305	895
Gaz chauffage+ECS	162	2700	-	-	173	5033	-	-
<b>Énergie primaire [kWh]</b>								
Électrique chauffage+ECS	-	-	1738	1905	-	-	4156	4635
Électrique refroidissement	2523	3667	6658	4568	1715	2396	4350	2984
Gaz chauffage+ECS	202	3375	-	-	217	6292	-	-
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	2725	7042	8396	6822	1932	8688	8506	7854
<b>Économie en énergie primaire [%]<sup>2</sup></b>								
Chauffage + ECS	94	-	48	44	97	-	34	26
Refroidissement	31	-	-82	-25	28	-	-82	-25
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	61	-	-19	3	78	-	2	10

<sup>1</sup> pour la conf. 3, cette valeur prend en compte l'énergie du circulateur de la sonde géothermique

<sup>2</sup> par rapport à la conf. 1 (système conventionnel chaudière + groupe de refroidissement)

TABLEAU 24 : RESUME DES ENERGIES POUR CHAQUE CONFIGURATION, BARCELONE

La Figure 151 résume les consommations annuelles d'énergie primaire pour toutes les configurations en ne considérant que l'énergie consommée. L'analyse incluant le CED des matériaux est décrite plus loin dans le chapitre (9.7).

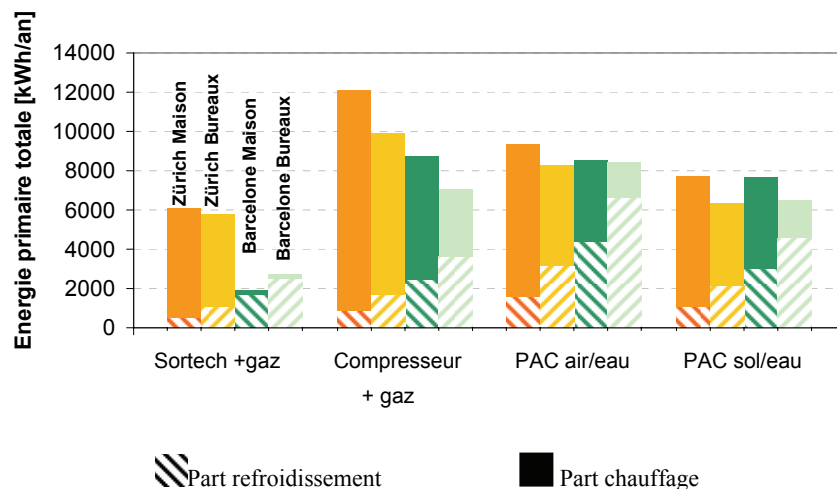


FIGURE 151 : RESUME DES ENERGIES PRIMAIRES POUR CHAQUE CONFIGURATION ET POUR LES DEUX CLIMATS (BASE SUR LE CED UNIQUEMENT DE L'ENERGIE CONSOMMEE)

Les résultats du système de référence (Sortech) présentés dans les figures précédentes sont réalisés sur la base de capteurs plans. L'utilisation de capteurs à tubes modifie légèrement les valeurs sans toutefois modifier l'analyse globale (cf. chapitre 8.3.4).

Nous constatons que la consommation d'énergie primaire est la plus favorable pour l'installation de référence, à savoir le couple Sortech+chaudière à gaz, suivi de la configuration PAC "sol/eau", puis PAC "air/eau" et enfin pour la configuration compresseur électrique + chaudière à gaz.

A Barcelone, la consommation d'énergie primaire est nettement inférieure pour la configuration de référence. Ceci est directement lié au fait que la demande en chauffage est très faible dans ce climat et que les besoins en froid sont satisfaits par l'installation de climatisation solaire.

A Zürich, nous constatons que la part chauffage est nettement plus importante que la part de refroidissement, ceci dans toutes les configurations. Cependant, l'installation solaire, (utilisée en été et en hiver) apporte un gain considérable en comparaison avec le système conventionnel (conf. 1).

Il est également intéressant de constater que la part en énergie primaire pour la configuration 1, seulement en mode refroidissement est meilleure que les deux configurations avec pompes à chaleur réversibles, ceci dans tous les climats. Pour cette configuration 1 à Barcelone, l'ajout d'une petite installation solaire pour la préparation de l'ECS serait un plus indéniable ce qui lui permettrait d'être meilleure que les configurations avec PAC réversible.

## **9.7. Ecobilan complet des variantes (Matériaux + Energie)**

Dans cette section, les comparaisons entre les différentes installations ont été effectuées en incluant la part des matériaux à la part énergie (présentée dans la section précédente).

Pour chaque configuration, une comparaison entre les deux sites géographiques et entre les deux types de bâtiments est faite.

Pour la configuration de référence (Sortech), une comparaison entre deux types de capteurs thermiques a également été faite :

- capteurs plans vitrés
- capteurs à tubes sous-vide

Enfin, des comparaisons entre les configurations pour chaque situation (sites météorologiques et types de bâtiments) permettent de comparer les configurations de manière plus détaillée.

Note : Dans ces comparaisons, les capteurs plans et à tubes ne vont pas produire exactement la même quantité d'énergie. Les résultats montrent que la différence de production de froid entre les deux types de capteurs est de l'ordre de 10%. Ainsi, nous pouvons estimer que durant la période estivale, le confort thermique sera proche avec les deux types de capteurs. Ainsi en exprimant les impacts par kWh produit, l'installation qui produit le plus de froid aura des impacts un peu plus faibles, ce qui exprime également un confort estival légèrement amélioré. Cette approche est donc tout à fait acceptable dans le cadre de ce projet, et un appoint pour une production équivalente de froid en été n'est pas considéré ici. Par conséquence, l'unité fonctionnelle considérée est le kWh d'énergie chaude et froide fournie par année.

### **9.7.1. Installation de référence : Clim. solaire à adsorption avec chaudière à gaz**

La machine Sortech ACS 08 est considérée comme une boîte noire pour des raisons de confidentialité. Ces impacts ne seront pas présentés dans le détail. Les matériaux et composants de chaque groupe d'éléments ont été analysés séparément et sont montrés en bloc. Les données d'électricité consommée pour faire fonctionner les systèmes sont spécifiques à chaque pays considérés, cf. chapitre 9.6.4 (Suisse et Espagne).

### 9.7.1.1. Machine Sortech

Durant le projet, suite à la défaillance de la première machine reçue, les deux machines Sortech ont été analysées, soit :

- ACS 05 : une puissance frigorifique nominale de 5.5 kW et une masse de 290 kg
- ACS 08 : une puissance frigorifique nominale de 8 kW et une masse de 278 kg

Les composants des machines Sortech ont été triés par matériaux, mais ces derniers ne seront pas dévoilés afin de respecter la demande du fabricant. Pour ce faire, les impacts calculés seront représentés par une seule valeur, la machine étant considérée comme une boîte noire.

Les tableaux suivants donnent les impacts des matériaux des machines Sortech ACS 05 (Tableau 25) et ACS 08 (Tableau 26) exprimé en valeur absolue, par kg et par kW de froid. Les impacts de la phase d'utilisation sont donnés au chapitre 9.7.

<i>Impacts totaux de l'ACS 05</i>	<i>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq]</i>	<i>NRE [MJ-éq]</i>	<i>CED [MJ-éq]</i>	<i>ECOPOINTS [UBP]</i>
Fabrication	1'343.2	21'171	23'536	3'598'726
Transport	23.9	393	398	22'286
Elimination	20.7	12	12	16'139
<b>Total</b>	<b>1'361.9</b>	<b>21'127</b>	<b>23'456</b>	<b>3'608'651</b>

<i>Impacts par kg de l'ACS 05</i>	<i>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq/kg]</i>	<i>NRE [MJ-éq/kg]</i>	<i>CED [MJ-éq/kg]</i>	<i>ECOPOINTS [UBP/kg]</i>
Fabrication	4.63	73.0	81.2	12'409
Transport	0.08	1.4	1.4	77
Elimination	0.07	0.0	0.0	56
<b>Total</b>	<b>4.79</b>	<b>74.4</b>	<b>82.6</b>	<b>12'542</b>

<i>Impacts par kW de l'ACS 05</i>	<i>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq/kW]</i>	<i>NRE [MJ-éq/kW]</i>	<i>CED [MJ-éq/kW]</i>	<i>ECOPOINTS [UBP/kW]</i>
Fabrication	244.2	3'849.4	4'279.3	654'314
Transport	4.3	71.5	72.4	4'052
Elimination	3.8	2.2	2.3	2'934
<b>Total</b>	<b>252.3</b>	<b>3'923.0</b>	<b>4'353.9</b>	<b>661'300</b>

TABLEAU 25 : IMPACTS DE LA MACHINE SORTECH (ACS 05) TOTAUX, PAR KG DE MATERIAUX ET PAR KW DE FROID

<b>Impacts totaux de l'ACS 08</b>	<b>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq]</b>	<b>NRE [MJ-éq]</b>	<b>CED [MJ-éq]</b>	<b>ECOPOINTS [UBP]</b>
Fabrication	1'318.3	20'738	23'062	3'571'153
Transport	22.9	377	382	21'359
Elimination	20.7	12	12	16'139
<b>Total</b>	<b>1'361.9</b>	<b>21'127</b>	<b>23'456</b>	<b>3'608'651</b>

<b>Impacts par kg de l'ACS 08</b>	<b>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq/kg]</b>	<b>NRE [MJ-éq/kg]</b>	<b>CED [MJ-éq/kg]</b>	<b>ECOPOINTS [UBP/kg]</b>
Fabrication	4.74	74.6	83.0	12'846
Transport	0.08	1.4	1.4	77
Elimination	0.07	0.0	0.0	58
<b>Total</b>	<b>4.90</b>	<b>76.0</b>	<b>84.4</b>	<b>12'981</b>

<b>Impacts par kW de l'ACS 08</b>	<b>GWP [kg CO<sub>2</sub>-éq/kW]</b>	<b>NRE [MJ-éq/kW]</b>	<b>CED [MJ-éq/kW]</b>	<b>ECOPOINTS [UBP/kW]</b>
Fabrication	164.8	2'592.3	2'882.8	446'394
Transport	2.9	47.1	47.8	2'670
Elimination	2.6	1.5	1.5	2'017
<b>Total</b>	<b>170.2</b>	<b>2'640.9</b>	<b>2'932.0</b>	<b>451'081</b>

TABLEAU 26 : IMPACTS DE LA MACHINE SORTECH (ACS 08) TOTAUX, PAR KG DE MATERIAUX ET PAR KW DE FROID

Les tableaux précédents montrent que les impacts les plus importants sont générés durant la fabrication. L'élimination génère peu d'impacts car la plupart des matériaux sont des métaux, donc recyclables.

Les impacts unitaires (par kg et par kW) des deux machines sont quelques peu différents. Cela provient de la conception des deux machines qui est légèrement différente. Pour la suite de l'étude, la machine ACS08 a été utilisée.

#### 9.7.1.2. Composants de l'installation de référence

Cette section présente les impacts des différents composants de l'installation de référence (climatisation solaire à adsorption avec chaudière à gaz, cf § 9.5.1). La Figure 152 montre la contribution de chaque composant de l'installation à Zurich pour l'indicateurs GWP.

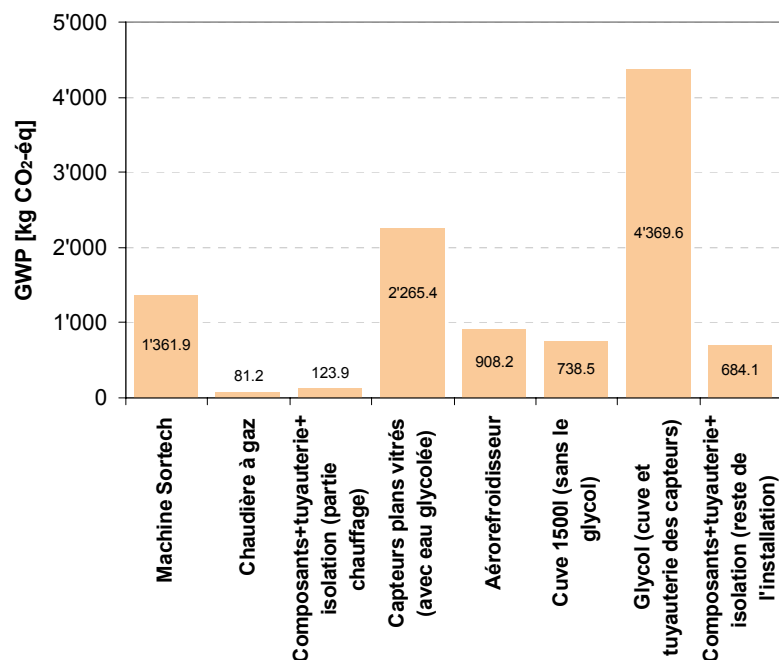


FIGURE 152 : IMPACTS DE FABRICATION, DE TRANSPORT ET D'ELIMINATION DES ELEMENTS COMPOSANT L'INSTALLATION DE REFERENCE A ZÜRICH POUR L'INDICATEUR DE GAZ A EFFET DE SERRE

Le glycol (mélange 40% glycol + 60% eau) génère le plus d'impact car il se trouve en grande quantité dans la cuve ainsi que dans le réseau hydraulique menant aux capteurs solaires. Viennent ensuite les capteurs solaires puis la machine Sortech. Pour les autres indicateurs, présentés en Annexe 23, la situation est similaire.

La masse non-négligeable des matériaux composants les capteurs solaires (plans et à tubes) engendre un grand impact sur l'installation.

La même analyse est faite à Barcelone en tenant compte du taux de glycol à 20%. Etant donné que le glycol est très impactant, les impacts baissent de moitié pour cet élément. La Figure 153 donne les résultats sur l'ensemble du cycle de vie à Barcelone.

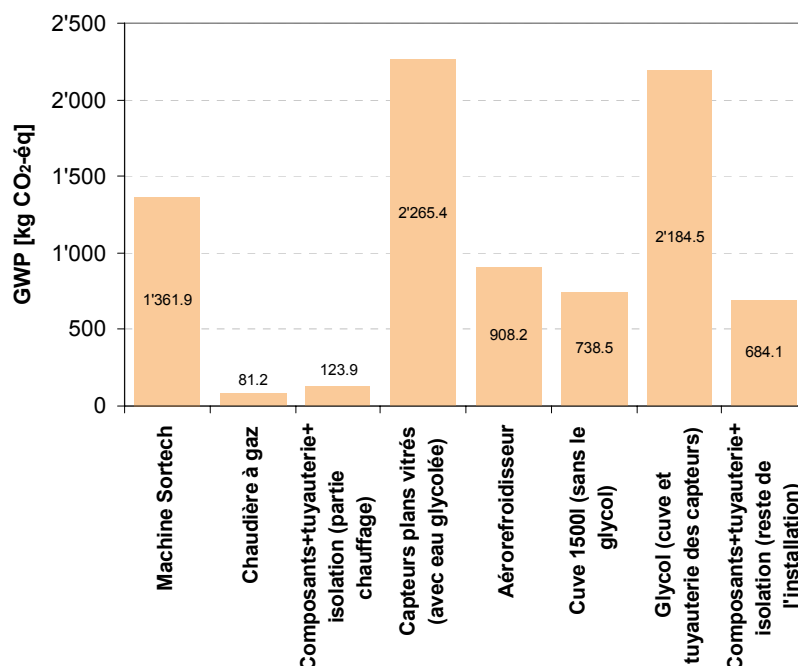


FIGURE 153 : IMPACTS DE FABRICATION, DE TRANSPORT ET D'ELIMINATION DES ELEMENTS COMPOSANT L'INSTALLATION DE REFERENCE A BARCELONE POUR L'INDICATEUR DE GAZ A EFFET DE SERRE

Au niveau du GWP, ce sont les capteurs qui deviennent les plus impactant. Pour les indicateurs d'énergie primaire (NRE et CED), les résultats restent similaires qu'à Zürich (cf. Annexe 24).

### 9.7.1.3. Influence de la durée de vie de l'installation

La durée de vie a un effet non négligeable sur les impacts dus aux matériaux de construction. La Figure 154 montre les résultats des impacts des matériaux de la configuration de référence avec des capteurs plans vitrés en considérant trois durées de vie différentes dans le cas du GWP, (impacts rapportés à l'année), mais les conclusions sont les mêmes pour les autres indicateurs.

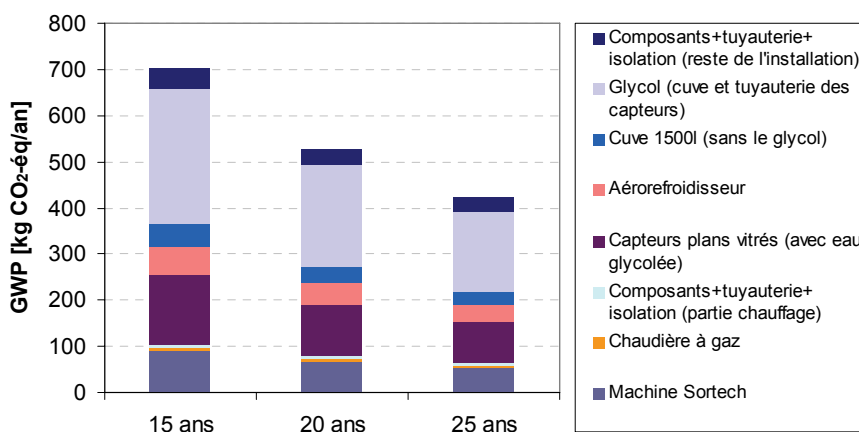


FIGURE 154 : IMPACTS GWP PAR ANNEE DES MATERIAUX POUR LA CONFIGURATION DE REFERENCE A ZÜRICH AVEC DES CAPTEURS PLANS VITRES POUR TROIS DUREES DE VIE DIFFERENTES

Plus la durée de vie est courte, plus les impacts des matériaux prennent de l'importance rapporté par année. Ceci montre un réel intérêt à avoir des machines qui soient fiables avec une longue durée de vie. Il faut rappeler qu'il n'y a pas de remplacement de composants dans cette machine et que tous les éléments ont la même durée de vie.

L'Annexe 25 donne les résultats obtenus pour les trois autres indicateurs.

Le tableau suivant montre le GWP des matériaux pour l'installation à Barcelone avec des capteurs plans vitrés. La différence provient du taux de glycol dans la cuve qui est de 20% à Barcelone, alors que pour Zürich ce taux est à 40%.

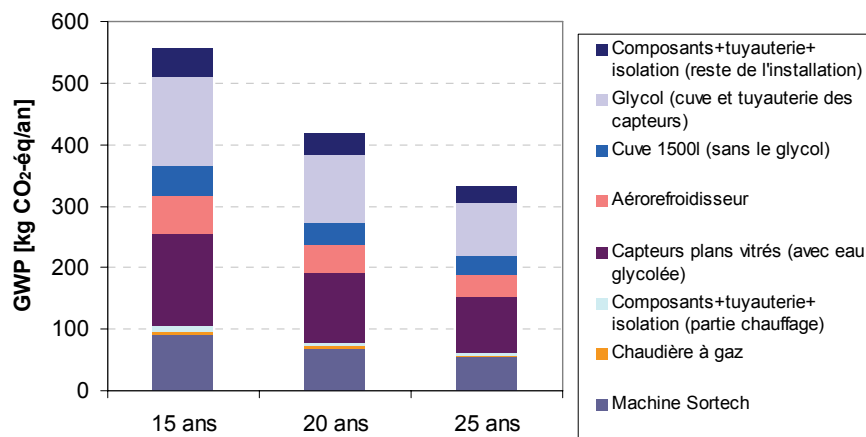


FIGURE 155 : IMPACTS GWP PAR ANNEE DES MATERIAUX POUR LA CONFIGURATION DE REFERENCE A BARCELONE AVEC DES CAPTEURS PLANS VITRES POUR TROIS DUREES DE VIE DIFFERENTES

L'Annexe 26 montre les résultats pour les trois autres indicateurs.

Pour la suite de cette étude, une durée de vie de 20 ans est retenue, car c'est celle qui semble le plus raisonnable.



#### 9.7.1.4. Influence du type de capteur installé

La Figure 156 montre pour l'installation de référence, les impacts obtenus en comparant les capteurs plans et les capteurs à tubes dans le cas de la maison familiale et du bureau, situés à Zürich. Les impacts sont divisés par l'énergie produite totale (froid, chauffage et ECS) sur la durée de vie de l'installation (20 ans) pour obtenir une valeur unitaire.

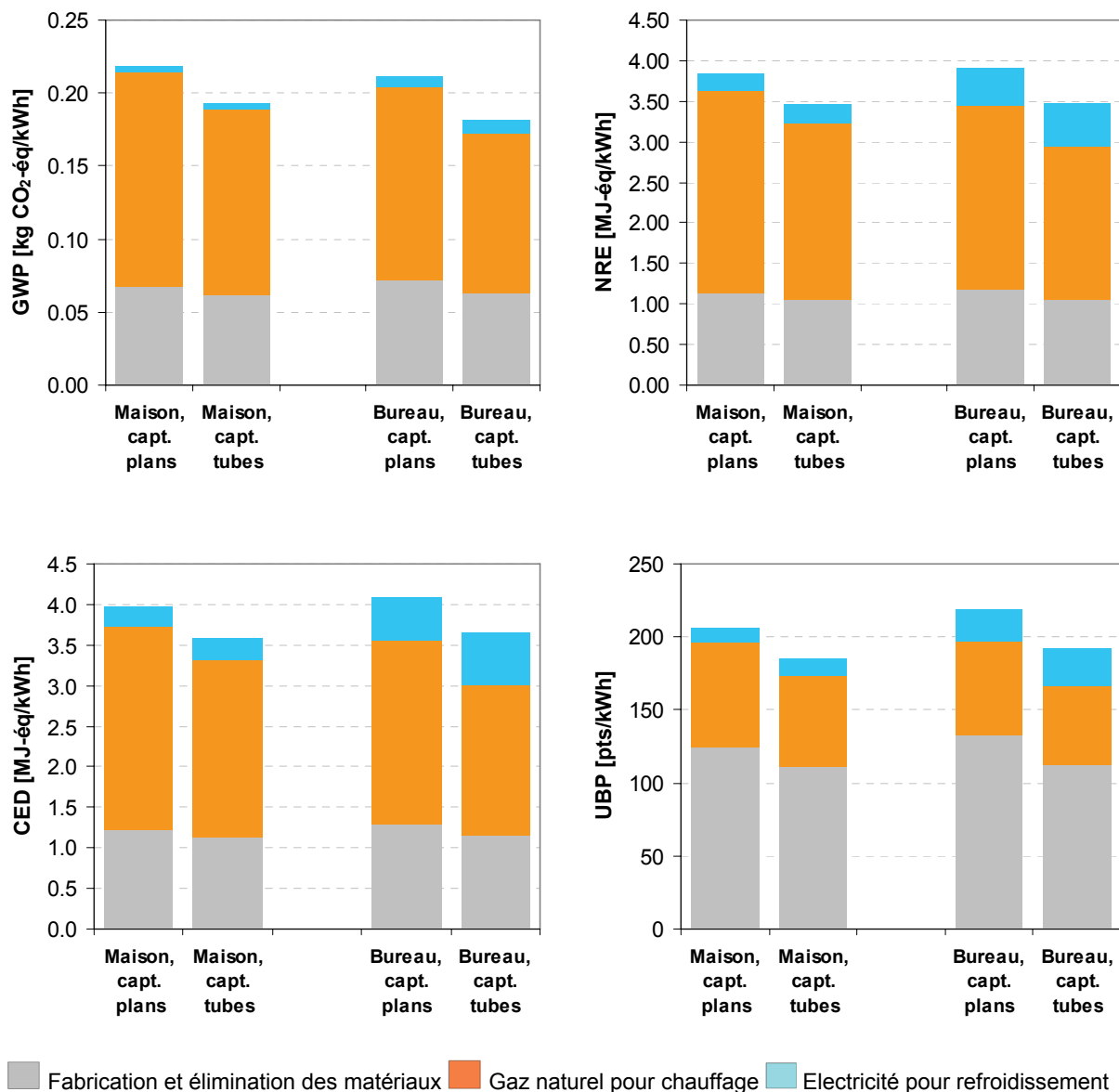


FIGURE 156 : INFLUENCE ENTRE CAPTEURS PLANS ET CAPTEURS A TUBES SUR LES IMPACTS (MATERIAUX ET ENERGIE POUR UNE DUREE DE VIE DE 20 ANS (MAISON ET BUREAU A ZÜRICH (REF 1))

Dans toutes les configurations et pour tous les indicateurs, les capteurs à tube produisent moins d'impacts sur l'environnement. Cette baisse est visible au niveau des matériaux et de l'énergie. A surface d'encombrement égale, les capteurs à tubes nécessitent moins de surface d'absorbeur et produisent plus d'énergie sur l'année pour cette utilisation.

Au niveau de l'importance des impacts entres matériaux et énergie, pour les trois premiers indicateurs, la part énergie représente les deux tiers des impacts et les matériaux le tiers restant. Pour réduire les impacts globaux de ce type d'installation, il est donc utile de travailler au niveau de la réduction des impacts de la machine et de l'amélioration de l'efficacité de la production de froid. Pour l'indicateur UBP, la part matériaux représente entre les 2/3 et les 3/4 des impacts totaux. La réduction de cet impact passera donc par une optimisation des matériaux (choix et masse).

La même analyse a été effectuée pour Barcelone et les résultats sont donnés dans la Figure 157.

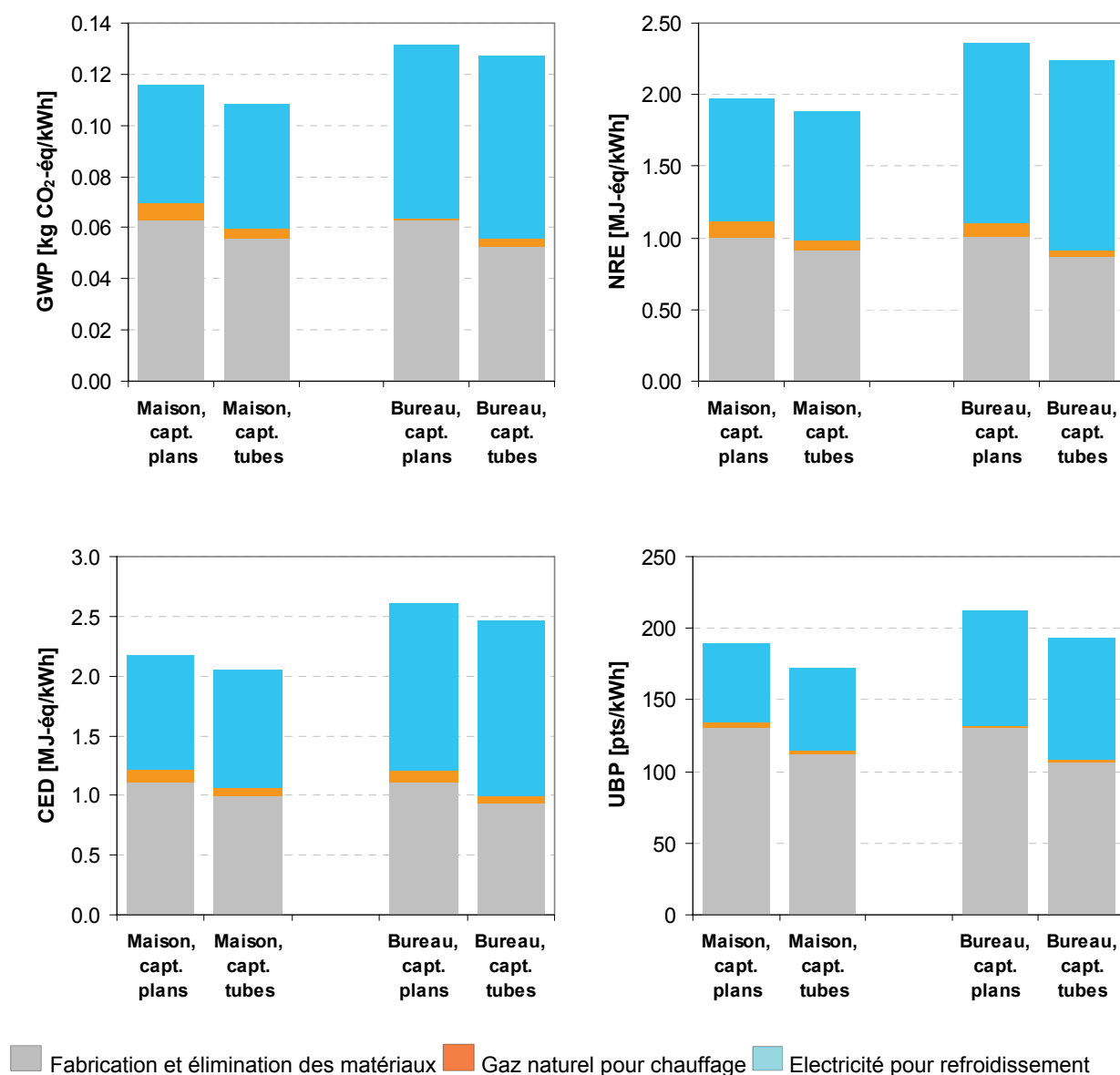


FIGURE 157 : INFLUENCE ENTRE CAPTEUR PLANS ET CAPTEUR A TUBES SUR LES IMPACTS (MATERIAUX ET ENERGIE) POUR UNE DUREE DE VIE DE 20 ANS (MAISON ET BUREAU A BARCELONE (REF 1))

Pour Barcelone, la part des matériaux représente environ 50% des impacts totaux sur la durée de vie de l'installation pour le GWP et un peu moins pour les énergies primaires. Cette différence de rapport entre Zürich et Barcelone provient du fait que :

- A Barcelone, la consommation électrique pour faire fonctionner la climatisation sera plus conséquente qu'à Zürich.
- A surface égale, les capteurs à tubes produisent plus d'énergie et donc l'appoint du chauffage à gaz est plus faible.
- Il faut moins de glycol à Barcelone qu'à Zürich.

Il est intéressant de noter que la part des impacts dû à la consommation d'électricité est importante à Barcelone. Cette part pourrait être réduite par l'utilisation d'énergie photovoltaïque, mais cette analyse sort du contexte de ce projet.

### 9.7.1.5. Influence du site géographique

La Figure 158 compare l'installation de référence pour les climats de Zürich et de Barcelone dans le cas de la maison familiale avec des capteurs plans.

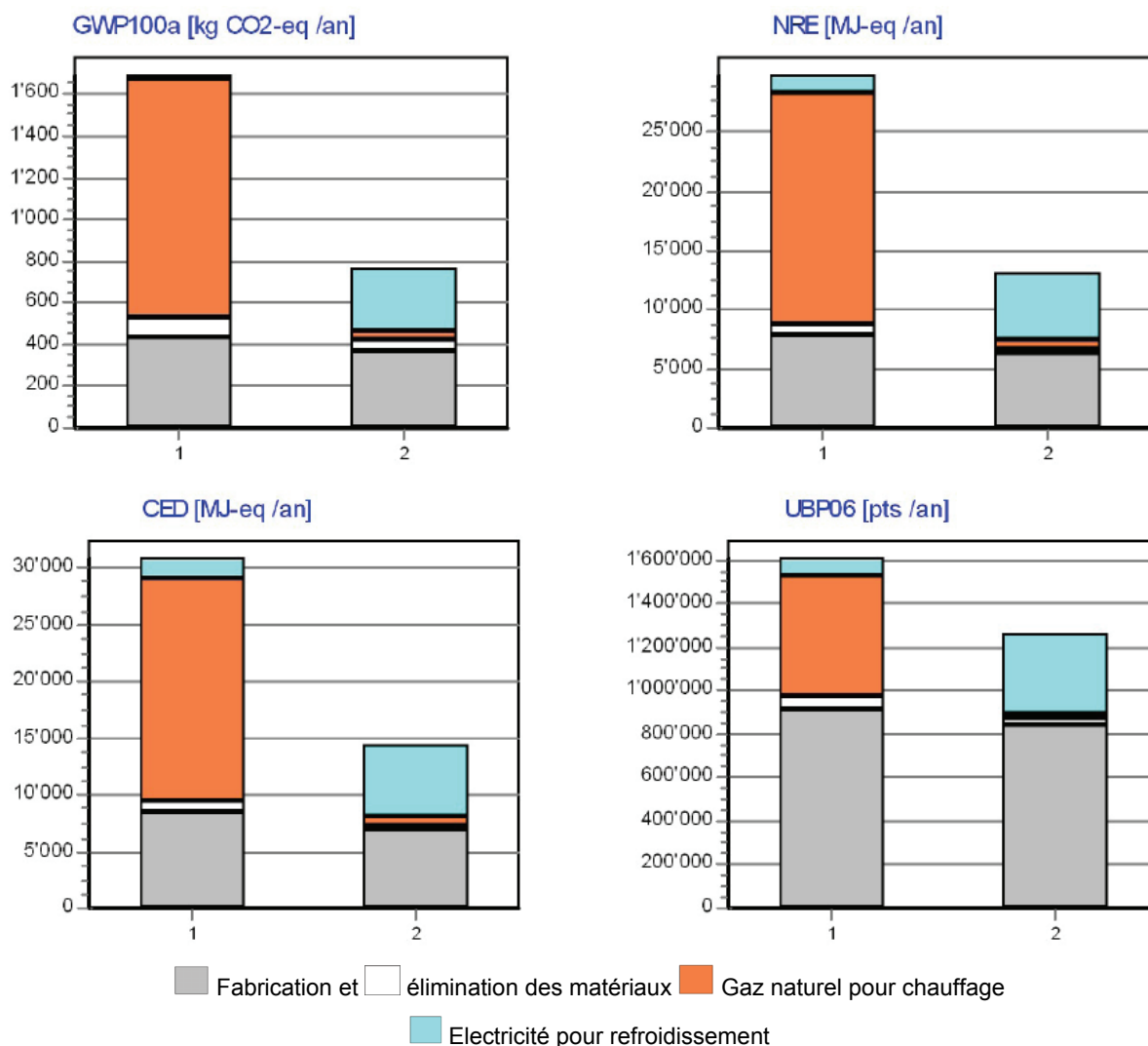


FIGURE 158 : INFLUENCE DU CLIMAT SUR LES IMPACTS (MATERIAUX ET ENERGIE)  
A ZÜRICH (1) ET BARCELONE (2) (MAISON FAMILIALE AVEC CAPTEURS PLANS (REF))

Pour rappel, les impacts des matériaux sont plus importants à Zurich car le circuit solaire contient du glycol.

Etant donné les climats, il y a une part plus importante en chauffage (gaz) et plus faible en refroidissement (électricité) à Zürich. La tendance est inversée à Barcelone.

Au total, pour le CED, NRE et GWP, les impacts sont divisés par un facteur environ deux à Barcelone par rapport à Zürich.

Il est à noter que les tendances sont identiques pour l'autre type de bâtiment (bureau) ou avec des capteurs à tubes, cf. Annexe 27 à Annexe 29.

### 9.7.2. Installation avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz (conf. 1)

Le Tableau 27 montre les contributions des différents composants et permet de constater que pour tous les indicateurs, le groupe frigorifique représente le plus d'impacts, suivi de la cuve de 200 litres.

<i>Eléments</i>	<i>GWP [kg CO<sub>2</sub>-eq/an]</i>	<i>NRE [MJ-éq/an]</i>	<i>CED [MJ-éq/an]</i>	<i>ECOPOINTS [UBP/an]</i>
Groupe frigorifique	<b>129.0</b>	<b>589.8</b>	<b>622.6</b>	<b>167'222</b>
Groupe chauffage	23.6	361.6	370.4	23'039
Cuve 200 litres	28.1	449.1	519.1	50'565
Composants+Tuyauterie+ Isolation de l'installation	4.9	73.1	81.3	14'531

TABLEAU 27 : IMPACTS PAR ANNEE DES ELEMENTS CONSITUANT LE SYSTEME CONVENTIONNEL (CONF. 1)

La Figure 159 montre la proportion entre les matériaux et le besoin d'énergie pour les quatre situations (maison, bureau / Zürich, Barcelone).

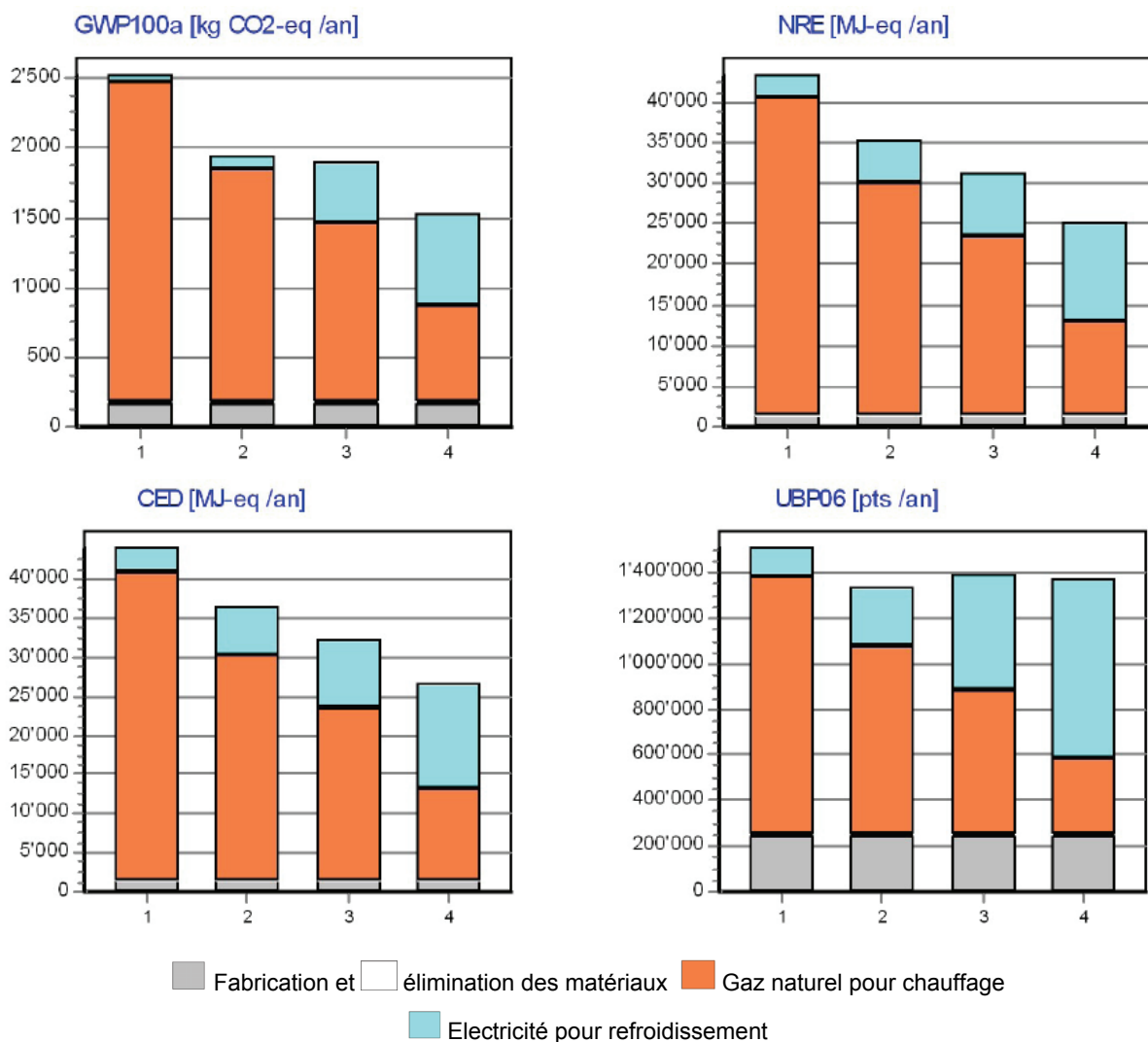


FIGURE 159 : IMPACTS DES MATERIAUX ET DE L'ENERGIE POUR LA SOLUTION COMPRESSEUR + GAZ (CONF. 1)  
 (1) ZÜRICH – MAISON (2) ZÜRICH – BUREAU  
 (3) BARCELONE – MAISON (4) BARCELONE - BUREAU

La part matériaux reste faible par rapport à la part énergie pour toutes les situations et pour tous les indicateurs. Donc, dans une optique d'amélioration, il faut travailler dans un premier temps sur une diminution des impacts liés à la consommation d'énergie. Par exemple, en remplaçant le gaz à Zürich par du pellet.

Les différents graphiques de la Figure 159 permettent de mettre en évidence les points suivants :

- A Zürich, le besoin énergétique dans le cadre d'un bureau est moins important que pour la maison. Les impacts sont donc plus faibles pour tous les indicateurs (Figure 159 point 1 vs 2). Il faut noter que pour un bureau, une partie du chauffage est produite par effet joule par les équipements électriques. Dans les années à venir, avec l'augmentation de l'efficacité énergétiques des équipements, cet apport « gratuit » devrait être réduit, mais pourrait être compensée par une augmentation des équipements électriques. Cette analyse n'a pas été effectuée car elle sort du cadre de ce projet.
- A Barcelone, la tendance est identique qu'à Zürich, tout en ayant une répartition des besoins énergétiques différente avec une contribution de la climatisation plus importante et un chauffage plus faible.

### 9.7.3. Installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2)

Le Tableau 28 montre les impacts des différents composants de l'installation. La part des matériaux due à la pompe à chaleur est la plus élevée pour le GWP et l'UBP. Pour les énergies primaires, les cuves prennent le dessus. En effet, comme il y a deux cuves, la masse devient non négligeable bien qu'elles ne fassent que 200 l et 300 l. Les Composants + Tuyauterie + Isolation de l'installation ne représentent qu'une faible partie de l'ensemble (cf. Tableau 28).

<i><b>Eléments</b></i>	<i><b>GWP</b></i> <i><b>[kg CO<sub>2</sub>-éq/an]</b></i>	<i><b>NRE</b></i> <i><b>[MJ-éq/an]</b></i>	<i><b>CED</b></i> <i><b>[MJ-éq/an]</b></i>	<i><b>ECOPPOINTS</b></i> <i><b>[UBP/an]</b></i>
Pompe à chaleur air/eau	<b>160.8</b>	735.2	776.0	<b>208'426</b>
Cuves 200 et 300 litres	57.4	<b>917.4</b>	<b>1'060.5</b>	103'297
Composants+Tuyauterie+ Isolation de l'installation	5.0	74.4	81.1	14'777

TABLEAU 28 : IMPACTS PAR ANNEE DES ELEMENTS CONSITUANT L'INSTALLATION AVEC PAC AIR/EAU  
(CONF. 2)

La Figure 160 montre la proportion entre les matériaux et le besoin d'énergie dans les quatre situations (maison, bureau / Zürich, Barcelone). La part matériaux reste bien plus faible dans toutes les situations et pour tous les indicateurs. Tout comme pour le système conventionnel, il est nécessaire de trouver des solutions pour baisser les impacts dus à l'énergie.

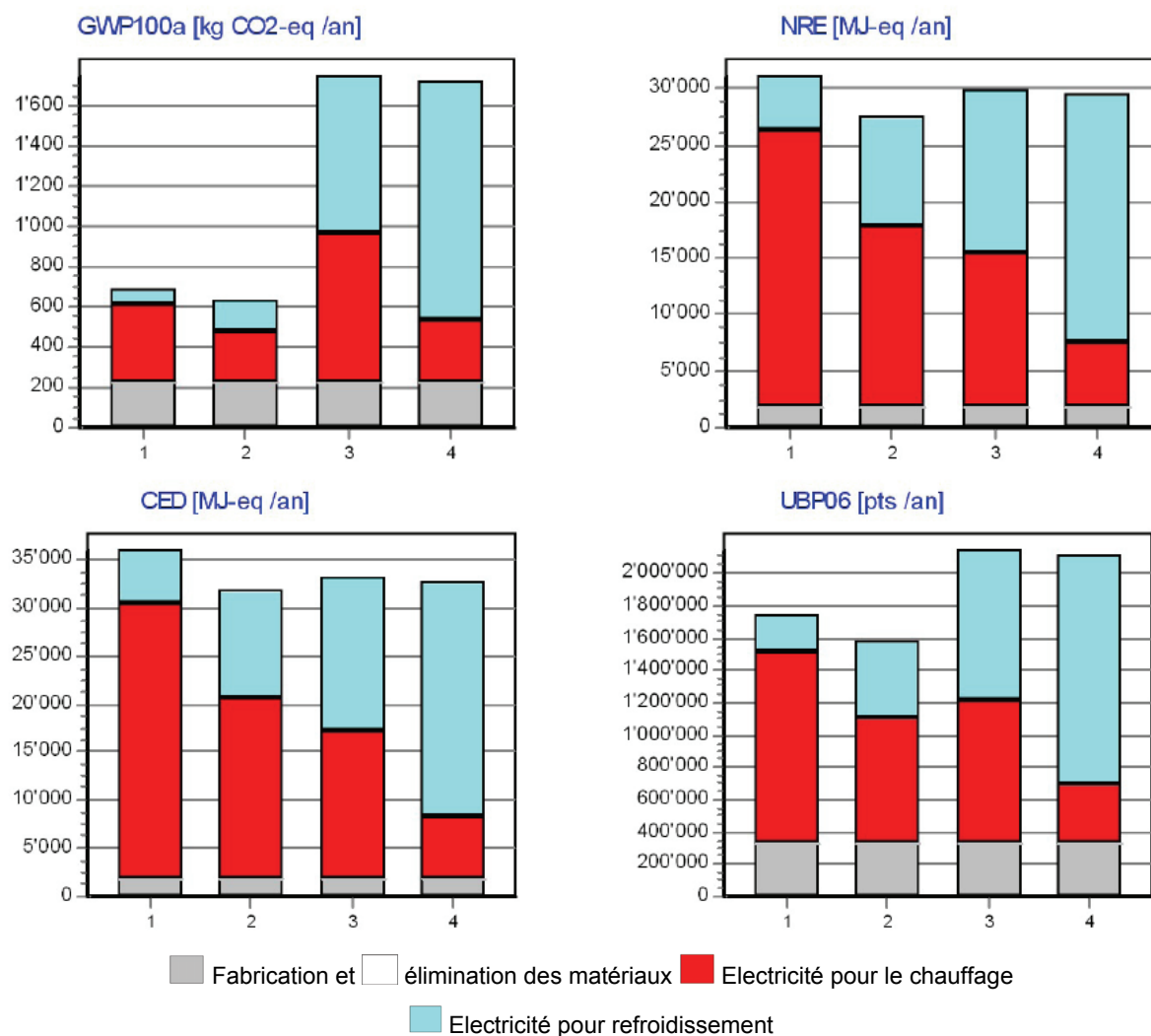


FIGURE 160 : IMPACTS DES MATERIAUX ET DE L'ENERGIE POUR LA PAC AIR/EAU (CONF. 2)

- (1) ZÜRICH – MAISON
- (2) ZÜRICH – BUREAU
- (3) BARCELONE – MAISON
- (4) BARCELONE - BUREAU

Les différents graphiques de la Figure 160 permettent de mettre en évidence les points suivants :

- A Zürich, et pour chaque indicateur, la variante bureau provoque moins d'impacts que la variante maison. La part de l'électricité pour le chauffage reste prédominante pour la maison (Figure 160 point 1 vs 2).
- A Barcelone, la différence entre les deux bâtiments est faible. On remarque toujours le besoin de plus refroidir et de moins chauffer dans le bureau que dans la maison (Figure 160 point 3 vs 4). Les impacts pourraient être réduits en recourant à une consommation d'électricité renouvelable.
- Pour la maison familiale, les impacts totaux (matériaux + énergie) sont plus faibles à Zürich qu'à Barcelone pour le GWP. C'est l'inverse pour le CED et le NRE. Ceci est dû à la part importante du chauffage pour Zürich. Tandis que pour le bureau, les impacts restent plus faibles à Zürich pour tous les indicateurs. Le besoin de chauffer à Zürich et de refroidir à Barcelone reste prépondérant (Figure 160 point 1 vs 3 et point 2 vs 4).

#### 9.7.4. Installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (avec sondes géothermiques) (conf. 3)

Le tableau ci-dessous donne les valeurs d'impacts des différents constituants de l'installation. Nous constatons que la part des matériaux due à la pompe à chaleur est la plus importante pour tous les indicateurs. En effet, celle-ci inclut la PAC et la sonde géothermique de 140 m de longueur, ce qui représente une masse non négligeable de matériaux et pèse sur l'ACV (cf. Tableau 29).

<i><b>Eléments</b></i>	<i><b>GWP [kg CO2- éq/an]</b></i>	<i><b>NRE [MJ-éq/an]</b></i>	<i><b>CED [MJ-éq/an]</b></i>	<i><b>ECOPOINTS [UBP/an]</b></i>
Pompe à chaleur sol/eau	<b>218.9</b>	<b>2'786.1</b>	<b>2'837.2</b>	<b>257'792</b>
Cuves 200 et 300 litres	57.4	917.4	1'060.5	103'297
Composants+Tuyauterie+ Isolation de l'installation	7.4	112.0	123.0	25'023

TABLEAU 29 : IMPACTS PAR ANNEE DES ELEMENTS CONSTITUANT L'INSTALLATION AVEC PAC SOL/EAU (CONF. 3)

Il est à noter que pour les énergies primaires (NRE et CED), la part des matériaux est environ 4 fois plus importante pour la PAC "sol/eau" que pour la PAC "air/eau". Ceci étant dû essentiellement à la sonde géothermique, qui nécessite une grande quantité de matière plastique et d'acier et en plus, qui, lors de sa mise en œuvre nécessite des dépenses en diesel pour le forage [21].



La Figure 161 montre la proportion entre les matériaux et le besoin d'énergie dans les quatre situations (maison, bureau / Zürich, Barcelone).

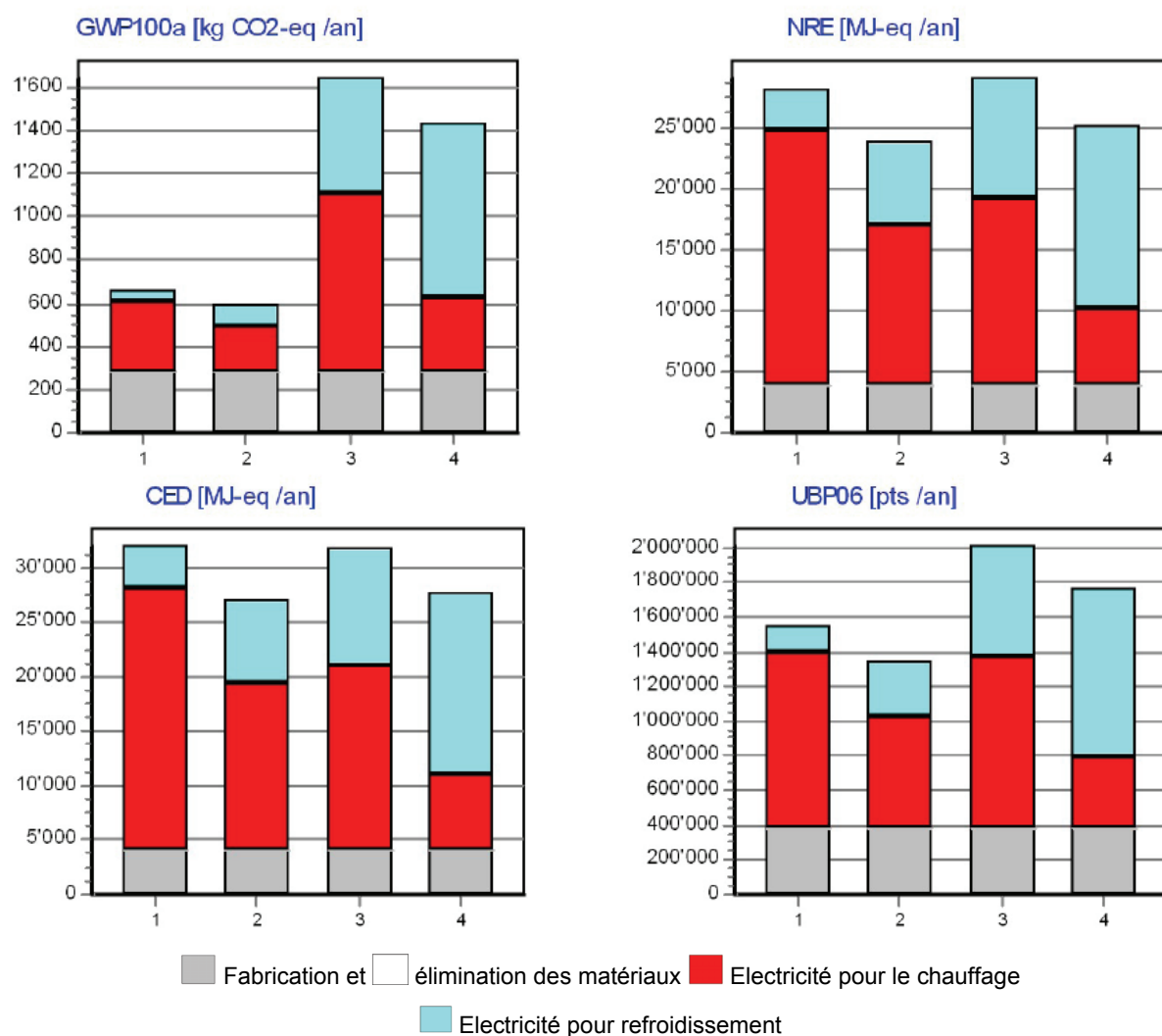


FIGURE 161 : IMPACTS DES MATERIAUX ET DEL'ENERGIE POUR LA PAC «SOL/EAU» (CONF. 3)  
 (1) ZÜRICH – MAISON  
 (2) ZÜRICH – BUREAU  
 (3) BARCELONE – MAISON  
 (4) BARCELONE – BUREAU

La part matériaux est en général faible dans toutes les configurations et pour tous les indicateurs, à l'exception de l'installation de Zürich qui présente un impact GWP important par rapport à l'impact lié aux matériaux.

Les différents graphiques de la Figure 161 permettent de mettre en évidence les points suivants :

- A Zürich, dans toutes les configurations et pour chaque indicateur, la variante bureau présente moins d'impacts que la variante maison familiale, ceci avec une constance dans les proportions. La part "électricité pour le chauffage" reste prédominante dans tous les cas. Pour le GWP, la part matériaux est équivalente à la part énergie pour le bureau et légèrement plus faible pour la maison. Pour cet indicateur, une réflexion sur l'utilisation de matériaux moins impactant serait nécessaire. Pour les autres indicateurs, la part énergie reste prépondérante (Figure 161 point 1 vs 2).
- A Barcelone, la différence entre les deux types de bâtiments est faible, mais les impacts restent préférentiels pour le bureau (Figure 161 point 3 vs 4).
- Pour un même type de bâtiment avec une PAC "sol/eau", les impacts sont plus faibles à Zürich qu'à Barcelone. Pour les indicateurs GWP et UBP, la différence est marquante. Tandis que pour les énergies primaires, la différence est plus faible. Le site de Barcelone reste moins bon pour une installation de ce type qu'à Zürich (Figure 161 point 1 vs 3 et point 2 vs 4).

### 9.7.5. Comparaison entre les configurations

Afin de rendre les résultats plus parlant, il est nécessaire de comparer toutes les variantes entre elles. Les comparaisons suivantes seront faites :

- Zürich / Maison familiale (cf. ch. 9.7.5.1)
- Zürich / Bureau (cf. ch. 9.7.5.2)
- Barcelone / Maison familiale (cf. ch. 9.7.5.4)
- Barcelone / Bureau (cf. ch. 9.7.5.5)

#### 9.7.5.1. Zürich / Maison familiale

Les graphiques de la Figure 162 montrent les résultats obtenus dans le cas de la maison familiale à Zürich. La comparaison est uniquement faite avec l'installation de référence comprenant les capteurs plans.

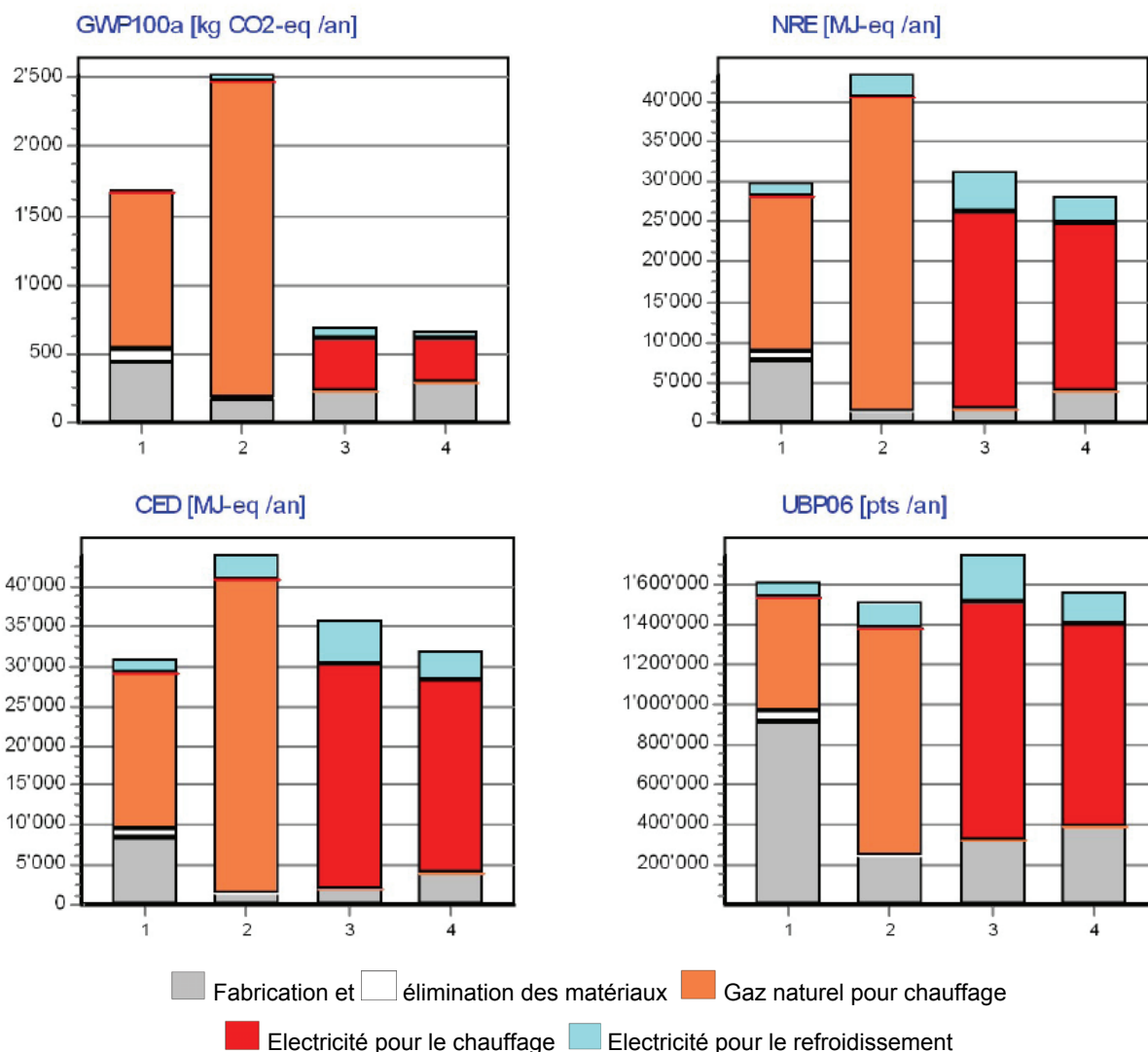


FIGURE 162 : COMPARAISON DES VARIANTES POUR UNE MAISON FAMILIALE A ZÜRICH  
 (1) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (REF\_PLANS) + GAZ NATUREL  
 (2) SYSTEME CONVENTIONNEL (GAZ + COMPRESSEUR : CONF. 1)  
 (3) PAC AIR/EAU (CONF. 2)  
 (4) PAC SOL/EAU (CONF. 3)

La Figure 162 permet de faire les remarques suivantes :

- GWP total (énergie + matériaux) : nous constatons que les solutions avec PAC sont de loin les plus intéressantes. Ceci s'explique car, les deux autres solutions utilisent du gaz, alors que les PAC utilisent de l'électricité qui a un GWP faible en Suisse. La solution compresseur +gaz étant la moins bonne solution de toutes.
- CED, NRE total (énergie + matériaux) : Pour ces indicateurs, la meilleure solution est la PAC "sol/eau". En seconde position, se trouvent pratiquement ex-eco, la climatisation solaire et la PAC "air/eau". La solution "compresseur +gaz" étant la moins bonne solution.
- Concernant les matériaux, nous constatons que l'installation de climatisation solaire (référence) est nettement en-dessus des autres installations. Ceci vient du fait que cette installation comprend bien plus d'éléments (machine Sortech, chaudière et installation solaire), la masse totale de matériaux est donc plus importante. Ensuite, nous trouvons la configuration avec la PAC "sol/eau", car les 140 m de sonde géothermique jouent un rôle non-négligeable dans le bilan de matière. Les impacts de la configuration PAC "air/eau" et du système "compresseur +gaz" sont pratiquement équivalents. Cette analyse sur les matériaux est identique pour les trois autres chapitres ci-dessous à savoir Zürich/bureau, Barcelone/maison familiale et bureau. Pour cette raison, elle ne sera pas répétée.
- En hiver, l'analyse énergétique permet de montrer que les impacts de l'appoint en gaz sont sensiblement diminués grâce aux capteurs solaires installés sur l'installation de référence comparativement à l'installation conventionnelle (conf. 1). L'installation de capteurs solaires sur cette variante permettrait de baisser les impacts de chauffage et d'eau chaude sanitaire en hiver. Cette remarque est valable pour toutes les autres comparaisons.
- La différence aux niveaux des impacts de l'énergie entre les deux installations avec pompes à chaleur provient du COP respectif de chaque machine et qui est moins élevé pour la variante "air/eau".

Il est très intéressant de remarquer que les impacts liés au besoin énergétique pour l'installation de climatisation solaire pour les indicateurs d'énergie primaire et d'UBP sont plus que concurrentiels par rapport aux autres configurations. Malheureusement, c'est la partie matériaux qui pèse l'installation de référence. Un travail devrait être fait, sur les choix des matériaux et le dimensionnement des composants afin de rendre la climatisation encore plus concurrentielle par rapport aux variantes avec pompe à chaleur.

### 9.7.5.2. Zürich / Maison familiale → avec pellets

Une comparaison a été faite en substituant le gaz par une chaudière à pellets. La figure suivante montre les impacts pour la maison familiale à Zürich avec des capteurs plans.

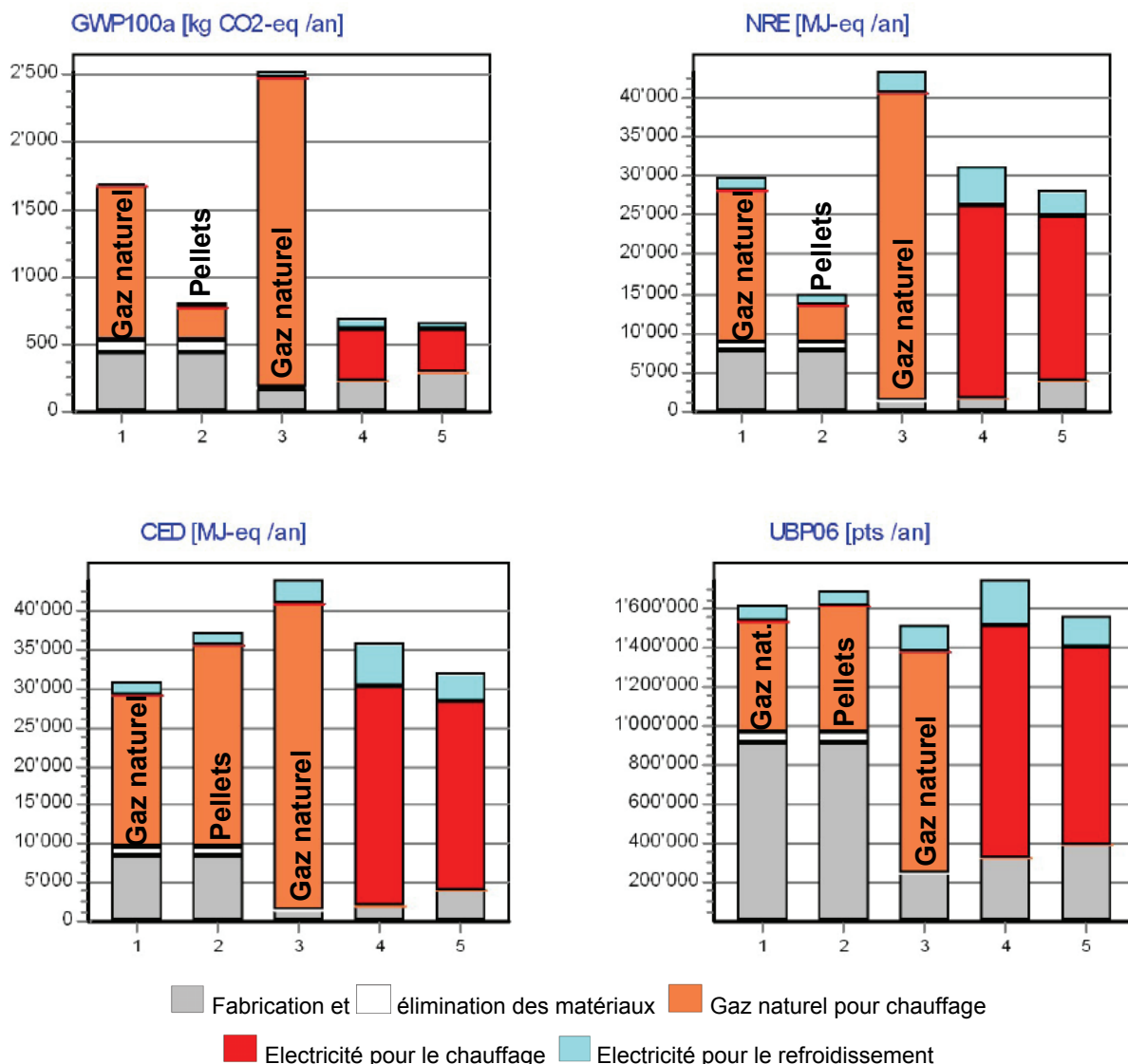


FIGURE 163 : COMPARAISON DES VARIANTES POUR UNE MAISON FAMILIALE A ZÜRICH  
 (1) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (REF\_PLANS) + GAZ NATUREL  
 (2) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (RÉF\_PLANS) + PELLETS  
 (3) SYSTEME CONVENTIONNEL (GAZ + COMPRESSEUR : CONF. 1)  
 (4) PAC AIR/EAU (CONF. 2)  
 (5) PAC SOL/EAU (CONF. 3)

Les pellets permettent de faire baisser les impacts de plus de 75% de la part chauffage et engendreront une baisse totale de 52% sur le GWP et de 49% sur le NRE par rapport au gaz naturel.

La part de CED est par contre plus importante, car elle tient compte du pouvoir calorifique du pellet en tant que biomasse, tout comme pour l'UBP.

Dans ce cas de figure l'installation avec la machine Sortech deviendrait très intéressante au niveau des impacts sur l'environnement. Car même si l'indicateur CED est moins bon, les autres indicateurs permettraient à cette solution d'être concurrentielle vis-à-vis des pompes à chaleur.

### 9.7.5.3. Zürich / Bureau

La Figure 164 présente les résultats de la comparaison des différents systèmes pour un bureau situé à Zürich.

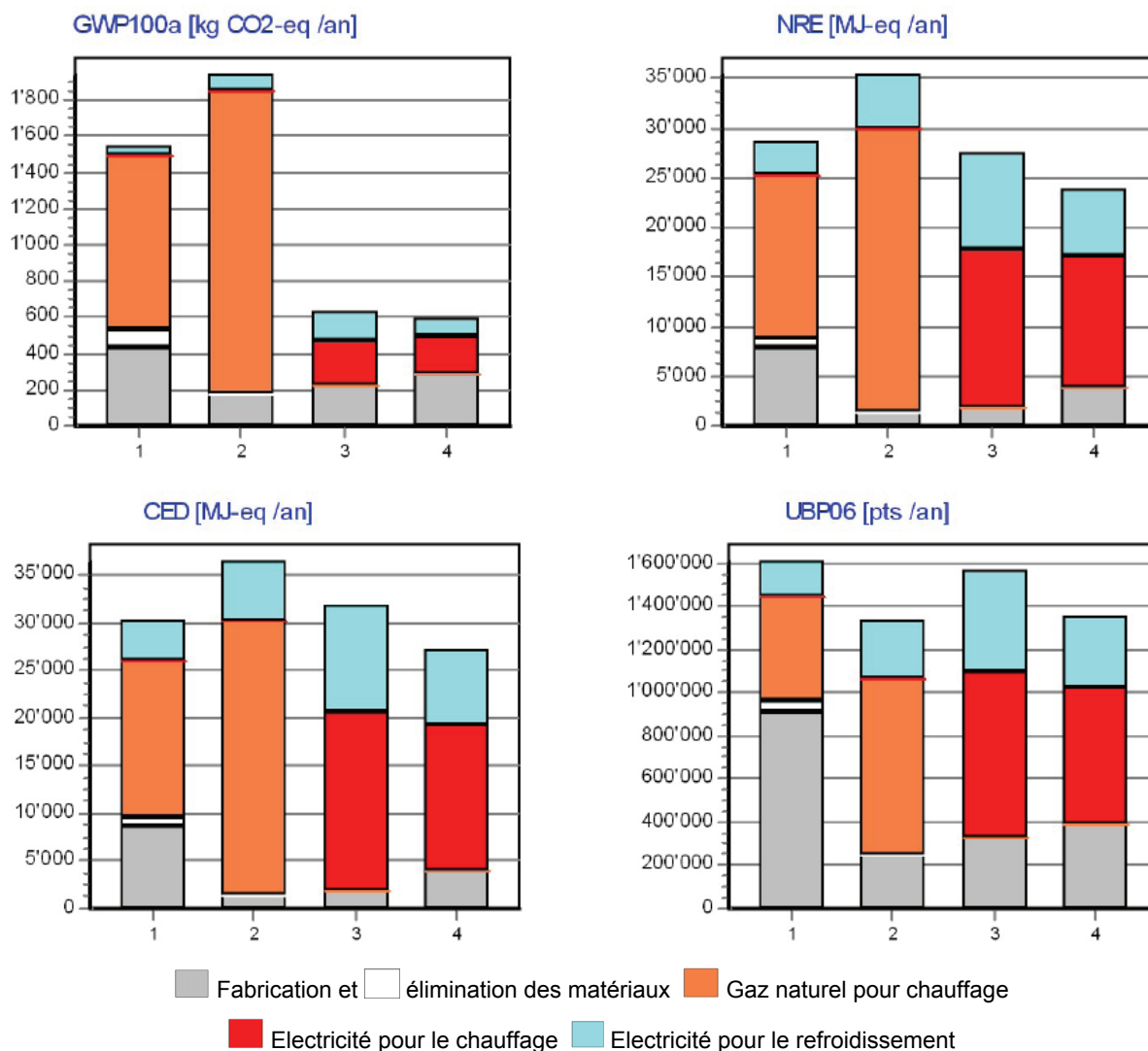


FIGURE 164 : COMPARAISON DES VARIANTES POUR UN BUREAU A ZÜRICH  
 (1) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (REF\_PLANS) + GAZ NATUREL  
 (2) SYSTEME CONVENTIONNEL (GAZ + COMPRESSEUR : CONF. 1)  
 (3) PAC AIR/EAU (CONF. 2)  
 (4) PAC SOL/EAU (CONF. 3)

GWP total (matériaux + énergie) : les résultats sont identiques à ceux obtenus pour la maison familiale. Les solutions les plus intéressantes sont les PAC avec des impacts nettement plus faibles que pour la climatisation solaire.

CED et le NRE total (matériaux + énergie) : La solution la plus intéressante est la PAC avec sonde géothermique. Pas très loin derrière, se trouvent pratiquement ex-æquo la climatisation solaire et la PAC "air/eau".

Les résultats obtenus sont très similaires à ceux de la maison familiale.

#### 9.7.5.4. Barcelone / Maison familiale

En introduction à ce paragraphe, il faut rappeler que l'Espagne a une production provenant à moitié d'énergies fossiles (principalement charbon et gaz) et un quart à base de nucléaire. Les impacts environnementaux liés à la consommation d'électricité vont être sensiblement différents que ceux obtenus pour Zurich.

Les graphiques de la Figure 165 donnent les résultats d'impacts pour les quatre systèmes.

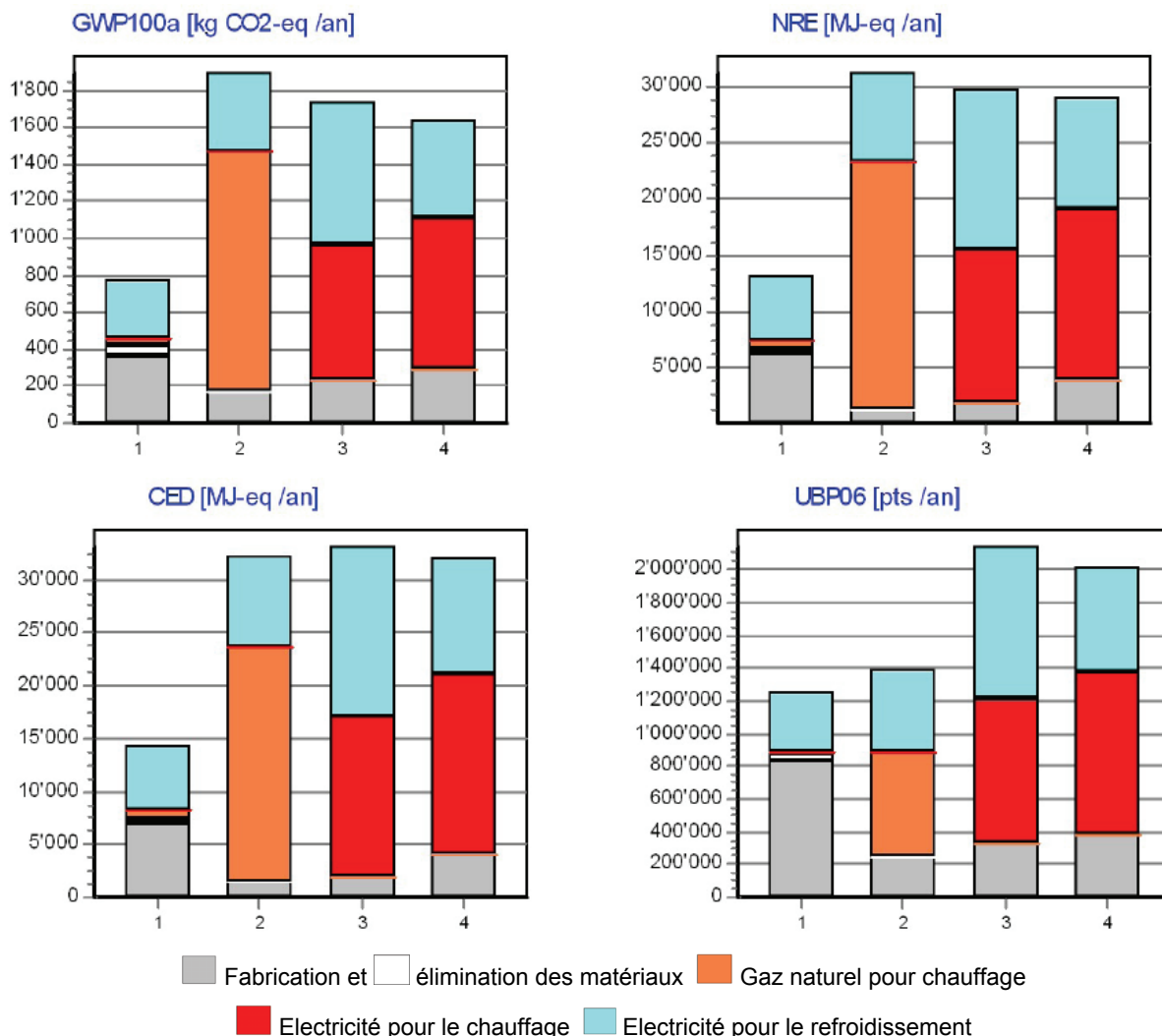


FIGURE 165 : COMPARAISON DES VARIANTES POUR UNE MAISON FAMILIALE A BARCELONE  
 (1) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (REF\_PLANS) + GAZ NATUREL  
 (2) SYSTEME CONVENTIONNEL (GAZ + COMPRESSEUR : CONF. 1)  
 (3) PAC AIR/EAU (CONF. 2)  
 (4) PAC SOL/EAU (CONF. 3)

Dans ce contexte, l'installation Sortech est nettement la solution la plus intéressante pour tous les indicateurs. En effet, la demande de chauffage est faible et, de plus, la production de chaleur pour le chauffage et pour la production d'eau chaude sanitaire est fournie par les capteurs solaires (25 m<sup>2</sup>). La production de froid avec l'installation Sortech est également intéressante au niveau de l'énergie électrique nécessaire pour faire tourner les auxiliaires, car, cette énergie est plus faibles que pour les autres systèmes.

Dans ce climat, les PAC sont moins intéressantes qu'à Zürich. Ceci provient, pour le GWP, du mauvais facteur de conversion de l'électricité (utilisation de gaz et de charbon). Le système conventionnel est le moins bon pour le GWP et les énergies primaires non-renouvelable. Il est pratiquement identique avec la PAC "air/eau" pour les énergies primaires totales. Le besoin électrique du compresseur est plus faible dû à son meilleur ESEER (cf. 9.6.3). Cependant, le système conventionnel est péjoré par la demande en chauffage et en eau chaude sanitaire.

### 9.7.5.5. Barcelone / Bureau

Les résultats sont un peu différents pour cette configuration comme le montre la Figure 166. Néanmoins, nous constatons que la climatisation solaire est la solution la plus intéressante pour le GWP, le CED et le NRE.

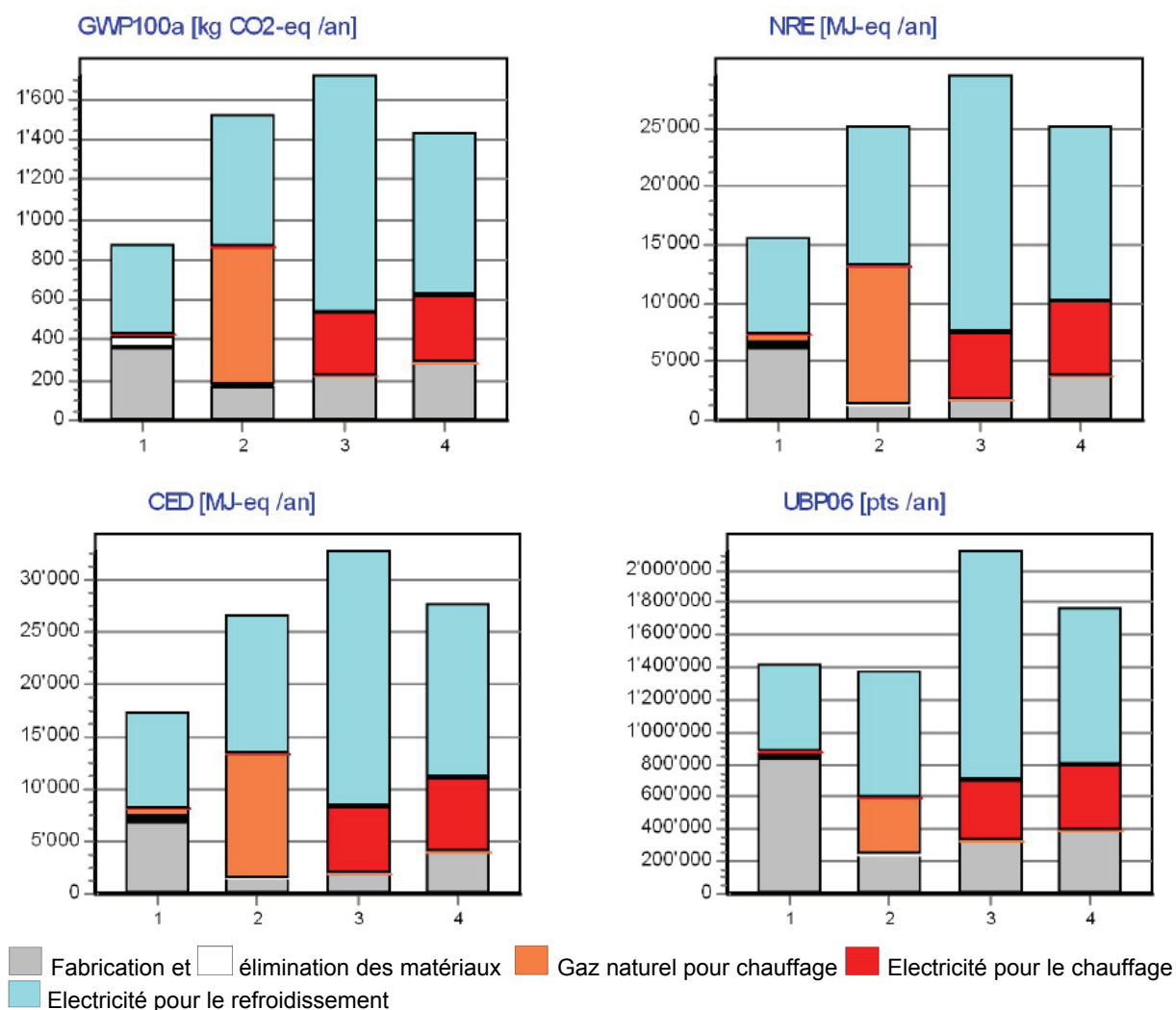


FIGURE 166 : COMPARAISON DES VARIANTES POUR UN BUREAU A BARCELONE

(1) MACHINE SORTECH CAPTEUR PLAN (REF\_PLANS) + GAZ NATUREL

(2) SYSTEME CONVENTIONNEL (GAZ + COMPRESSEUR : CONF. 1)

(3) PAC AIR/EAU (CONF. 2)

(4) PAC SOL/EAU (CONF. 3)

La PAC "air/eau" est la moins bonne solution pour tous les indicateurs. Ceci vient du fait que le besoin pour le froid est plus grand dans un bureau que dans une maison familiale et que l'ESEER de la machine est plus faible.

La PAC "sol/eau" est meilleure pour le GWP et le NRE que le système conventionnel mais devient moins bon pour le CED et l'UBP. Cependant pour les énergies primaires, la différence est minime.

Le besoin en chauffage est extrêmement faible par rapport aux autres configurations. Comme les impacts de l'électricité sont grands par rapport à ceux du gaz naturel et que la demande en froid est plus importante que celle en chaud, les installations utilisant beaucoup d'électricité comme le système conventionnel et les deux configurations avec pompe à chaleur sont péjorés.



## 9.8. Conclusion sur les écobilans

Ce chapitre avait pour objectif de comparer les impacts d'une installation de climatisation solaire à adsorption dans un bâtiment réel avec un appoint à gaz avec trois autres installations produisant de la chaleur et du froid, soit un système conventionnel (compresseur frigorifique et chaudière à gaz ; conf. 1), une installation avec pompe à chaleur réversible "air/eau" (conf. 2) et une installation avec pompe à chaleur réversible "sol/eau" (conf. 3).

Les résultats ont été calculés et analysés pour trois indicateurs reconnus le GWP (effet de serre), le CED (énergie primaire totale) et le NRE (énergie primaire non-renouvelable). L'installation de climatisation solaire à adsorption couplée à une installation de chauffage à gaz ressort avec des résultats variables, principalement liés aux climats. Pour le climat de Barcelone, la climatisation solaire + gaz est la solution la plus intéressante, avec des impacts totaux (énergie + matériaux) réduits par rapports aux autres configurations de 30% à 50%.

Pour le climat de Zürich, la situation varie en fonction de l'indicateur étudié. Pour le GWP, les deux solutions avec PAC sont de loin les plus intéressantes. La climatisation solaire pourrait devenir plus compétitive avec une source chaude à pellet par exemple. Toutefois elle serait toujours moins intéressante, étant donnée la part importante des impacts des matériaux de cette solution. Par contre, pour les indicateurs liés à la consommation d'énergie primaire (CED et NRE), la climatisation solaire se trouve en seconde position, ex-æquo avec la PAC "air/eau", juste derrière la PAC avec sonde géothermique.

## 10. Analyse financière

Une analyse financière est présentée dans cette section afin de compléter la comparaison entre les différents systèmes de production de chaud et de froid définis dans le chapitre précédent, à savoir :

- Climatisation solaire (adsorption) avec capteurs plans et appoint au gaz (réf)
- Système conventionnel avec compresseur électrique et gaz (conf. 1)
- PAC réversible "air/eau" (conf. 2)
- PAC réversible avec sonde géothermique (conf. 3)

Dans le calcul des coûts de l'énergie produite, l'analyse financière inclut les coûts d'investissement, les annuités et les coûts d'achat du vecteur énergétique, ceci sur la base d'hypothèses présentées plus loin. Les éléments communs à tous les systèmes ont été exclus, en particulier le système de distribution de l'énergie dans le bâtiment. Ces calculs sont basés sur la variante "Zürich / Maison familiale" en référence au chapitre 8.

Aucun subside ou autre aide financière n'a été pris en compte dans ces calculs, ceux-ci pouvant varier, voir disparaître, dans le temps.

### 10.1. Coûts d'investissement

Pour chaque configuration, les différents coûts d'investissement propres à chaque système ont été inclus. L'Annexe 30 détaille l'ensemble de ces coûts en mentionnant les sources. Le graphique de la Figure 167 résume les coûts d'investissement de chaque système pour la configuration "maison familiale".

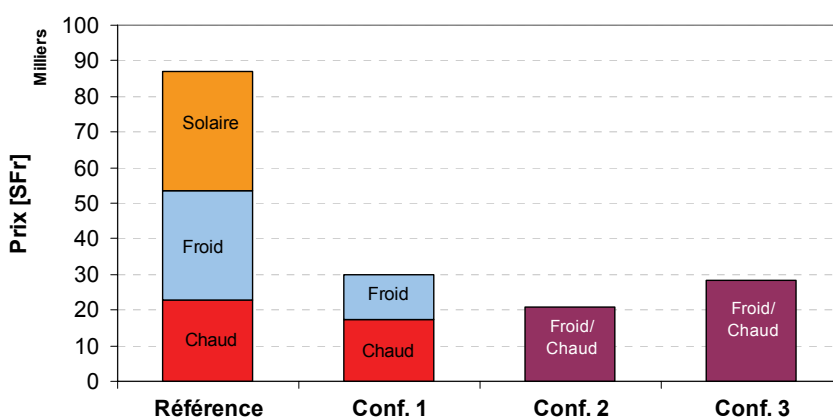


FIGURE 167 : COÛTS D'INVESTISSEMENT DE CHAQUE CONFIGURATION POUR LA MAISON FAMILIALE DE ZÜRICH, HORS SYSTÈME DE DISTRIBUTION  
(REFERENCE) MACHINE SORTECH AVEC CAPTEURS PLANS  
(CONF. 1) SYSTÈME CONVENTIONNEL  
(CONF. 2) PAC AIR/EAU  
(CONF. 3) PAC SOL/EAU

Les coûts d'investissement de l'installation de climatisation solaire (réf : Sortech + chaudière à gaz), sont de loin les plus élevés, suivis de l'installation conventionnelle, de l'installation PAC "sol/eau" et enfin de l'installation PAC "air/eau". C'est l'installation solaire (38% du coût total) et de climatisation (machine Sortech, refroidisseur et groupes hydraulique) (35%) qui chargent la configuration de référence. Il faut toutefois être conscient que pour la machine Sortech, le prix actuel ne bénéficie pas de l'effet d'échelle d'une production de masse. Ces machines sont produites en petit nombre, contrairement aux autres systèmes étudiés.

La configuration PAC "air/eau" est la moins onéreuse et semble être intéressante à ce niveau, car c'est un système compact, monovalent et facile à installer.

## 10.2. Intérêt

Pour cette étude, un taux d'intérêt fixe de 3.0 % [25] sur 20 ans a été utilisé. Ce taux est un taux moyen valable en 2010 pour un emprunt de longue durée. L'entier de l'investissement sera remboursé après 20 ans.

## 10.3. Frais fixes

Différents coûts d'entretien ont été considérés. Ceux-ci sont résumés dans le tableau suivant :

Frais considérés [Sfr/an]	Réf.	Conf. 1	Conf. 2	Conf. 3
Contrat de maintenance Sortech <sup>1)</sup> :	700	-	-	-
Maintenance chaudière à gaz <sup>2)</sup>	500	500	-	-
Maintenance installation solaire <sup>3)</sup>	100	-	-	-
Maintenance du compresseur froid <sup>3)</sup>	-	300	-	-
Maintenance de la PAC <sup>4)</sup>	-	-	300	300
<b>Frais d'entretien totaux [Sfr/an]</b>	<b>1'300</b>	<b>800</b>	<b>300</b>	<b>300</b>

<sup>1)</sup> Donnée par Sortech, à savoir contrat d'entretien de 500 €/an

<sup>2)</sup> Selon gaz-naturel.ch

<sup>3)</sup> Hypothèses LESBAT

<sup>4)</sup> Selon GSP

TABLEAU 30 : FRAIS D'ENTRETIEN CONSIDERES POUR CHAQUE CONFIGURATION

## 10.4. Coût de l'énergie

Une augmentation du coût de l'énergie de 2.5% par année a été prise en compte, que ce soit pour l'électricité ou pour le gaz naturel. Cette augmentation correspond à la moyenne basée sur l'indice des prix à la consommation harmonisée (IPCH), groupe 04 (Logement, eau, électricité, gaz et autres combustibles) [26].

Cette hypothèse liée à l'augmentation du prix de l'énergie est sujet à discussion. En effet, il est bien difficile de prédire l'avenir en ce qui concerne l'évolution du marché de l'énergie.

Le coût du kWh électrique considéré dans cette étude est de 14.7 cts/kWh (moyenne entre le tarif de jour (19.9 ct/kWh) et le tarif de nuit (10.22 ct/kWh) donné par EWZ, distributeur de la ville de Zürich. Pour le gaz naturel, le prix actuel donné par "Erdgas Zürich" a été pris en considération, soit 8.4 ct/kWh.

Le graphique de la Figure 168 montre l'évolution de ce prix (prix HT), en tenant compte de l'hypothèse faite plus haut d'une augmentation de 2.5% par an.

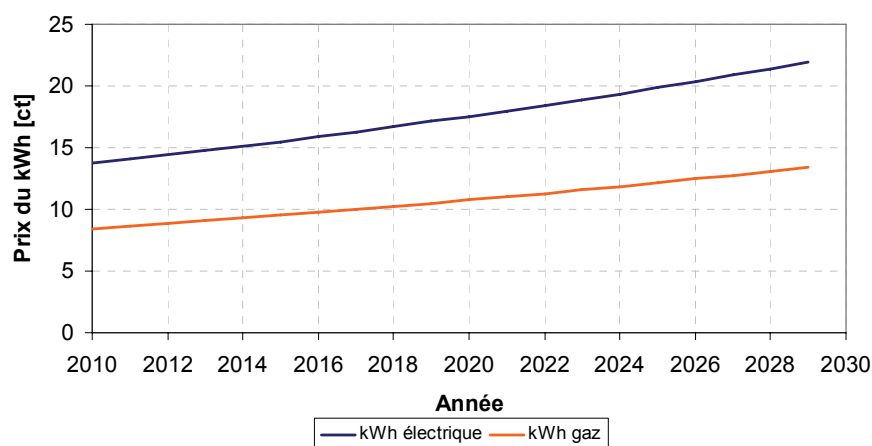


FIGURE 168 : EVOLUTION DU PRIX DE L'ENERGIE SELON L' HYPOTHESES +2.5% /AN, BASE SUR PRIX 2010, VILLE DE ZÜRICH

La Figure 169 illustre l'évolution des coûts annuels liés à la consommation d'énergie.

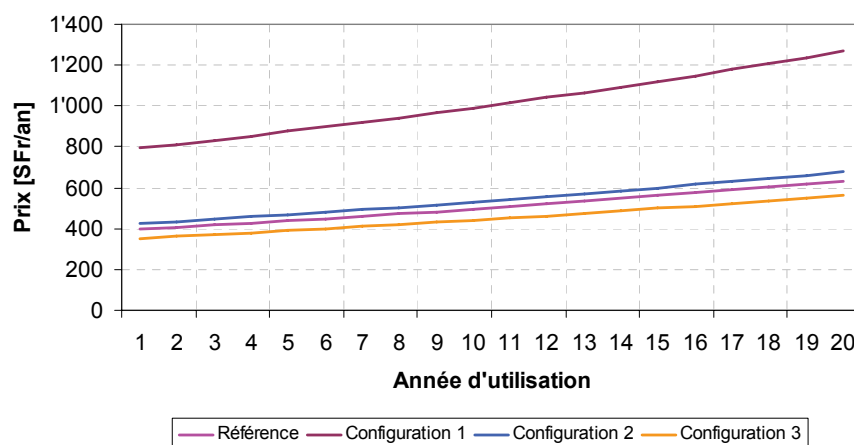


FIGURE 169 : COUT ANNUEL DE L'ENERGIE POUR CHAQUE CONFIGURATION EN TENANT COMPTE DES CONSOMMATIONS DE CHAQUE SYSTEME ET DE L'AUGMENTATION DE 2.5 %/AN POUR UNE MAISON FAMILIALE SITUE A ZÜRICH

La Figure 169 montre que le coût annuel lié à la consommation d'énergie est relativement proche pour toutes les configurations à l'exception de l'installation conventionnelle qui présente un coût largement supérieure aux autres installations. Le cumul de ces différents coûts permet de tracer le graphique de la Figure 170 qui montre le coût total cumulé sur 20 ans de la consommation d'énergie pour chaque configuration et selon le vecteur énergétique.

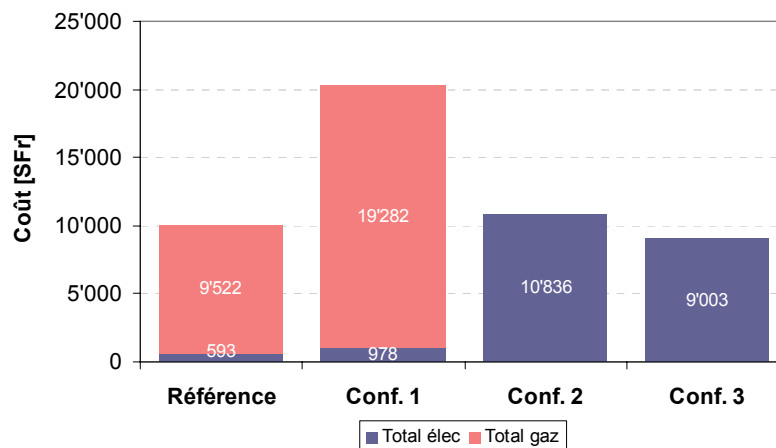


FIGURE 170 : COÛTS LIES A LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR CHAQUE CONFIGURATION SUR LA DUREE DE VIE DE 20 ANS

Il s'avère que pour l'installation de référence, la quasi-totalité des coûts concerne la part d'énergie gaz de la chaudière pour la production d'ECS et de chauffage. Les coûts liés à l'utilisation de l'installation de climatisation sont très faibles (env. 10% des coûts de l'énergie consommée cumulée sur 20 ans).

### 10.5. Synthèse

L'addition des différents coûts présentés ci-dessus (intérêt, entretien et énergie) permet d'avoir une vision globale comparative pour chaque configuration. La Figure 171 montre le coût annuel global pour chaque configuration, ce coût intègre les frais d'investissement, les annuités, les coûts d'entretien et de la consommation d'énergie.

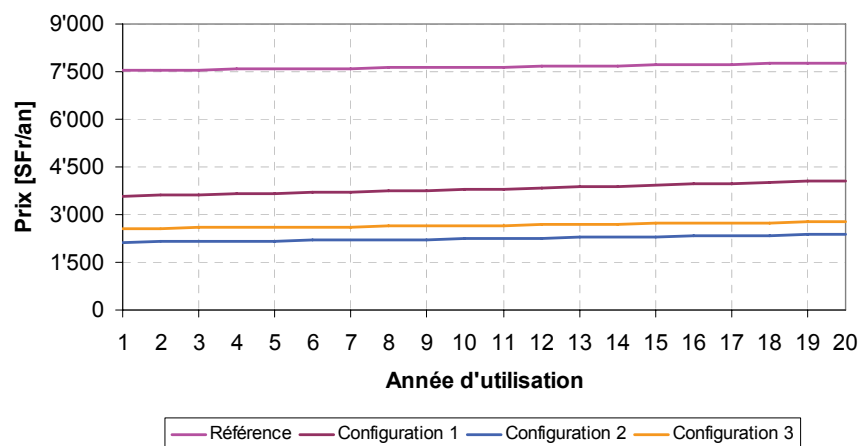


FIGURE 171 : COUT ANNUEL GLOBAL POUR CHAQUE CONFIGURATION

La Figure 171 montre que l'installation avec PAC "air/eau" présente les coûts les moins élevés, suivi par l'installation PAC "sol/eau", par l'installation conventionnelle et finalement par l'installation de climatisation solaire à adsorption.

La Figure 172 montre le coût total sur les 20 années considérées avec séparation des différents postes :

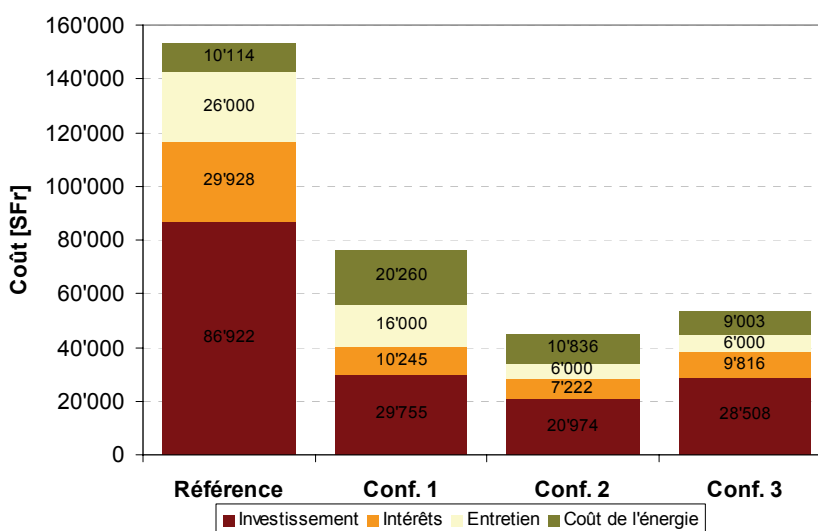


FIGURE 172 : COUT GLOBAL POUR CHAQUE CONFIGURATION SUR UNE DUREE DE VIE DE 20 ANS

Plusieurs points intéressants ressortent de cette analyse :

- L'installation avec pompe à chaleur "air/eau" présente le coût le moins élevé sur la période considérée, ceci malgré une consommation d'énergie supérieure à la configuration PAC "sol/eau". C'est son faible coût d'investissement qui permet à cette installation d'être la plus avantageuse financièrement. Toutefois, il faut noter qu'en Suisse, la plupart du temps, une PAC "air/eau" est installée avec un appoint (poêle à bois par exemple) afin de pallier aux faibles COP journaliers lors de grand froid. Selon Energie-Bois [27], le prix d'un appoint à bois dans une habitation familiale peut varier de 2'000 Sfr pour un poêle à bûches simple à 15'000 Sfr pour un poêle à accumulation, prix auquel il faut ajouter une évacuation des gaz de combustion (environ 2'000 Sfr). Ainsi, l'ajout d'un appoint simple à bûches à la configuration PAC "air/eau" permettrait à cette configuration de rester la meilleure du point de vue économique alors que l'ajout d'un appoint avec accumulation placerait la solution PAC "air/eau" derrière les solutions PAC "sol/eau" et "chiller+gaz".
- En l'état et d'un point de vue économique, l'installation conventionnelle ne peut être justifiée vis-à-vis des deux installations avec PAC. De plus, il n'est pas certain que l'installation d'un groupe frigorifique soit tolérée dans une habitation familiale (selon lois cantonales et fédérales).
- L'installation de climatisation solaire à adsorption est largement pénalisée par les lourds coûts d'investissement de l'installation et par les coûts d'entretien du système. Les coûts liés à la consommation d'énergie étant sensiblement identiques à ceux des configurations avec PAC, il est difficile de ressortir un avantage économique pour cette configuration, ceci même si l'évolution des coûts liés à la consommation d'énergie s'avérait être totalement différents que les hypothèses effectuées dans ce rapport.
- Cette analyse est valable pour des installations dans des climats comme ceux de la Suisse. Les conclusions seraient certainement différentes dans des climats où les besoins en chaud sont infimes, voire inexistants. Une nouvelle analyse devrait être faite avec, peut-être d'autres systèmes de comparaison.

En conclusion à cette analyse financière, la Figure 173 présente le prix au kWh fourni (pour le froid et le chaud additionné) pour chaque configuration et avons, pour information, ajouté la variante capteurs à tubes au système de référence :

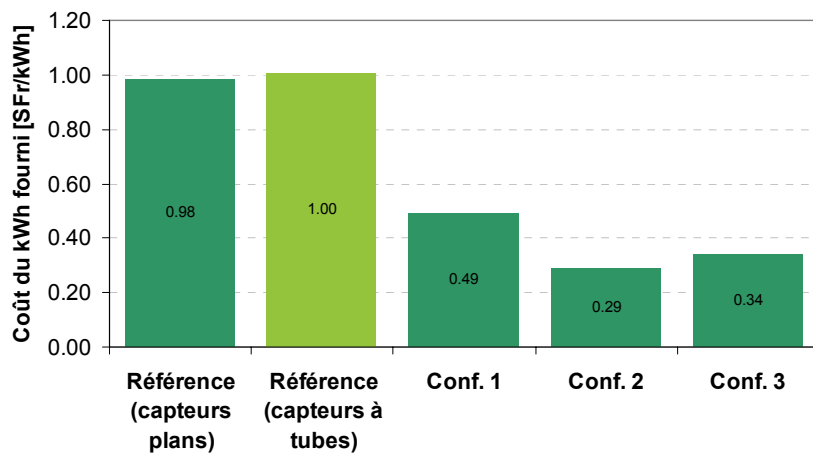


FIGURE 173 : PRIX DU KWH FOURNI (CHAUD ET FROID) SUR UNE PERIODE DE 20 ANS

La Figure 173 montre que le prix rapporté à l'unité de production d'énergie suit la même tendance que vu précédemment et que ce coût augmente légèrement avec l'adjonction de capteurs à tubes sur l'installation de référence (plus-value d'investissement : 5000.-). Ceci montre que l'augmentation de production d'énergie grâce à la configuration à tubes ne compense pas, sur 20 ans, le surcoût de l'installation.

## 11. Intérêt de la climatisation solaire à adsorption en Suisse

Dans les chapitres 9 et 10 de ce rapport, différentes comparaisons ont été effectuées entre quatre systèmes fournissant de l'énergie froide à un bâtiment durant la saison estivale, de l'énergie chaude durant la période hivernale et garantissant les besoins en eau chaude sanitaire toute l'année. Nous nous concentrerons sur l'analyse faite pour la maison familiale située à Zürich.

La Figure 174 résume la variation, exprimée en %, des différents paramètres étudiés par rapport au résultat obtenu pour le cas de référence (climatisation solaire avec capteur plans).

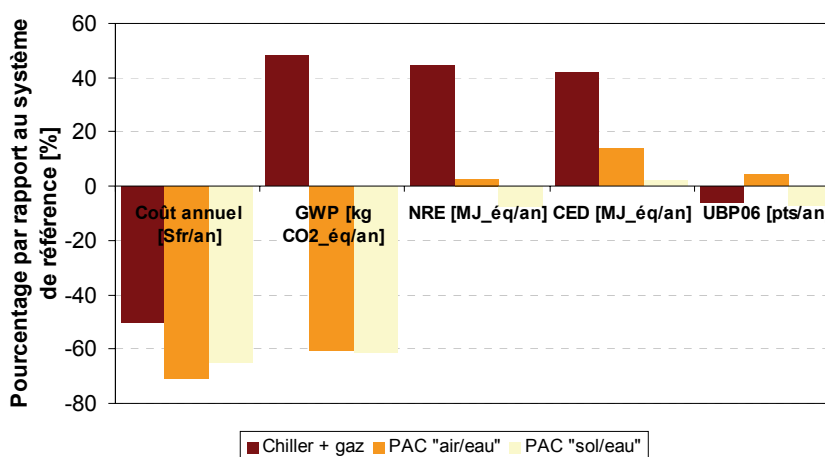


FIGURE 174 : RESUME DE L'ENSEMBLE DES COMPARAISONS COMPAREES A L'INSTALLATION DE REFERENCE DANS UNE MAISON FAMILIALE A ZÜRICH

La Figure 174 indique, par exemple, que l'impact en GWP de l'installation de référence -60 % correspond à l'impact de la configuration pompe à chaleur "air/eau".

Ainsi, compte tenu des différentes analyses et commentaires effectués plus haut, il nous semble qu'à ce jour, en Suisse, l'installation de système de climatisation solaire à adsorption dans des maisons ayant relativement peu de demande en froid sur l'année est difficile à justifier. En effet, le coût final du kWh produit se situe à un niveau trop élevé vis-à-vis des systèmes avec PAC réversible alors que l'économie en énergie primaire est faible vis-à-vis de la configuration avec PAC "sol/eau" et inexistante avec la variante PAC "air/eau".

Des améliorations conséquentes doivent être obtenues sur les systèmes de climatisation solaire à adsorption, en particulier sur les consommations des auxiliaires (but :  $COP_{\text{électrique}} > 10$ ), sur les performances de la machine et sur la fiabilité de celles-ci (diminution des entretiens). Ce n'est que grâce à ces améliorations que les coûts d'investissement et d'entretien pourront diminuer rendant ainsi la filière attractive.

La technologie à adsorption dans cette gamme de puissance étant relativement nouvelle, il semble indispensable que les collectivités puissent, dans les années futures, soutenir d'une façon ou d'une autre ce genre d'installation, jusqu'à ce que cette technologie soit mature sur le marché. La maturité de la technologie devrait permettre de diminuer les coûts d'investissement ainsi que les coûts d'entretien des machines.

Ce discours doit cependant être nuancé selon le type de bâtiment, son affectation et le climat dans lequel il se trouve.



## 12. Conclusions générales

Ce projet avait pour but d'analyser les performances et le potentiel d'une installation de climatisation solaire par adsorption en Suisse. Il a été réalisé en parallèle à la Tâche 38 de l'agence internationale de l'énergie « Solar Air-Conditioning and Refrigeration ».

La première partie du projet a consisté à étudier les performances d'une machine de climatisation solaire à adsorption de petite puissance. Actuellement, peu de produits sont commercialisés et après une analyse du marché, c'est la machine ACS de l'entreprise Sortech qui a été testée. Les tests ont consisté à vérifier les performances annoncées par le fabricant en conditions stabilisées, puis à tester le comportement de la machine dans des conditions réelles. Pour ce faire, un banc d'essais a été réalisé au LESBAT permettant de reproduire le fonctionnement de la machine testée pour n'importe quels climats, avec n'importe quel type de capteurs solaires thermiques et pour différents types de bâtiment. Ces différents tests ont été effectués sur des durées réelles allant de 2 à 6 jours. Les résultats expérimentaux obtenus, ont également été comparés à un modèle numérique de la machine Sortech (type boîte noire), afin de pouvoir valider ce dernier dans l'optique de faire des simulations dynamiques annuelles. Durant cette première partie du projet (expérimentation) les points suivants ont été relevés :

- La première machine livrée par Sortech (ASC05) a posé quelques problèmes de fonctionnement. Après vérification du banc de tests et différents contrôles sur la machine, il s'est avéré que l'unité livrée était défectueuse.
- La seconde machine livrée (ASC08) s'est révélée être plus fiable et plus évoluée que le modèle précédent. Cependant, il a été constaté que les puissances froides produites sont systématiquement au-dessous de la puissance nominale de la machine annoncée par le fabricant. Il a été montré qu'il est rare, en conditions réelles, d'atteindre les conditions nominales de chaque circuit.
- Après quelques temps, la machine ASC08 a présenté un souci d'étanchéité du circuit sous vide, comme c'est souvent le cas pour ce type de système. Ceci peut être réglé par dégazage avant la saison chaude, comme préconisé par l'entreprise Sortech. Cette opération nécessite un appareillage adapté et une personne expérimentée pour effectuer ce travail et un coût non-négligeable.
- Différentes pistes d'amélioration ont pu être proposées à l'entreprise Sortech grâce aux tests effectués au LESBAT. En particulier le potentiel de réduction de la consommation électrique auxiliaire en diminuant les débits sur le circuit MT et en diminuant les vitesses de rotation des ventilateurs du recool. Les tests ont montré l'effet de ces diminutions sur le COP thermique de la machine. Même si ce COP diminue légèrement, la baisse de la consommation électrique permet d'améliorer les performances globales de l'installation (COP électrique)
- Des tests ont été effectués sur le banc de mesures avec et sans cuve solaire tampon. Les résultats ont montré, que sans cuve, la production de froid (circuit MT) est un peu plus oscillante, mais ne diminue pas sensiblement les performances de la machine. La suppression de cette cuve permet de réduire les coûts à l'investissement ainsi que les impacts environnementaux liés aux matériaux. Pour cela, il faudrait également modifier les paramètres de la régulation Sortech afin de garantir un temps de commutation de phase de la machine suffisamment long.
- Des tests ont été effectués en joignant un combi-système sur le circuit de refroidissement de la machine de climatisation à adsorption pour en récupérer la chaleur évacuée par le circuit du recool. Le gain énergétique réalisé ne justifie pas l'investissement supplémentaire lié à la complexité de la connexion hydraulique.

- D'une façon générale, un soin particulier doit être apporté lors de la définition des débits dans le circuit, MT, du dimensionnement du réseau hydraulique pour en réduire les pertes de charge, et lors du choix des circulateurs, afin de diminuer au maximum les consommations électriques auxiliaires, consommations qui pénalisent fortement la filière. Des améliorations doivent aussi être apportées à la machine afin de diminuer les pertes de charges internes de celle-ci.

La seconde partie de ce projet a consisté à valider le modèle numérique de la machine Sortech et plus globalement de toute l'installation de climatisation solaire. Cette partie a permis de bien comprendre le fonctionnement de la machine dans différentes configurations et d'étudier la sensibilité à certains paramètres (capteurs, régulation, etc.).

Le modèle numérique de la machine Sortech est une boîte noire qui utilise des mesures effectuées dans des conditions bien définies de température et de débits des différents circuits. Le modèle a ensuite été validé pour un fonctionnement en dehors de ses conditions de fonctionnement standards par comparaison avec des résultats obtenus sur le banc de tests dans des conditions diverses et variées sur des périodes de quelques jours (réelles) de fonctionnement. La conformité entre le modèle et la machine réelle a été validée sur la base de grandeurs intensives comme la température sur les différents circuits ou la durée de cycle, mais également au niveau des bilans d'énergie, comme l'énergie de climatisation produite par le circuit froid (LT) et les COP thermique et électrique de l'installation. Ainsi, il a été possible d'utiliser avec confiance le modèle numérique pour les étapes suivantes.

La troisième partie de ce projet a consisté à effectuer une inter-comparaison entre différents types d'installations pouvant produire de la chaleur et du froid par le biais de simulations annuelles. L'installation de climatisation solaire nécessitant des capteurs solaires s'est vue complétée par l'adjonction d'une production de chaleur (chauffage et ECS) grâce à une chaudière à gaz pour le (chauffage et ECS). Ce système a été comparé à trois autres systèmes pouvant produire du chaud et du froid, à savoir (1) un chiller (compresseur électrique) avec appoint gaz, (2) une PAC réversible "air/eau" et (3) une PAC réversible eau/eau avec sonde géothermique. Ces systèmes ont été comparés pour le climat de Zürich et de Barcelone en utilisant des profils de gains internes correspondant à une habitation familiale (villa) et un bureau. Ces analyses ont traités de :

- La consommation énergétique pour la production de froid et de chaud en utilisant le modèle numérique de la machine Sortech validé par les résultats expérimentaux. Les simulations dynamiques annuelles ont été effectuées en modélisant l'ensemble des installations avec tous leurs composants en détail avec TRNSYS.
- Les impacts environnementaux : obtenus en incluant les matériaux et l'énergie consommée sur le cycle de vie des installations. Tous les composants des installations étudiées ont été pris en compte. Les données nécessaires à cette analyse ont été obtenues soit par la base de données Ecoinvent [21], soit en faisant une analyse des composants manquants dans la base de données.
- Les coûts du kWh pour la production de froid et de chaud ont été obtenus en considérant les frais d'investissements, les annuités, les frais fixes et les coûts de l'énergie. La durée de vie, l'augmentation du coût de l'énergie avec le temps et le taux d'intérêt ont été fixés sur la base de sources reconnues.

Sur la base des résultats obtenus, il est possible d'affirmer les éléments suivants :

- D'un point de vue environnemental, une machine à adsorption avec des valeurs de COP thermique telles qu'elles le sont aujourd'hui, n'a pas de raison à être installée si la totalité de l'énergie « motrice » n'est pas de l'énergie gratuite, comme de l'énergie solaire ou des rejets de chaleur. Pour cette raison, une installation de climatisation solaire à ad ou absorption ne devrait pas avoir un appoint chaleur type gaz ou mazout. Par contre, un appoint avec une machine à compression peut être envisagé comme le montre le rapport LCIA de la Tâche 38, [5].
- L'utilisation de capteurs plans ou de capteurs à tubes avec l'installation Sortech fait ressortir les points suivants : D'un point de vue énergétique, les capteurs à tubes permettent de fournir plus d'énergie à la maison mais sans pouvoir justifier le surinvestissement. Au niveau de l'écobilan, il n'y a que très peu de différence et celle-ci évolue en fonction du climat.
- Dans la partie comparaison des systèmes, nous avons effectué différents choix de systèmes de comparaison. Il est évident que d'autres choix auraient pu être faits, nous pensons en particulier à l'intégration de systèmes de climatisation de type split ou alors au couplage d'une installation photovoltaïque avec un système à compression classique. Il nous semble tout de même que les choix effectués ainsi que la méthodologie (froid + chaud) sont représentatifs de la situation actuelle du marché Suisse.

En conclusion à tout ce projet, il est possible d'affirmer les points suivants :

- le domaine de la climatisation solaire à adsorption est un domaine en plein essor. Durant les quatre années qu'ont durées ce projet, l'offre proposée par l'entreprise Sortech pour les composants nécessaires au bon fonctionnement de la machine s'est élargie (documents de mise en service et d'utilisation, groupes préfabriqués, recool, régulation). Actuellement, cette technologie est aujourd'hui accessible pour un bureau d'ingénieur ou un installateur.
- La technologie à adsorption, dans cette gamme de puissance, étant relativement nouvelle, La maturité de la technologie devrait permettre de diminuer les coûts d'investissement ainsi que les coûts d'entretien des machines.

Pour la Suisse, l'intérêt de la climatisation solaire varie en fonction du critère étudié. Concernant les émissions de gaz à effet de serre (GWP), la climatisation solaire par adsorption avec un appoint gaz n'est pas compétitive par rapport aux solutions avec PAC réversibles. Même avec un appoint bois, elle resterait supérieure aux solutions PAC car la part des impacts des matériaux de l'installation de climatisation solaire est trop importante. Par contre, l'énergie primaire totale (CED et NRE) de la climatisation solaire est similaire à celle d'une PAC réversible "air/eau", mais légèrement supérieure à une solution avec PAC réversible avec sonde géothermique. Par contre, du point de vue économique, la climatisation solaire n'est pas compétitive, car le coût du kWh de froid produit par une installation de climatisation solaire est environ 3 à 4 fois supérieure au prix obtenus avec une PAC réversible.

La situation est différente pour un climat plus méditerranéen, comme Barcelone, où la production de froid est plus importante et celle de chaud plus faible. Dans ce cas, la climatisation solaire par adsorption est une alternative intéressante que ce soit du point de vue énergétique, environnemental et probablement financier. Malheureusement ce dernier point devrait être confirmé, car il se base sur une estimation et pas sur une analyse précise, analyse sortant du cadre de ce projet.

### **13. Remerciements**

Pour terminer, toute l'équipe ayant participé à ce projet et à la rédaction de ce document, tient à remercier:

- L'Office Fédéral de l'Energie (OFEN) pour le financement de ce projet
- Le coordinateur (Jean-Christophe Hadorn) et les participants de la Tâche 38 pour les informations échangées.
- La société SORTECH AG pour la collaboration technique fournie

## 14. Références

- [1] Solar Heating System for House, a design handbook for solar combisystems, IEA 2003.
- [2] Météonorm 6.0, Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education, Météotest.
- [3] Climatisation et chauffage par combi-système, rapport intermédiaire 2009
- [4] Climatisation et chauffage par combi-système, rapport intermédiaire 2008
- [5] Life Cycle Assessment of Solar Cooling Systems, A technical report of subtask D, Subtask Activity D3, October 2010, Marco Beccali, Stéphane Citherlet et al.
- [6] CHECK-LIST METHOD FOR THE SELECTION AND THE SUCCESS IN THE INTEGRATION OF A SOLAR COOLING SYSTEM IN BUILDINGS, IEA Solar Heating and Cooling, Task 38: Solar Air-Conditioning and Refrigeration, November 2009
- [7] Organisation Internationale de Normalisation, MANAGEMENT ENVIRONNEMENTAL – ANALYSE DU CYCLE DE VIE, Normes ISO 14040, 41, 42, 43, 1997-200.
- [8] Ökobilanzdaten im Baubereich / Base de données KBOB version 1/2007.
- [9] Base de données ECOINVENT version 2.0 ([www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)).
- [10] Solar Heating System for House, a design handbook for solar combisystems, IEA 2003.
- [11] Logiciel ECO-BAT version 3.0 ([www.eco-bat.ch](http://www.eco-bat.ch)).
- [12] Sortech Adsorptionskältemaschine, servicemanual, ACS 08/15, v.1.1, octobre 2008
- [13] (WO/2007/017015) LAYER COMPOSITE AND PRODUCTION THEREOF
- [14] Sortech, SorTech AG, Zscherbener Landstraße 17, 06126 Halle (Saale), Germany, [www.sortech.de](http://www.sortech.de)
- [15] T. Pittet, J. Bony, P. Dind. Optimisation d'installations solaires combinées, OFEN, décembre 2002.
- [16] S. Citherlet et J. Bony. CoSyPCM : Combi-Système avec Matériaux à Changement de Phase, OFEN, Rapport annuel décembre 2005
- [17] Hans-Martin Henning, SOLAR ASSISTED AIR CONDITIONING OF BUILDINGS – AN OVERVIEW Heat SET 2005, Heat Transfer in Components and Systems for Sustainable Energy Technologies, 5-7 April 2005, Grenoble, France.
- [18] Sortech, Service manuel ACS 08
- [19] Organisation Internationale de Normalisation, MANAGEMENT ENVIRONNEMENTAL – ANALYSE DU CYCLE DE VIE, Normes ISO 14040, 41, 42, 43, 1997-200.
- [20] Ökobilanzdaten im Baubereich / Base de données KBOB version 1/2007.
- [21] Base de données ECOINVENT version 2.2 ([www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)).
- [22] Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit –Ökofaktoren 2006, Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen, Rolf Frischknecht, Roland Steiner, Niels Jungbluth, Öbu SR 28/2008
- [23] <http://www.eurovent-certification.com/>
- [24] NF EN 14511 "Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et la réfrigération des locaux"
- [25] Defferrard et Lanz, conseil en financement immobilier, <http://www.d-l.ch/>
- [26] Office fédéral de la statistique (OFS), <http://www.statistik.admin.ch>
- [27] Energie-Bois, <http://www.energie-bois.ch/>

## 15. Liste des annexes

Annexe 1 :	Caractéristiques techniques SORTECH ACS 05 .....	162
Annexe 2 :	Caractéristiques techniques SORTECH ACS 08 .....	162
Annexe 3 :	Caractéristiques techniques Recooler RCS 08 .....	162
Annexe 4 :	Paramètres du recooler .....	162
Annexe 5 :	Paramètres de l'échangeur de chaleur .....	162
Annexe 6 :	Dimensions du stock du circuit HT .....	162
Annexe 7 :	Diagramme logique de la régulation du stand (avant modification de la régulation) ....	162
Annexe 8 :	Diagramme logique de la régulation du stand (après modification de la régulation) ....	162
Annexe 9 :	Courbes de performances ACS 05 après 2 dégazages .....	162
Annexe 10 :	Courbes caractéristiques ACS 08 ( $T_{LT\_IN} = 15^{\circ}\text{C}$ ) .....	162
Annexe 11 :	Courbes caractéristiques ACS 08 ( $T_{LT\_IN} = 18^{\circ}\text{C}$ ) .....	162
Annexe 12 :	Résumé de l'ensemble des tests effectués sur l'ACS 08 en mode nominal.....	162
Annexe 13 :	Tests en conditions stabilisées - Sans cuve – $LT=18^{\circ}\text{C}$ – Evolution du COP et de la puissance en fonction de la température d'entrée MT .....	162
Annexe 14 :	Tests en conditions stabilisées - Avec cuve – $LT=15^{\circ}\text{C}$ – Evolution du COP en fonction de la température d'entrée MT .....	162
Annexe 15 :	Tests en conditions stabilisées - Avec cuve – $LT=15^{\circ}\text{C}$ – Evolution de la puissance en fonction de la température d'entrée MT .....	162
Annexe 16 :	Evolution du COP en fonction de la puissance, avec cuve, $T_{LT} = 15^{\circ}\text{C}$ .....	162
Annexe 17 :	Résumé des différents tests effectués sur la machine Sortech ACS 08 .....	162
Annexe 18 :	Résumé complet des tests effectués sur la machine ACS 08 .....	162
Annexe 19 :	Caractéristiques de la chaudière à gaz à condensation .....	162
Annexe 20 :	Caractéristiques du groupe frigorifique à compression .....	162
Annexe 21 :	Caractéristiques de pompe à chaleur "air/eau" .....	162
Annexe 22 :	Caractéristiques de la pompe à chaleur "sol/eau" .....	162
Annexe 23 :	Impacts des éléments composant l'installation de référence à Zürich selon les indicateurs :	162
Annexe 24 :	Impacts des éléments composant l'installation de référence à Barcelone selon les indicateurs :	162
Annexe 25 :	Impacts des matériaux de la configuration de référence avec des capteurs plans vitrés par année selon trois durées de vie pour Zürich :.....	162
Annexe 26 :	Impacts des matériaux de la configuration de référence avec des capteurs plans vitrés par année selon trois durées de vie pour Barcelone : .....	162
Annexe 27 :	Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (bureau avec capteurs plans (ref)) .....	162
Annexe 28 :	Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (maison avec capteurs à tubes (ref)) .....	162
Annexe 29 :	Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (bureau avec capteurs à tubes (ref)) .....	162
Annexe 30 :	Coûts d'investissement des différentes configurations .....	162

# Annexe 1 : Caractéristiques techniques SORTECH ACS 05

<b>Product data</b>	Technology	Adsorption, single-effect
	Model-type	Chiller/ heat pump
	Construction stage	Preseries / prototype
	Name	SKA xxx
	Working fluid	Water
	Working pair	Silica gel/ Water
	Nominal cooling capacity (kW)	5.5
<b>Dimensions</b>	Width (mm)	795
	Length (mm)	1'100
	Height (mm)	1'200
	Weight (kg)	ca. 300
<b>Filling amount</b>	hydraulic water (l)	17
	refrigerant (l)	20
<b>Chilled water circuit (LT)</b>	Cooling capacity (kW)	5.5
	Temperatures LT_IN (°C)	18
	Temperatures LT_OUT (°C)	15
	Acceptable range of temperatures LT_OUT (°C)	6...20
	Flow (l/h)	1'700
	Loss of head (bar)	0.35
	Hydraulic pressure nominal / max. (bar)	1.5 / 4.0
<b>Heat rejection circuit (MT)</b>	Re-cooling capacity (kW)	14.7
	Temperatures MT_IN (°C)	27
	Temperatures MT_OUT (°C)	32
	Acceptable range of temperatures MT_IN (°C)	20...35
	Flow (l/h)	2'700
	Loss of head (bar)	0.67
	Hydraulic pressure nominal / max. (bar)	1.5 / 4.0
<b>Heat supply circuit (HT)</b>	Heating capacity (kW)	9.2
	Temperatures HT_IN (°C)	75
	Temperatures HT_OUT (°C)	67
	Acceptable range of temperatures HT_IN (°C)	65...90
	Flow (l/h)	1'000
	Loss of head (bar)	0.25
	Hydraulic pressure nominal / max. (bar)	1.5 / 4.0
<b>Electricity supply</b>	Electric connection	230 V~ /50 Hz
	Power consumption (W)	57

## Annexe 2 : Caractéristiques techniques SORTECH ACS 08

Basic performance data	ACS 08	ACS 15
Cooling capacity, max.	11 kW	23 kW
COP <sub>therm</sub> , max.	0.65	0.65
Cooling capacity, nominal	8 kW	15 kW
COP <sub>therm</sub> , nominal	0.60	0.60
Power consumption Ø	7 W	14 W
Operating range		
Chilled water circuit	6-20 °C	6-20 °C
Heat rejection circuit	22-37 °C	22-37 °C
Driving heat circuit	55-95 °C	55-95 °C
Cooling capacity	5-11 kW	10-23 kW

### Technical data at nominal working point

			ACS 08	ACS 15
	Cooling capacity, nominal	kW	8	15
	COP <sub>therm</sub> , nominal		0.60	0.60
Chilled water circuit	Temperature in/out	°C	18/15	18/15
	Volume flow	m³/h	2.0	4.0
	Pressure loss	mbar	300	500
	Operating pressure max.	bar	4	4
	Connection external thread		1"	5/4"
Heat rejection circuit	Temperature in/out	°C	27/32	27/32
	Volume flow	m³/h	3.7	7.0
	Pressure loss	mbar	350	440
	Operating pressure max.	bar	4	4
	Connection external thread		1"	5/4"
Driving heat circuit	Temperature in/out	°C	72/65	72/65
	Volume flow	m³/h	1.6	3.2
	Pressure loss	mbar	230	260
	Operating pressure max.	bar	4	4
	Connection external thread		3/4"	5/4"
Electricity supply	Voltage	V	230 ~	230 ~
	Frequency	Hz	50	50
	Power consumption Ø	W	7	14
Dimensions	Length	mm	790	790
	Width	mm	1060	1340
	Height	mm	940	1390
	Weight (empty)	kg	265	530
	Operating weight	kg	295	590

Data of ACS 08 verified by measurements at Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems.  
Subject to change without notice • Version 08.03.2010



### Annexe 3 : Caractéristiques techniques Recooler RCS 08


#### Technical data at nominal working point

		RCS 08	RCS 15
Re-cooling capacity	kW	21	42
Type of fans		2x EC- fan 650	3x EC-fan 650
Noise pressure level at 10 m distance	dB(A)	43	45
Re-cooling medium		water	
Water consumption, max.	m³/year	4	6
Nominal volume flow	m³/h	3.7	7.0
Pressure loss at nominal volume flow	mbar	150	100
Triggering voltage standard signal (speed control)	V	0-10	
Hydraulic connection (in/out)	mm	35.0 * 1.5	42.0 * 1.6
Operating pressure for water connection (spraying system)	bar	min. 3-6	
Connection (spraying system)	mm	22.0 * 1.0	
Electricity supply	V	230 ~	
	Hz	50	
Power consumption, max.	kW	0.65	1.2
Length	mm	2000	4125
Width	mm	1145	1145
Height	mm	950	950
Weight (empty)	kg	188	330
Operating weight	kg	225	390

Subject to change without notice • Version 08.03.2010

## Annexe 4 : Paramètres du recoolier

Date: 2008-12-17  
 Demande du: 2008-  
 Project: SORTECH  
 No. d'offre: AG-08  
 Position: 1  
 Contact: Alain Gaudard - 024 441 77 43

 <b>Aéroréfrigérant</b>		<b>GFH 067B/2-S(W)-F6/12P</b>	
<b>Puissance:</b>	24.0 kW	<b>Fluide:</b>	éthylène glycol 34 Vol. % <sup>(1)</sup>
Surface de réserve:	-20.5 %	Entrée:	41.0 °C
Débit volumique d'air:	12900 m³/h	Sortie:	34.0 °C
Air à l'entrée:	32.0 °C	Perte de charge:	0.30 bar
Hauteur géodésique:	0 m	Débit volumique:	3.19 m³/h
Coeff. global de transf.:	28.60 W/(m²·K)	Débit massique:	3351 kg/h
Ventilateurs:	2 Pièce(s) 1~230V 50Hz	Pression sonore:	42 dB(A) <sup>(2)</sup>
Données par moteur (données nominales):		à une distance de:	10.0 m
Vitesse de rotation:	680 min-1	Puissance sonore:	74 dB(A)
Puissance (el.)	0.40 kW		
Ampérage:	1.75 A <sup>(3)</sup>		
Puissance absorbée:	0.80 kW	Classe efficace d'énergie:	C
Caisson:	Acier galv., RAL 7035	Tubes:	Cuivre
Surface d'échange:	270.6 m²	Ailettes:	Aluminium
Volume des tubes:	37 l	Raccords par appareil:	
Pas d'ailettes:	2.40 mm	Entrée:	28.0 * 1.50 mm
Poids de l'appareil vide:	209 kg <sup>(4)</sup>	Sortie:	28.0 * 1.50 mm
Pression de service max.:	16.0 bar		
<b>Dimensions:</b> <sup>(4)</sup>			
Longueur de l'appareil:	2410 mm	Tube collecteur:	28.0 * 1.50 mm
Largeur de l'appareil:	1145 mm	Tube distributeur:	28.0 * 1.50 mm
Hauteur de l'appareil:	950 mm <sup>(4)</sup>	Passages:	12
Nombre de pieds:	4	Circuits:	1N
		Branches:	10

(1) Groupe de fluide 2 selon les directives européennes relatives aux équipements sous pression 97/23/CE et la directive 67/548/CEE

(2) utilisant la méthode de la surface enveloppante selon EN 13487

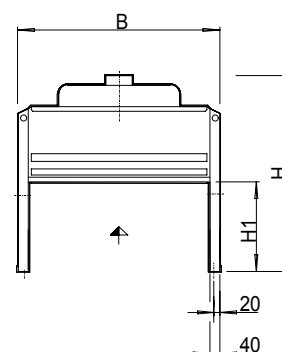
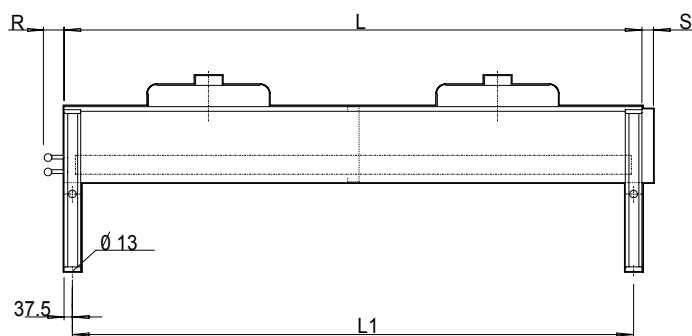
(3) La consommation du courant peut différer en dépendance de la température de l'aire et des variations de la tension de secteur selon directive VDE.

(4) Dimensions et poids ne sont pas valables pour toutes les options et accessoires.

GFH 067B/2-S(W)-F6/12P

Project:  
No. d'offre:  
Position:  
Contact:

SORTECH  
AG-08  
1  
Alain Gaudard - 024 441 77 43



File: EMF\sk2\_Sl.emf

Güntner Product Calculator Professional, 2008.35/2008-12-02, PL 1/2009

L	=	2250 mm	B	=	1145 mm	H	=	950 mm
R	=	110 mm	L1	=	2175 mm	H1	=	400 mm
S	=	50 mm						

Attention: Dessins et dimensions ne sont pas valables pour toutes les options et accessoires!

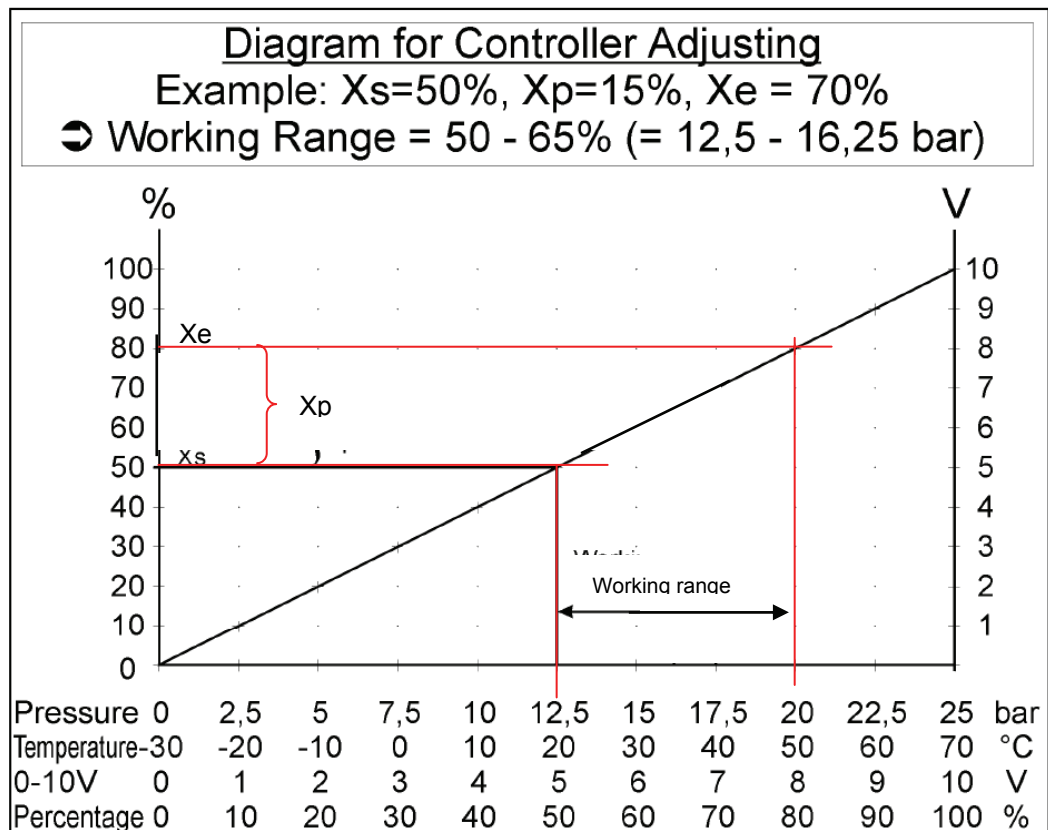


Diagram of Controller Adjust

Paramètres standards définis par Sortech introduit lors de la mise en service :  $X_s : 50\%$ ;  $X_p : 30\%$ ;  $X_e : 60\%$ ; Begrenzgen :  $\sim 52\%$

## Annexe 5 : Paramètres de l'échangeur de chaleur

088 09:26 024-441-77-47 JAEggi GUENTNER PAGE 02/03

**GÜNTNER**

Pos. 1

Puissance	13.6 kW
Écart logarithmique	9.25 deg.C

	<b>Côté chaud</b>	<b>Côté froid</b>
Fluide	(Ethylene) 30%	Water
Température entrée	35 deg.C	17 deg.C
Température sortie	30 deg.C	28.7 deg.C
Débit	0.746 kg/s	0.278 kg/s

**Dates d'échangeur**

Type d'échangeur	LA14 - 40
Nombre d'échangeur en parallèle	1
Surface d'échange	0.55 m2
Fouling Factor	2693 m2K/kW

	<b>Côté chaud</b>	<b>Côté froid</b>
Pertes de charge calculées	19.84 kPa	2.88 kPa

**Dates Physiques**

	<b>Côté chaud</b>	<b>Côté froid</b>
Fluid	(Ethylene) 30%	Water
Pression	55 kPa	10 kPa
Ref. Temperature	32.5 deg.C	22.85 deg.C
Densité	1028.3 kg/m3	996.43 kg/m3
Capacité thermique	3.6468 kJ/kgK	4.1881 kJ/kgK
Conductivité Thermique	0.5699 W/m K	0.607 W/m K
Viscosité Dynamic	0.0018 Ns/m2	0.0009 Ns/m2

**JÄGGI/GÜNTNER (SCHWEIZ) AG**  
 Industriestrasse 23  
 CH-46532 Trimbach

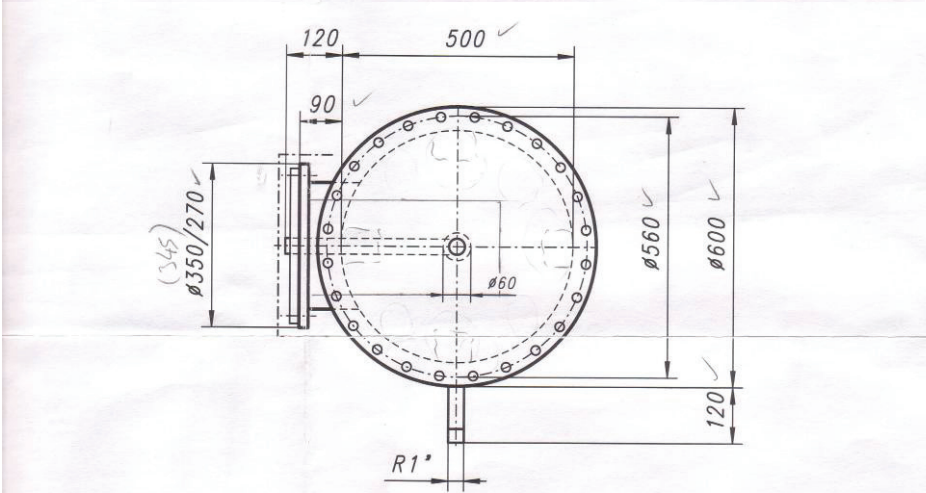
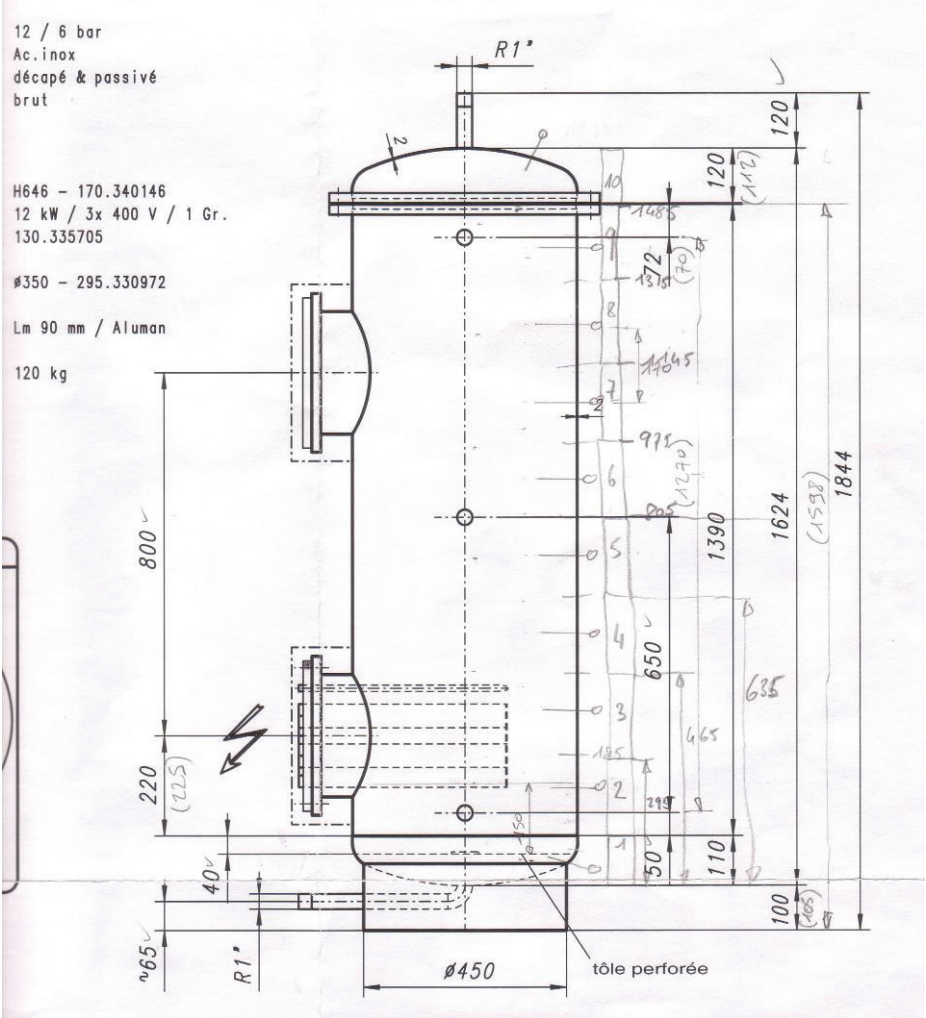
Telefon ++41 62 289 20 00  
 Telefax ++41 62 289 20 01  
 e-mail info@guentner.ch  
 www.jaeggi-guentner.ch

**Büro Zentralschweiz:**  
 Wolfisbühl 28, CH-6020 Emmenbrücke  
 Telefon/Telefax ++41 41 467 06 30  
 e-mail franz.schneider@guentner.ch


**Büro Westschweiz:**  
 Route d'Orny, CH-1372 Bevois  
 Telefon/Telefax ++41 24 441 77 43/47  
 e-mail elain.gaudard@guentner.ch



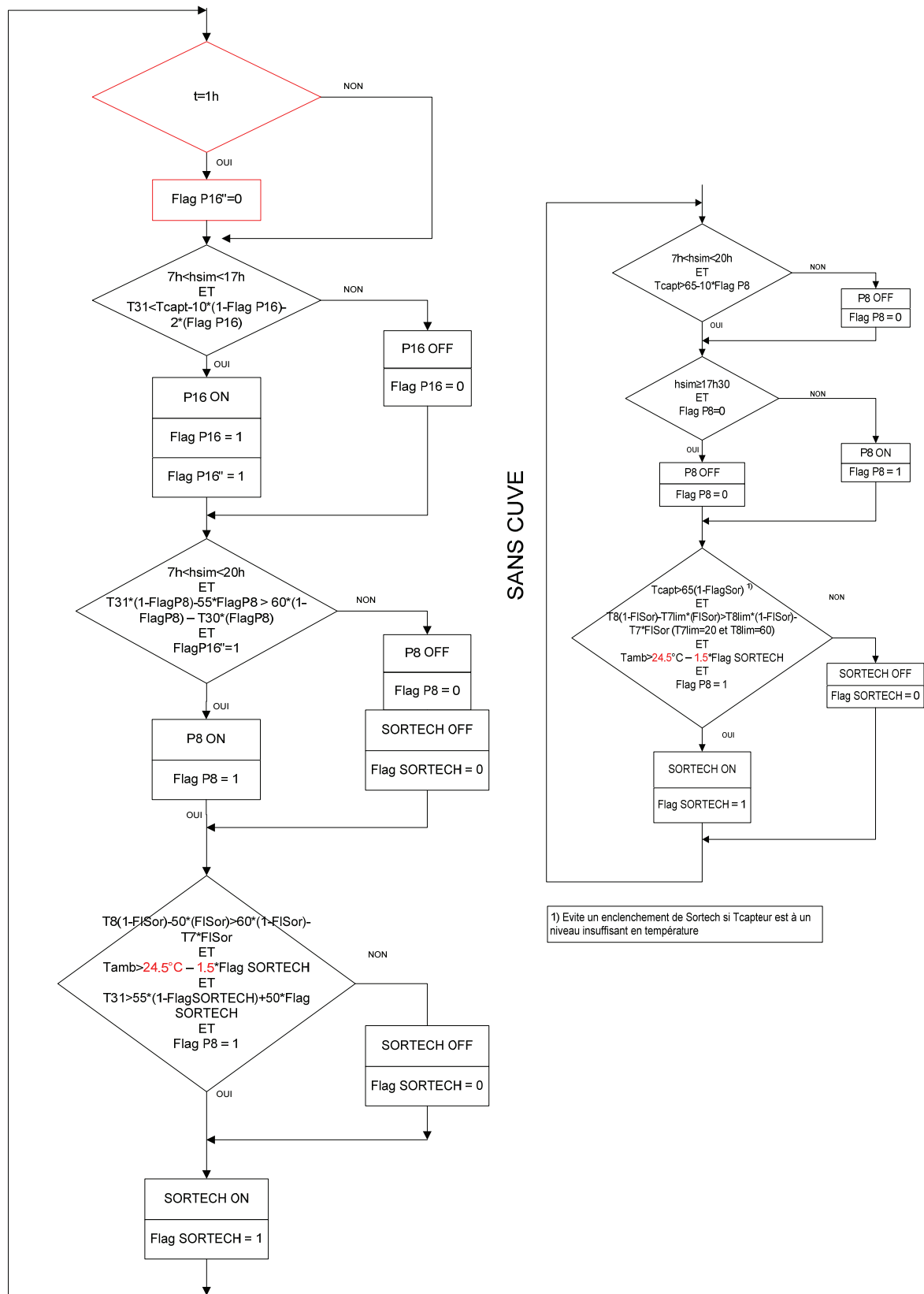
Annexe 6 : Dimensions du stock du circuit HT



Concerne: HEIG-VD, LESBAT, 1400 Yverdon-les-Bains

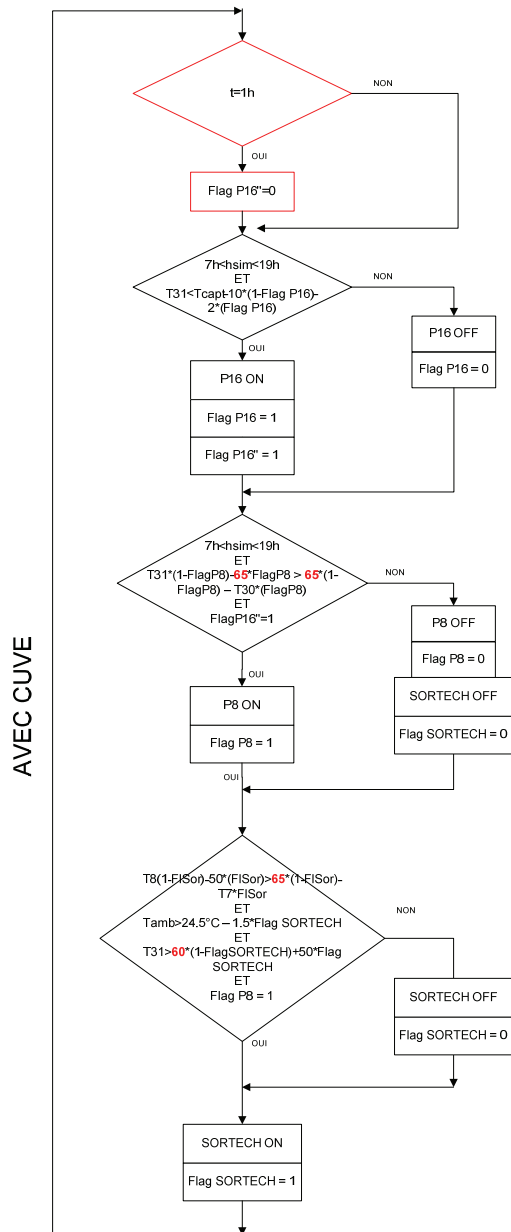
			Spécification de fabrication			
E/M 300 I ø500 inox		Echelle  1:10	Dessiné	N°spéc.: FOSPECASPSTD		
			23.05.2007	INS de soudage inox:INS.240109		
			CCS	Offre N°: 0782288 OF: 703308		
			App: 07.07996-10			
 cipag		1070 Puidoux		291	369774	a

Annexe 7 : Diagramme logique de la régulation du stand (avant modification de la régulation)



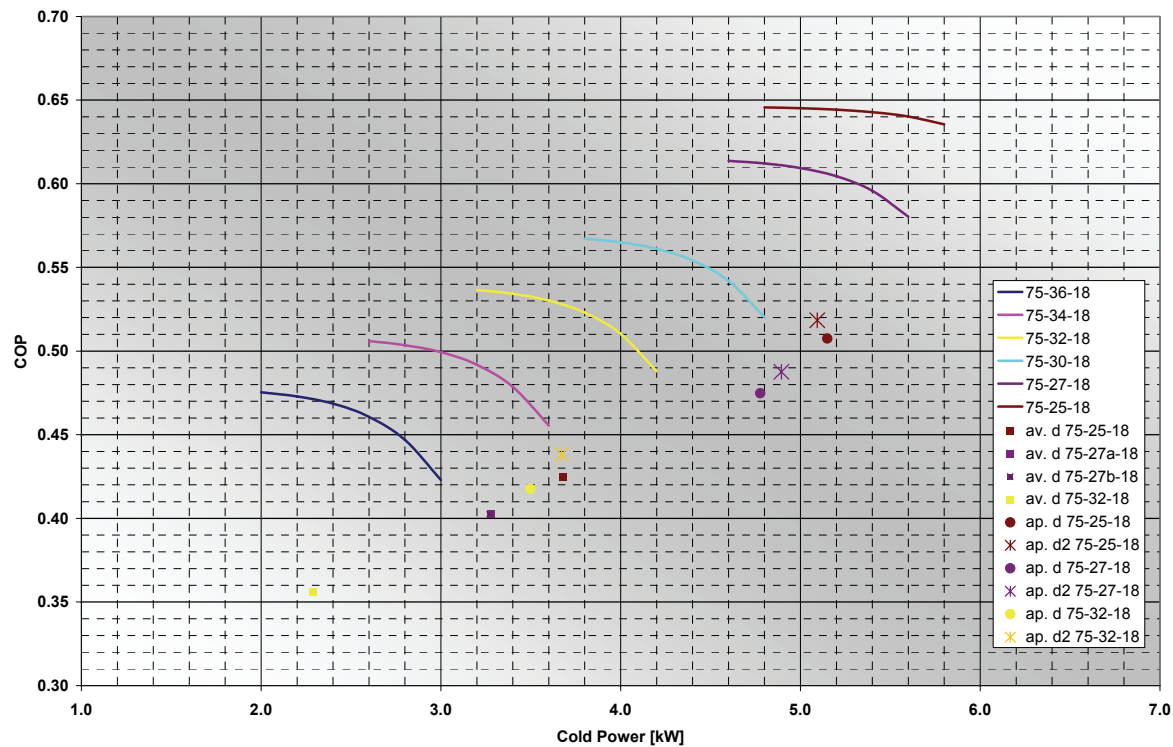
Annexe 8 : Diagramme logique de la régulation du stand (après modification de la régulation)

Programme de régulation SORTECH  
test 116



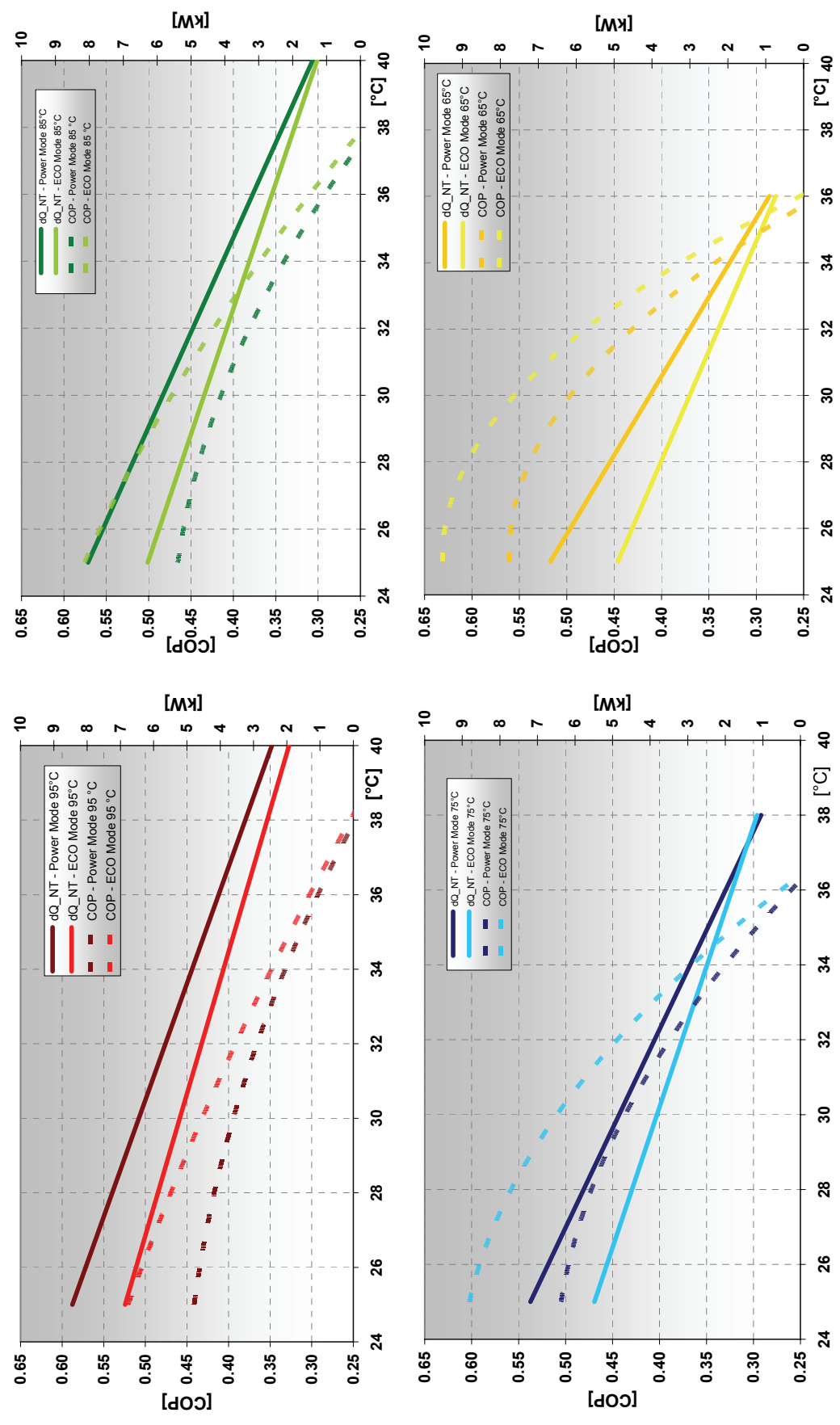


Annexe 9 : Courbes de performances ACS 05 après 2 dégazages



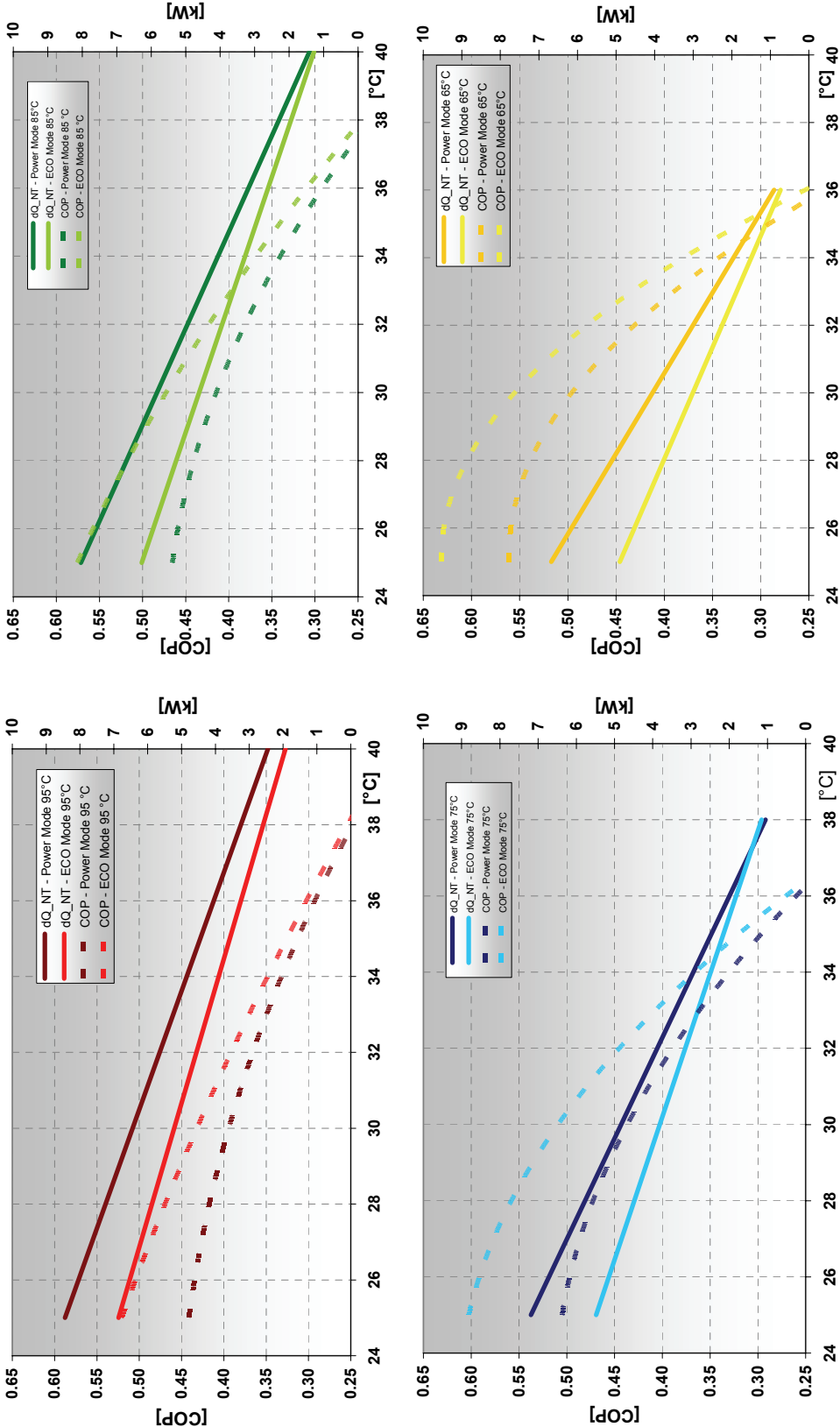
Annexe 10 : Courbes caractéristiques ACS 08 (T<sub>LT\_IN</sub> = 15°C)

Performancekennlinien ACS 08: FanCoil (T<sub>NT\_IN</sub> = 15°C)



Annexe 11 : Courbes caractéristiques ACS 08 (T<sub>LT\_IN</sub> = 18°C)

Performancekennlinien ACS 08: FanCoil (T<sub>NT\_IN</sub> = 15 °C)



Annexe 12 : Résumé de l'ensemble des tests effectués sur l'ACS 08 en mode nominal

Test n°	Mode HT	TSET [°C]	Température		Température LT [°C]	Nombre de cycle total	Durée totale du test [h]	Durée moyenne du cycle [min]	Energie		Sur tout le test		COP	Températures moyennes (entrées Sortech)		
			HT [°C]	MT [°C]					Froid [kWh]	Chaud [kWh]	Puissance froid moyenne [kW]			HT [°C]	MT [°C]	LT [°C]
1	sans cuve	15	75	25	18	3	1.34	26.83	9.799	16.696	7.304	0.59	59	74.1	24.8	17.8
2		15	75	27	18	8	2.07	15.50	15.996	31.928	7.740	0.50	50	74.1	26.8	18.0
3		15	75	30	18	10	2.28	13.65	14.678	30.262	6.452	0.49	49	74.4	29.9	18.0
4		15	75	32	18	6	1.38	16.51	16.516	7.282	5.264	0.37	37	74.5	32.1	18.0
5	sans cuve	15	75	34	18	9	2.02	13.44	8.018	21.723	3.976	0.32	32	74.6	34.1	18.0
6		15	75	36	18	6	1.36	13.58	4.028	12.729	2.965	0.26	26	74.7	36.1	18.0
7		15	75	38	18	8	1.89	14.19	3.896	15.148	2.060	0.26	26	74.8	38.1	18.0
8		15	85	25	18	3	1.77	35.33	12.557	20.318	7.108	0.62	62	81.7	24.8	17.6
9	sans cuve	15	85	27	18	6	2.27	22.67	17.484	31.317	7.714	0.56	56	82.2	26.8	17.8
10		15	85	30	18	73	14.83	12.18	110.363	248.973	7.444	0.44	44	82.7	29.7	18.0
11		15	85	32	18	8	1.64	12.31	10.097	26.199	6.151	0.39	39	82.8	31.8	18.1
12		15	85	34	18	9	1.83	12.22	9.736	26.486	5.311	0.37	37	83.2	34.0	18.0
13	avec cuve	15	85	36	18	3	1.62	12.13	6.834	21.331	4.227	0.32	32	83.5	36.1	18.0
14		15	55	25	18	4	1.28	19.13	5.392	9.595	4.229	0.56	56	54.6	25.3	18.0
15		15	55	27	18	5	1.65	19.80	5.609	10.479	3.399	0.54	54	54.7	27.3	18.0
16		15	55	30	18	4	1.43	21.38	2.939	6.461	2.062	0.45	45	54.8	30.4	18.0
17	avec cuve	15	55	33	18	6	2.13	21.25	1.737	6.290	0.817	0.28	28	55.1	33.4	18.0
18		15	65	25	18	59	14.87	15.12	102.403	177.704	6.888	0.58	58	64.2	25.1	18.0
19		15	65	27	18	6	1.52	15.25	9.246	16.655	6.063	0.56	56	64.3	27.1	18.0
20		15	65	30	18	4	1.06	15.87	4.882	9.610	4.613	0.51	51	64.5	30.2	18.0
21	avec cuve	15	65	33	18	9	2.37	15.78	7.000	16.551	2.958	0.42	42	64.6	33.3	18.0
22		15	65	36	18	11	2.46	13.41	9.236	24.972	3.757	0.37	37	73.2	34.0	18.0
23		15	75	25	18	9	3.16	21.06	25.119	42.091	7.953	0.60	60	73.0	24.5	18.0
24		15	75	27	18	73	15.69	12.90	117.644	224.867	7.497	0.52	52	72.7	26.8	18.1
25	avec cuve	15	75	30	18	11	2.32	12.64	14.106	28.774	6.089	0.49	49	72.9	30.1	18.1
26		15	75	34	18	9	2.46	13.41	9.236	24.972	3.757	0.37	37	73.2	34.0	18.0
27		15	75	38	18	9	2.23	14.83	3.690	15.773	1.659	0.23	23	73.4	38.1	18.1
28		15	85	25	18	4	2.01	30.12	14.794	25.724	7.367	0.58	58	85.3	24.9	17.7
29	avec cuve	15	85	27	18	48	15.18	18.98	122.204	234.196	8.049	0.52	52	84.8	26.8	18.0
30		15	85	30	18	13	2.50	11.54	18.110	42.448	7.244	0.43	43	84.3	30.0	18.1
31		15	85	34	18	4	2.43	12.17	12.522	34.633	5.146	0.36	36	84.6	34.1	18.1
32		15	85	38	18	13	2.60	12.00	8.592	30.825	3.305	0.28	28	84.9	38.2	18.1
33	avec cuve	10	55	25	15	6	1.73	17.25	6.937	12.569	4.022	0.55	55	54.7	25.2	15.0
34		10	55	27	15	7	2.12	18.14	6.300	12.806	2.976	0.49	49	54.7	27.2	15.0
35		10	55	30	15	5	1.57	18.80	2.341	6.534	1.494	0.36	36	54.8	30.4	15.0
36		10	55	33	15	28	14.59	31.27	4.674	26.461	0.320	0.18	18	55.3	33.3	15.5
38	avec cuve	10	65	27	15	61	15.01	14.76	73.487	144.740	4.866	0.51	51	64.4	27.1	15.0
39		10	65	30	15	6	1.56	15.58	5.423	11.880	3.480	0.46	46	64.6	30.4	15.0
40		10	65	33	15	7	1.75	15.00	2.904	10.629	1.659	0.27	27	64.7	33.4	15.0
41		10	65	36	15	3	1.23	24.50	0.391	4.294	0.319	0.09	09	65.0	36.3	15.4
42	avec cuve	10	75	25	15	8	1.79	13.44	12.770	26.249	7.127	0.49	49	74.7	24.7	15.0
43		10	75	27	15	9	2.03	12.745	27.289	6.294	6.294	0.47	47	75.0	26.8	15.0
44		10	75	30	15	12	2.78	13.88	13.927	31.880	5.019	0.44	44	75.1	30.2	15.0
45		10	75	33	15	71	15.00	12.68	46.937	148.866	3.129	0.32	32	75.3	33.4	15.0
46	avec cuve	10	75	36	15	9	2.06	13.72	3.687	16.356	1.791	0.23	23	75.5	36.5	15.0
47		10	85	25	15	17	3.47	12.24	28.260	62.534	8.152	0.45	45	84.5	24.4	15.0
48		10	85	27	15	79	16.45	12.49	120.420	277.269	7.320	0.43	43	84.6	26.8	15.0
49		10	85	30	15	11	2.18	11.91	12.831	33.504	5.877	0.38	38	84.8	30.0	15.0
50	avec cuve	10	85	34	15	17	1.80	12.00	7.018	23.489	3.899	0.30	30	84.9	34.3	15.0
51		10	85	38	15	8	1.64	12.31	3.661	16.883	2.230	0.22	22	85.2	38.3	15.0

Annexe 13 : Tests en conditions stabilisées - Sans cuve – LT=18°C – Evolution du COP et de la puissance en fonction de la température d'entrée MT

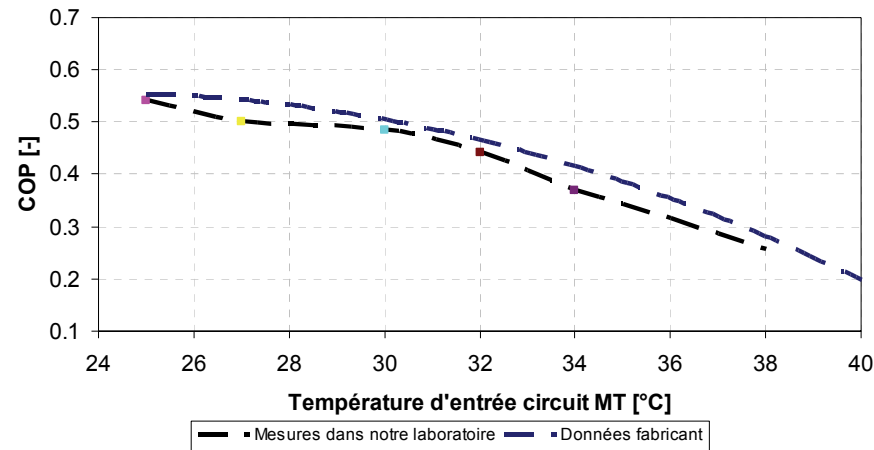


FIGURE 175 : COP THEORIQUE ET MESURE, SANS CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 75 °C

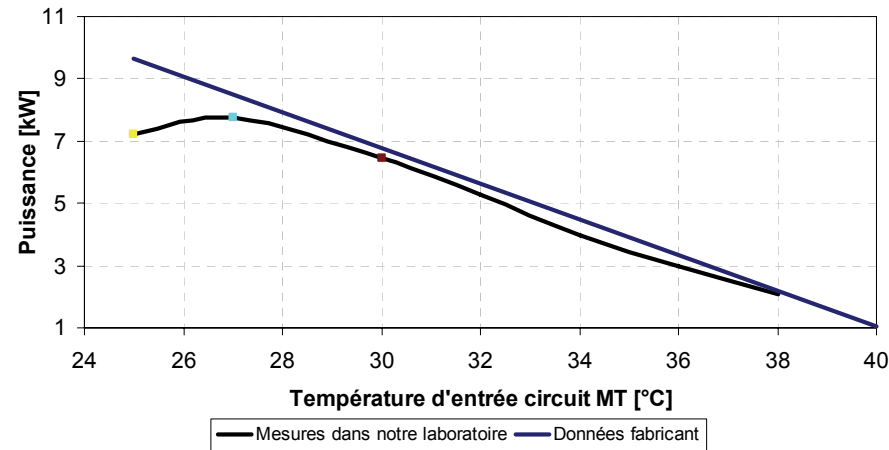


FIGURE 176 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, SANS CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 75 °C

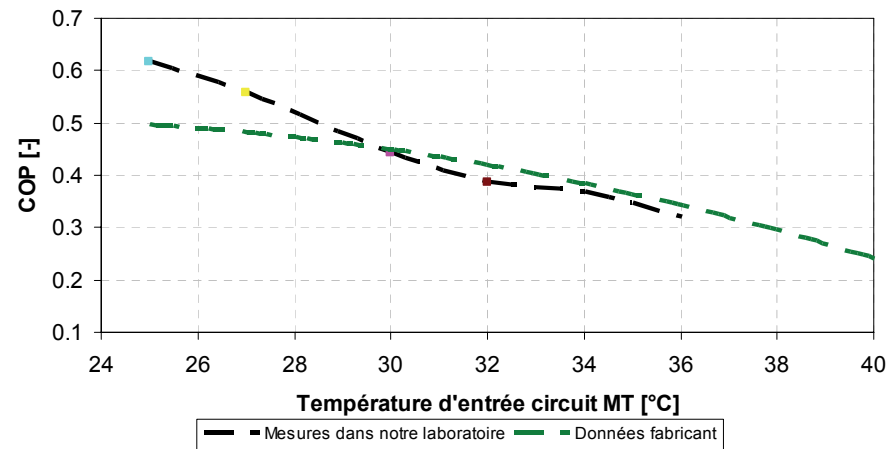


FIGURE 177 : COP THEORIQUE ET MESURE, SANS CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 85 °C

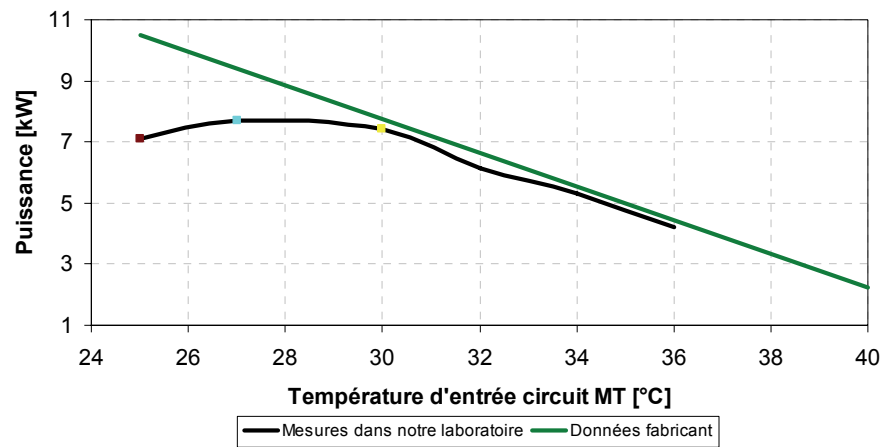


FIGURE 178 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, SANS CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 85 °C

Annexe 14 : Tests en conditions stabilisées - Avec cuve – LT=15°C – Evolution du COP en fonction de la température d'entrée MT

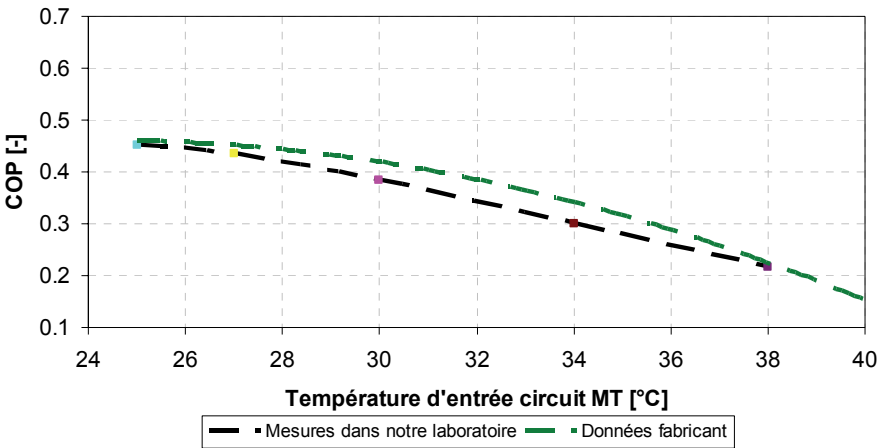


FIGURE 179 : COP THEORIQUE ET MESURE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 85 °C

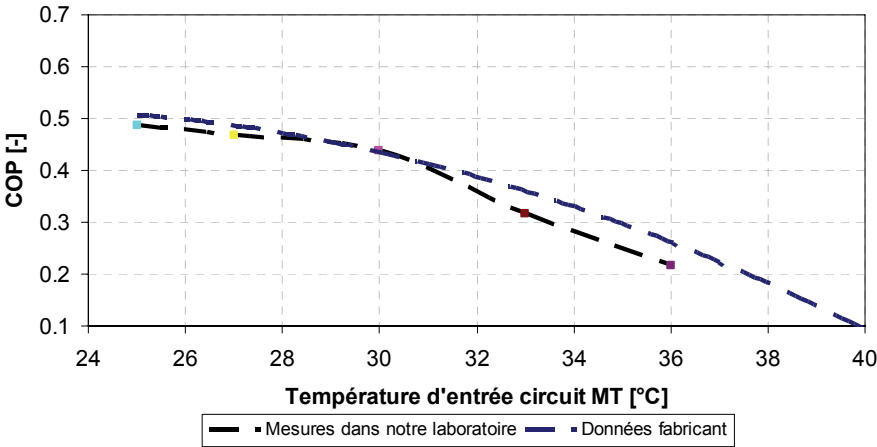


FIGURE 180 : COP THEORIQUE ET MESURE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 75 °C

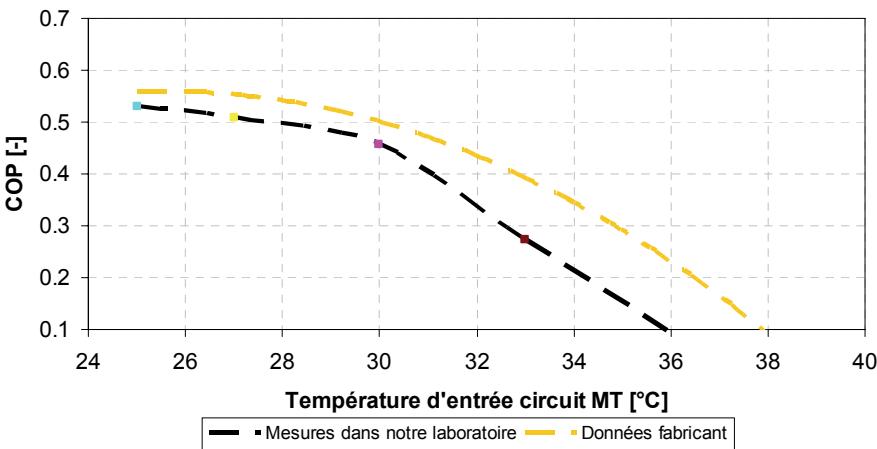


FIGURE 181 : COP THEORIQUE ET MESURE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 65 °C

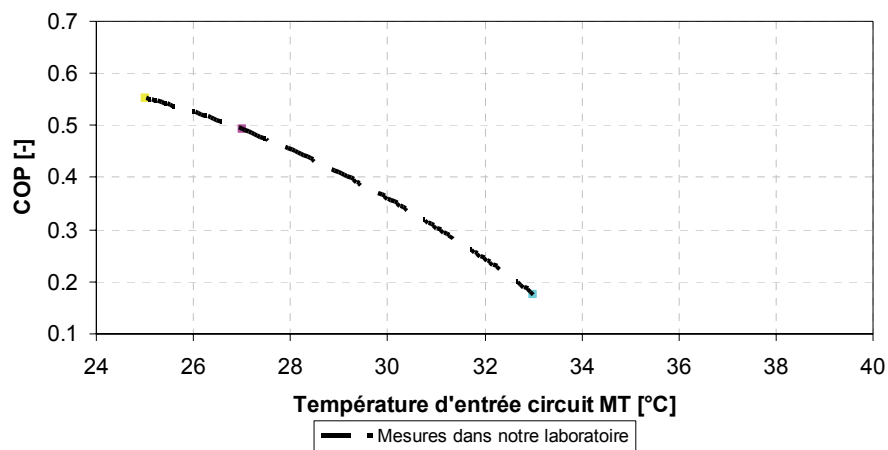


FIGURE 182 : COP THEORIQUE ET MESURE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 55 °C

Annexe 15 : Tests en conditions stabilisées - Avec cuve – LT=15°C – Evolution de la puissance en fonction de la température d'entrée MT

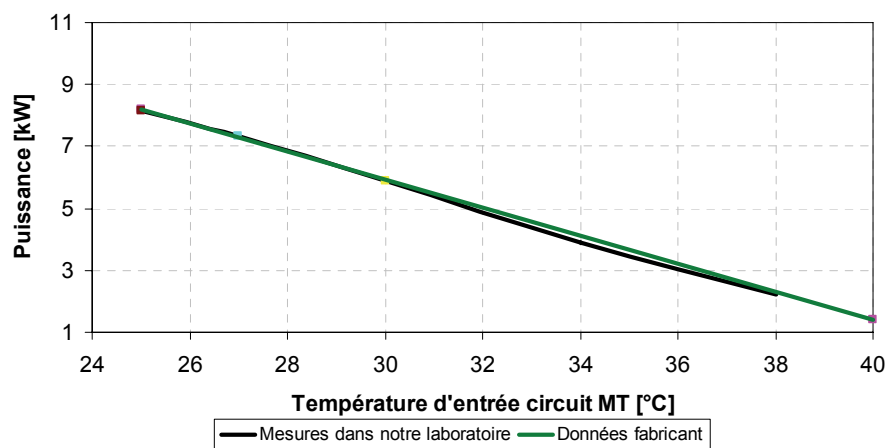


FIGURE 183 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 85 °C

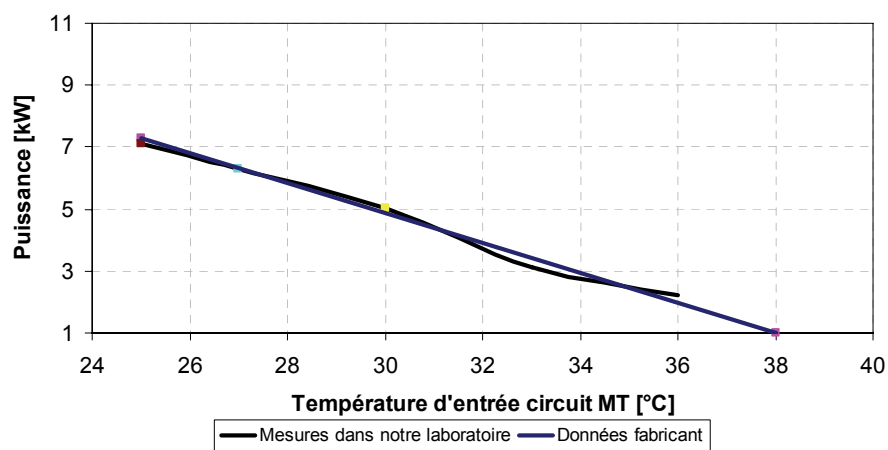


FIGURE 184 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 75 °C



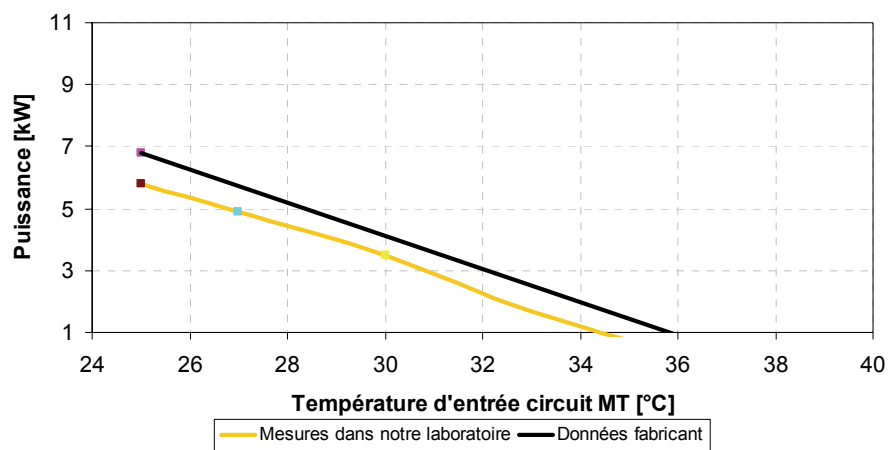


FIGURE 185 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 65 °C

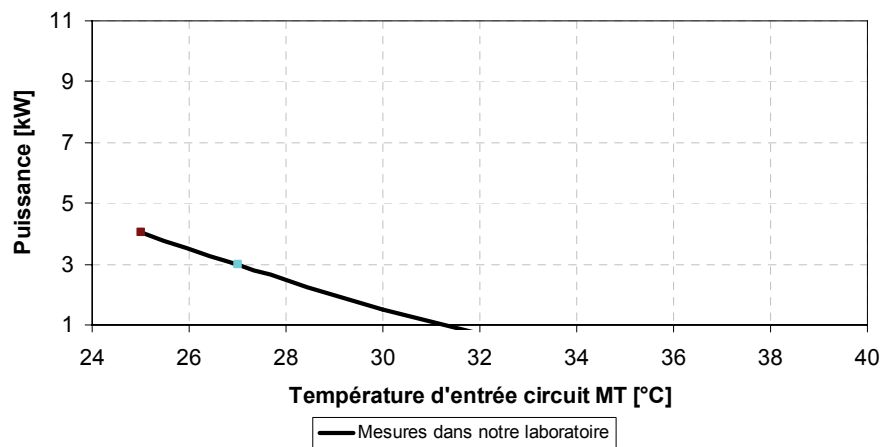
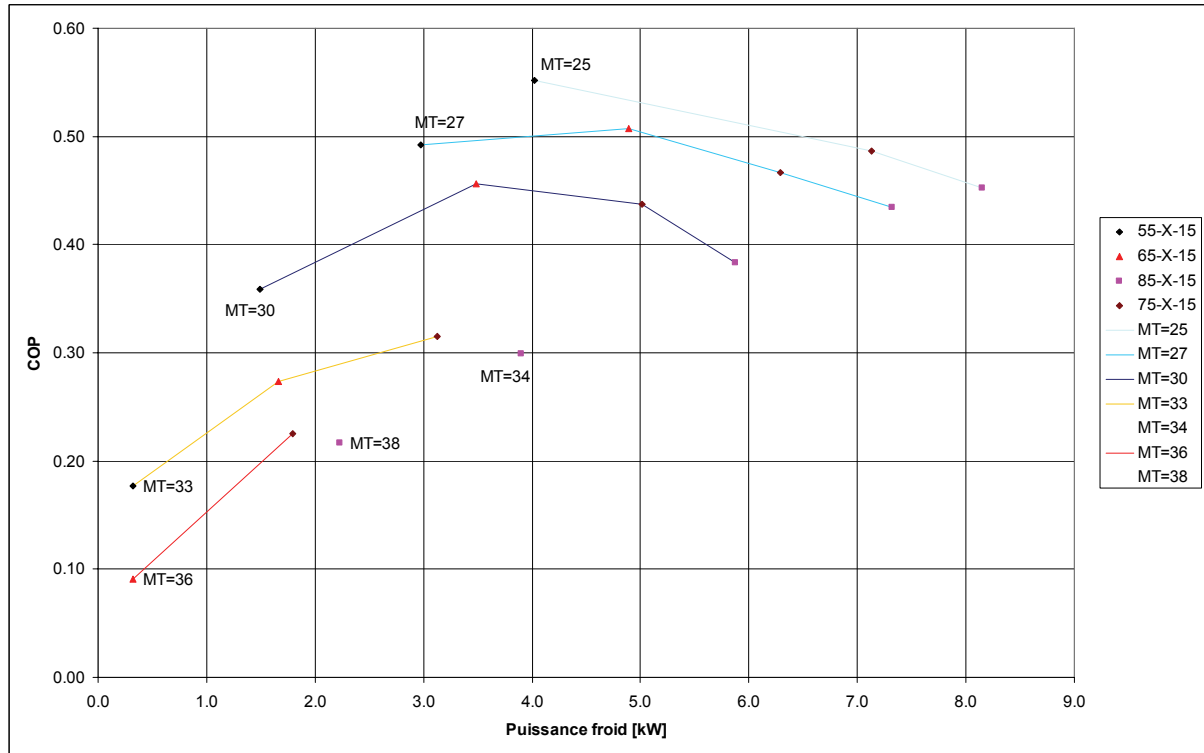


FIGURE 186 : PUISSANCE FROIDE THEORIQUE ET MESUREE, AVEC CUVE, TEMPERATURE D'ENTREE HT = 55 °C

Annexe 16 : Evolution du COP en fonction de la puissance, avec cuve, T<sub>LT</sub> = 15°C

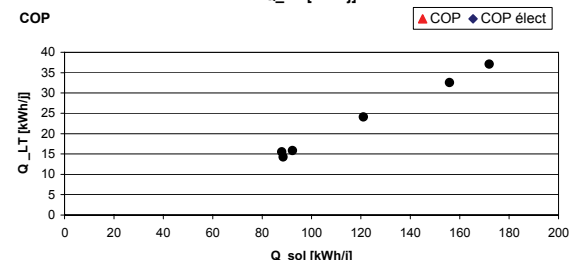
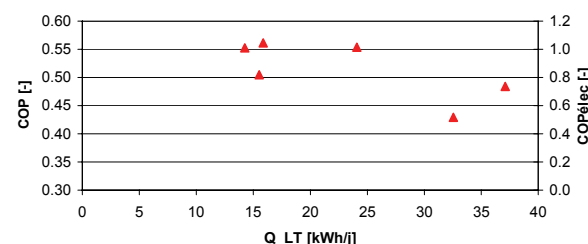
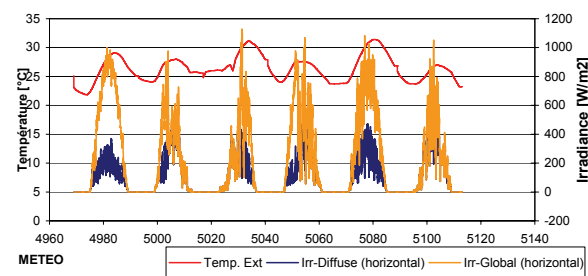


# Annexe 17 : Résumé des différents tests effectués sur la machine Sortech ACS 08

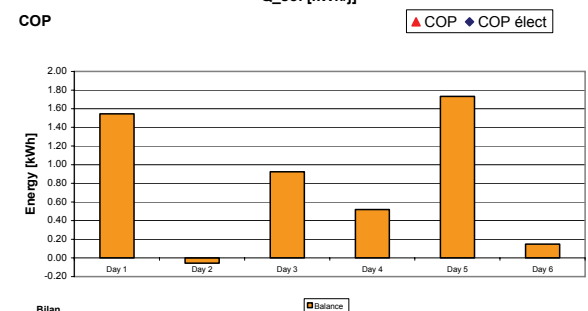
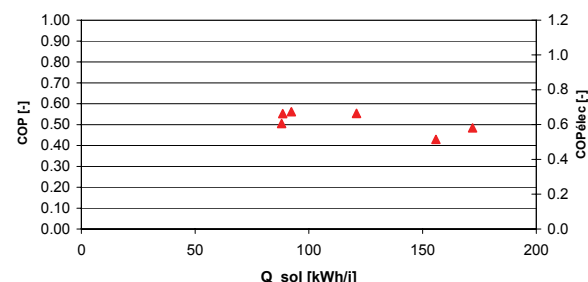
N°	Climat	Météo	Cuve	Circuit MT	Circuit LT	Tset	Remarques
103	Barcelone	Jours 208 à 213 (du 22/07 au 01/08)	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
104	Zürich	Jours 189 à 194 (du 08/07 au 13/07)	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Acquisition hors service au 2 <sup>ème</sup> jour de tests
105	Zürich	Jours 189 à 194	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
106	Zürich	Jours 189 à 194	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Coupure d'électricité générale du bâtiment
107	Zürich	Jours 189 à 194	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
108	Barcelone	Jours 208 à 213	Sans	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Mauvais paramètre régulation, stoppé après 1 jour
109	Barcelone	Jours 208 à 213	Sans	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
110	Zürich	Jours 189 à 194	Sans	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
111	Barcelone	Jours 208 et 209	Sans	S-R-S, débit MT : 3000 l/h	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
112	Barcelone	Jours 208 et 209	Avec	S-R-S, débit MT : 3000 l/h	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
113	Barcelone	Jours 208 et 209	Avec	S-R-S, débit MT : 2500 l/h	Débit LT : 2000 l/h	15°C	Test OK
114	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	Débit LT : 1600 l/h	10°C	-
115	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	Débit LT : 2000 l/h	15°C	-
116	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Avec cuve, paramètres régul différents (comme modèle)
117	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S, débit MT : 2000 l/h	2000 l/h	15°C	-
118	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Test arrêté car erreur sur régul vanne 3 voies
119	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Débit MT à 2000 l/h, selon modèle
120	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Régulation recooler à 30% et 50%, paramètres régul selon modèle, stoppé après 1 jour
121	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Régulation recooler à 30% et 50%, paramètres régul selon modèle
122	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Régulation recooler à 30% et 50%, paramètres régul selon modèle, Test avant maintenance Sortech
123	Barcelone	Jours 208 à 213	Avec	S-R-S	2000 l/h	15°C	Régulation recooler à 30% et 50%, paramètres régul selon modèle, Test après maintenance Sortech
124	Sans climat		Avec	S-A-S	2000 l/h	15°C	Conditions stabilisées
125	Sans climat		Avec	S-R-A-S	2000 l/h	15°C	Conditions stabilisées
126	Sans climat		Avec	S-A-R-S	2000 l/h	15°C	Conditions stabilisées
127	Sans climat		Avec	S-A-S	2000 l/h	15°C	Après mise en température Arpège, soutirage de 114 litres

## Annexe 18 : Résumé complet des tests effectués sur la machine ACS 08

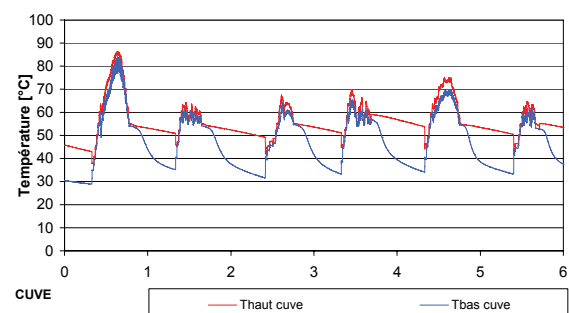
### ANALYSE COMPLETE DU TEST



Rapport Qsol et QLT



Bilan

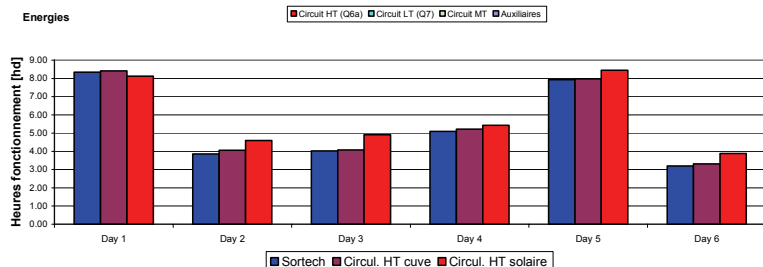
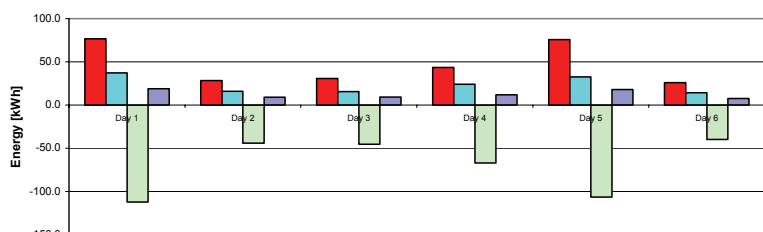


CUVE

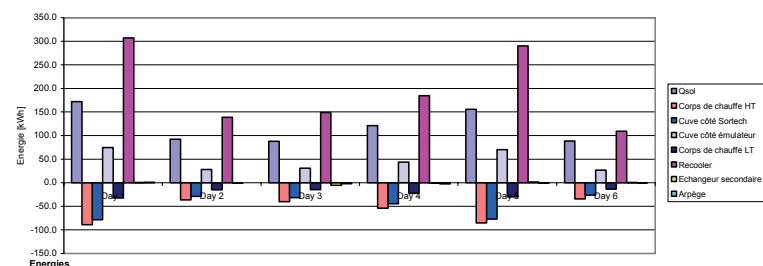
Test103	du 12.11.2009 21h	au 25.11.2009
Climat	Barcelone	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1	MIX1 (208/209/210/211/212/213)

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	76.7	28.3	30.7	43.5	75.8	25.8	280.8
Circuit LT (Q7)	37.1	15.9	15.5	24.1	32.5	14.3	139.4
Circuit MT	-112.2	-44.2	-45.3	-67.1	-106.6	-39.9	-415.3
Balance	1.55	-0.06	0.92	0.52	1.73	0.15	4.81
COP	0.48	0.56	0.50	0.55	0.43	0.55	0.50
COPs (Q7/Qsol)	0.22	0.17	0.18	0.20	0.21	0.16	0.19
Corps de chauffe HT	-89.0	-36.4	-39.9	-54.2	-85.1	-34.2	-338.9
Cuve côté Sortech	-78.5	-28.9	-31.3	-44.6	-77.1	-26.3	-286.8
Cuve côté émuiseur	74.7	28.0	30.6	43.7	69.9	26.8	273.8
Corps de chauffe LT	-32.5	-14.7	-14.3	-22.7	-29.7	-13.5	-127.3
Recooler	307.0	138.8	149.0	184.6	290.3	109.2	1178.9
Echangeur secondaire	0.6	-0.7	-5.6	-1.3	1.9	0.3	-4.9
Arpège	1.1	-0.1	-2.1	-2.4	-1.2	-0.4	-5.2
Puissances électriques [kW]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.34	1.13	1.14	1.46	2.22	0.93	9.22
circulateur 16 (HT solaire)	1.45	0.82	0.88	0.97	1.51	0.69	6.33
circulateur 29 (LT)	2.18	1.01	1.05	1.33	2.07	0.84	8.48
circulateur 47 (MT)	12.43	5.76	6.00	7.59	11.81	4.76	48.36
circulateur 73 (MT éch.)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
recooler (demande Sortech)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sortech	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.325	1.950
Somme	18.74	9.05	9.40	11.68	17.34	7.55	74.36
COP élect							
Fonctionnement [h]							
Sortech	8.34	3.87	4.03	5.10	7.93	3.20	32.47
Circul. HT cuve	8.42	4.06	4.08	5.23	7.98	3.32	33.08
Circul. HT solaire	8.12	4.59	4.91	5.43	8.44	3.88	35.38
Consom. eau refroid. [l]							6.100
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.87	29.13	31.52	29.10	31.69	28.34	

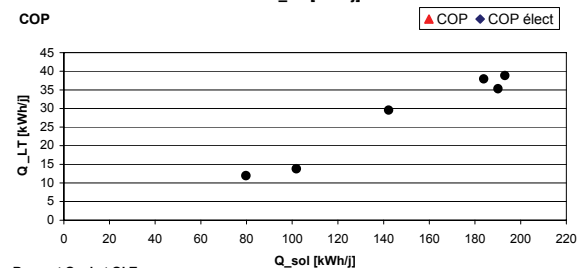
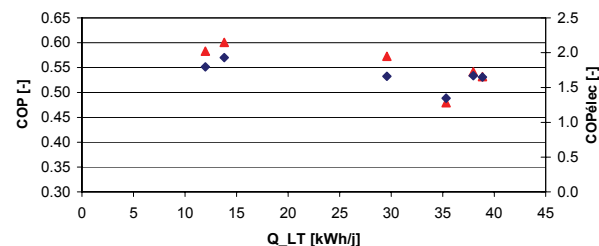
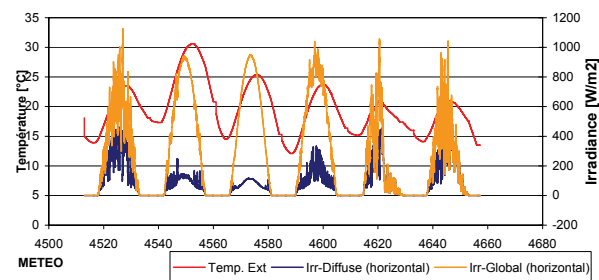


Heures fonction.

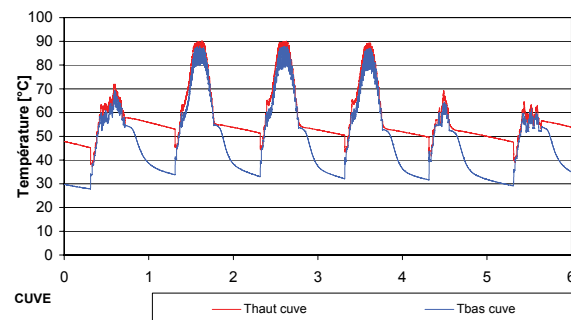
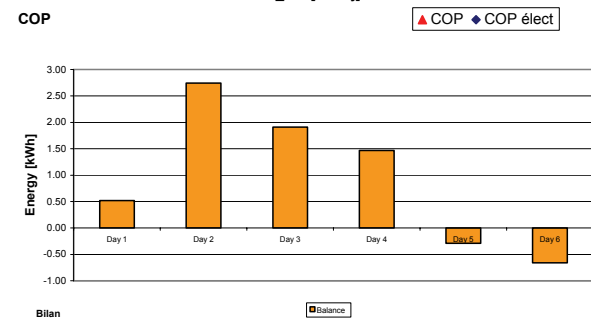
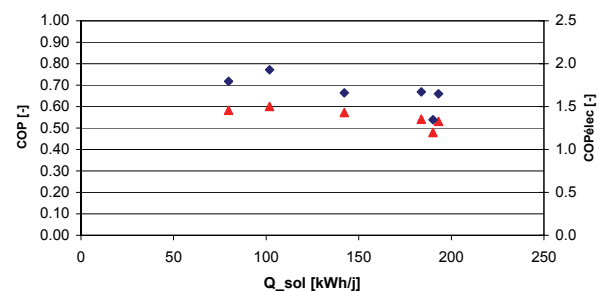


**Remarques :**  
 Modification sur fichier init Sortech (15 jours)  
 Débit nominal HT cuve 1300 l/h  
 Nouveaux paramètres TRNSYS  
 Test de base  
 Pas de sortie de la tension donnée par Sortech au recooler

# ANALYSE COMPLETE DU TEST

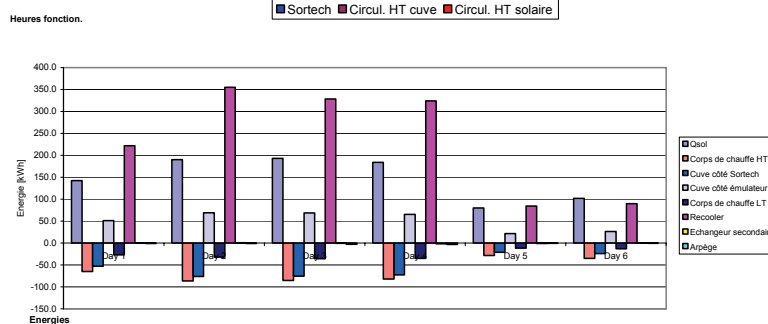
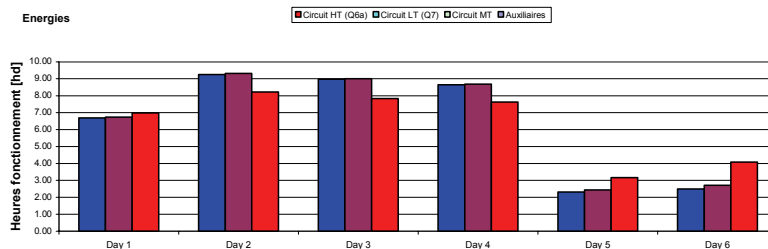
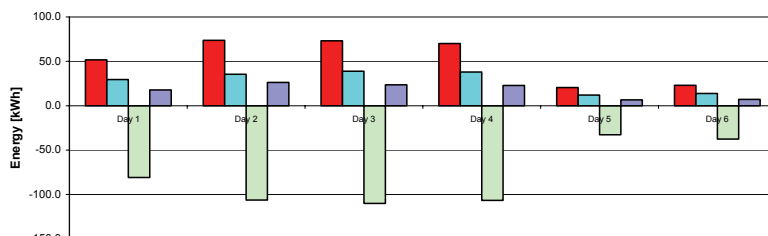


Rapport Qsol et QLT



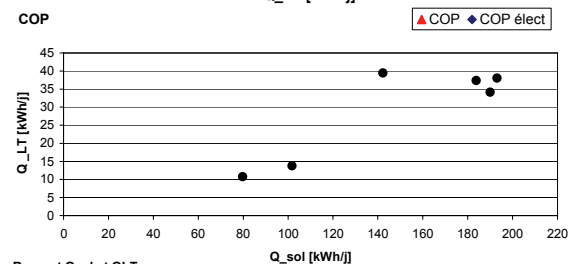
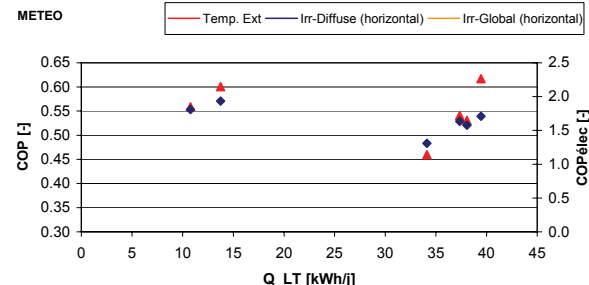
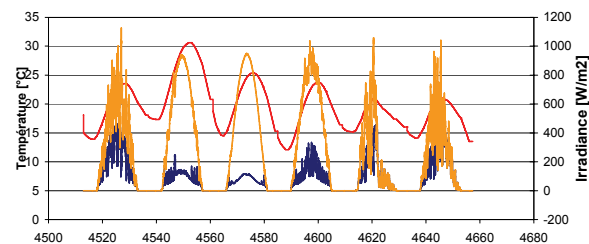
Test105	du 27.11.2009	au 03.12.2009
Climat	Zurich	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m <sup>2</sup>	
Météo	Zuermix1	MIX1 (189/190/191/192/193/194)

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	142.2	190.1	193.1	183.8	79.7	101.8	890.7
Circuit HT (Q6a)	51.6	73.7	73.1	70.1	20.5	23.0	312.0
Circuit LT (Q7)	29.6	35.3	38.9	38.0	12.0	13.8	167.5
Circuit MT	-80.7	-106.3	-110.0	-106.6	-32.8	-37.5	-473.8
Balance	0.52	2.74	1.91	1.47	-0.29	-0.66	5.69
COP	0.57	0.48	0.53	0.54	0.58	0.60	0.54
COPs (Q7/Qsol)	0.21	0.19	0.20	0.21	0.15	0.14	0.19
Corps de chauffe HT	-65.0	-86.6	-85.4	-82.1	-28.6	-34.9	-382.5
Cuve côté Sortech	-52.8	-76.3	-75.6	-72.5	-21.1	-23.8	-322.0
Cuve côté émulateur	51.3	68.8	68.5	65.4	21.7	26.2	301.9
Corps de chauffe LT	-27.2	-32.0	-35.7	-35.0	-11.4	-13.2	-154.4
Recooler	221.9	355.0	328.2	323.9	84.5	89.9	1403.5
Echangeur secondaire	-0.4	0.8	-0.9	-1.7	-1.1	0.3	-2.9
Arpège	-1.3	-1.2	-2.7	-3.3	-0.8	-0.7	-10.1
Puissances électriques (kWh)							
circulateur 8 (HT cuve)	1.88	2.60	2.52	2.42	0.68	0.75	10.85
circulateur 16 (HT solaire)	1.26	1.48	1.41	1.38	0.57	0.74	6.84
circulateur 29 (LT)	1.75	2.41	2.34	2.26	0.60	0.65	10.02
circulateur 47 (MT)	9.95	13.83	13.38	12.88	3.44	3.71	57.20
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.08
recooler (demande Sortech)	2.67	5.60	3.59	3.46	1.07	1.00	17.39
Sortech	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.3	1.800
Somme	17.81	26.24	23.57	22.72	6.67	7.16	104.17
COP élect	1.66	1.35	1.65	1.67	1.80	1.93	1.61
Fonctionnement [h/d]							
Sortech	6.69	9.25	8.98	8.64	2.32	2.50	38.38
Circul. HT cuve	6.74	9.32	9.01	8.68	2.44	2.71	38.90
Circul. HT solaire	6.98	8.22	7.83	7.63	3.17	4.08	37.91
Consom. eau refroid. [l]							13.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	24.73	30.50	26.31	24.71	22.65	22.65	

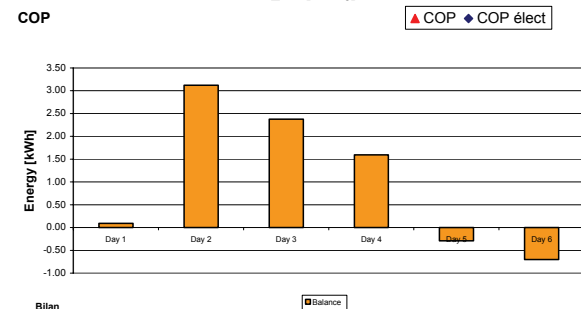
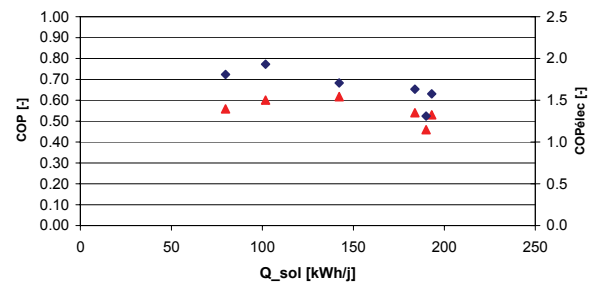


Remarques :  
Test de base

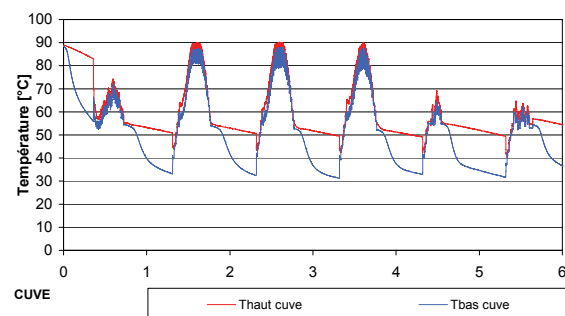
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Rapport Qsol et QLT



Bilan

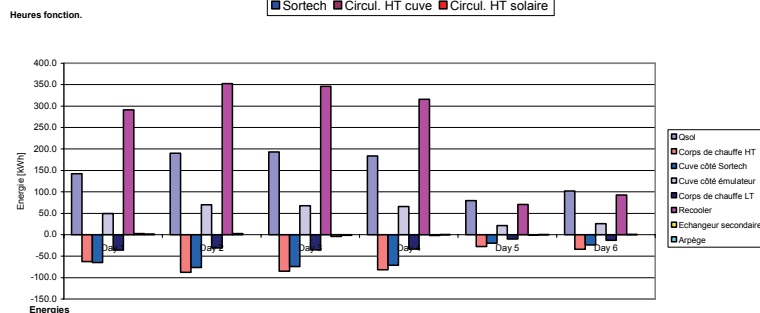
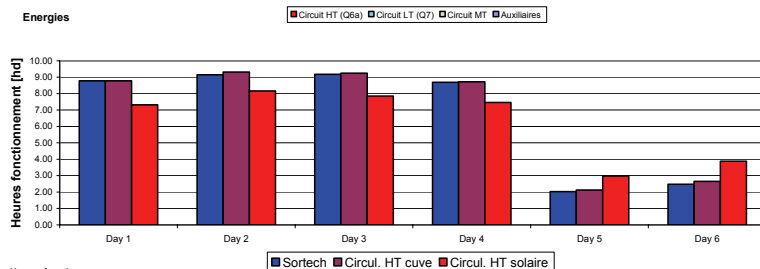
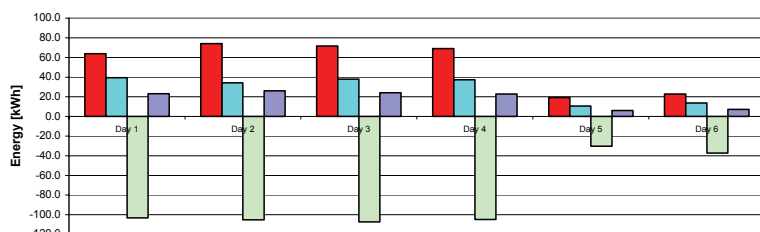


CUVE

Test107	du 07.12.2009	au 14.12.2009
Climat	Zurich	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Zuermix1	MIX1 (189/190/191/192/193/194)

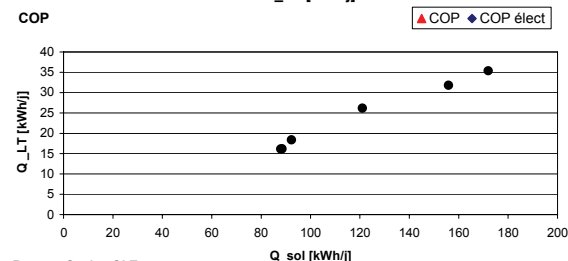
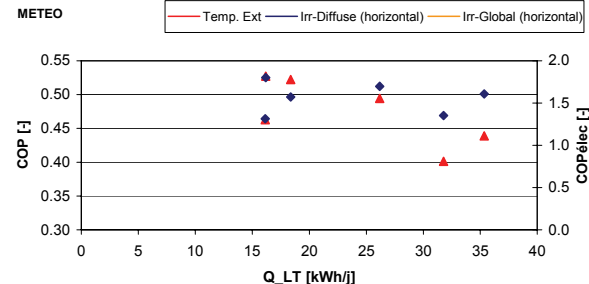
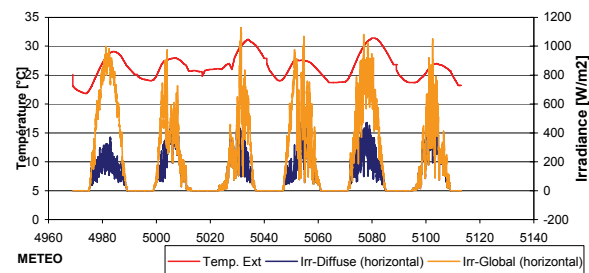
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	142.2	190.1	193.1	183.8	79.8	101.8	890.7
Circuit HT (Q6a)	63.9	74.2	71.7	69.1	19.3	22.9	321.1
Circuit LT (Q7)	39.5	34.1	38.1	37.3	10.8	13.7	173.6
Circuit MT	-103.3	-105.2	-107.4	-104.8	-30.3	-37.3	-488.4
Balance	0.09	3.12	2.38	1.59	-0.29	-0.70	6.19
COP	0.62	0.46	0.53	0.54	0.56	0.60	0.54
COPs (Q7/Qsol)	0.28	0.18	0.20	0.20	0.14	0.14	0.19
Corps de chauffe HT	-62.9	-87.5	-85.0	-81.6	-27.6	-34.0	-378.7
Cuve côté Sortech	-64.8	-76.8	-74.3	-71.1	-19.8	-23.7	-330.5
Cuve côté émulateur	49.3	69.8	67.7	65.6	21.5	25.9	299.9
Corps de chauffe LT	-35.5	-30.8	-35.1	-33.5	-10.1	-13.0	-158.0
Recooler	291.5	352.4	346.0	316.0	70.5	92.7	1469.2
Echangeur secondaire	2.8	2.7	-4.1	-1.9	-0.5	0.8	-0.1
Arpège	1.8	-0.1	-1.4	0.3	0.2	-0.1	0.7
Puissances électriques (kW/h)							
circulateur 8 (HT cuve)	2.45	2.60	2.58	2.44	0.59	0.74	11.40
circulateur 16 (HT solaire)	1.32	1.47	1.42	1.35	0.54	0.70	6.81
circulateur 29 (LT)	2.29	2.39	2.40	2.27	0.53	0.65	10.52
circulateur 47 (MT)	13.07	13.68	13.69	12.94	3.00	3.68	60.07
circulateur 73 (MT éch.)	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.00	0.10
recooler (demande Sortech)	3.59	5.54	3.67	3.48	0.95	0.99	18.22
Sortech	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	2.060
Somme	23.10	26.03	24.11	22.86	5.96	7.11	109.18
COP élec	1.71	1.31	1.58	1.63	1.81	1.93	1.59
Fonctionnement [h/d]							
Sortech	8.78	9.15	9.18	8.69	2.03	2.48	40.30
Circul. HT cuve	8.78	9.31	9.24	8.73	2.13	2.65	40.84
Circul. HT solaire	7.31	8.16	7.85	7.47	2.98	3.88	37.64

Consom. eau refroid. [l]							103.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	24.26	30.62	26.24	24.75	22.82	22.80	

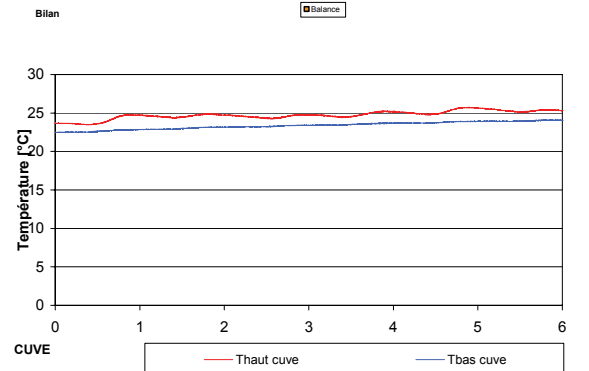
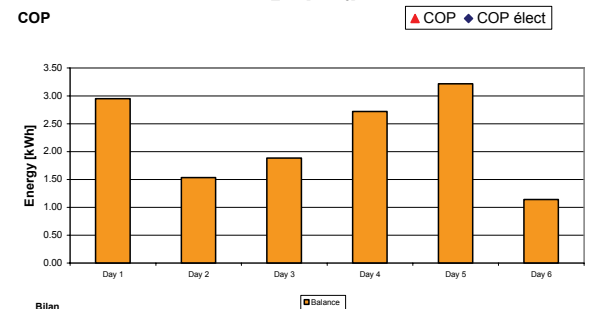
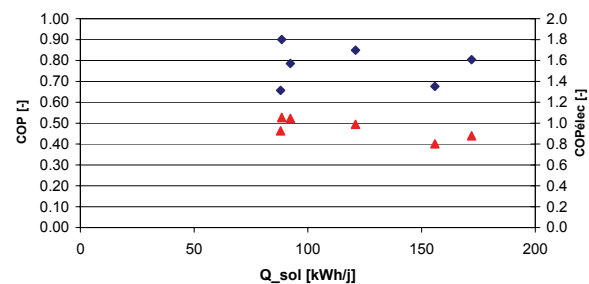


Remarques :  
Test de base

# ANALYSE COMPLETE DU TEST

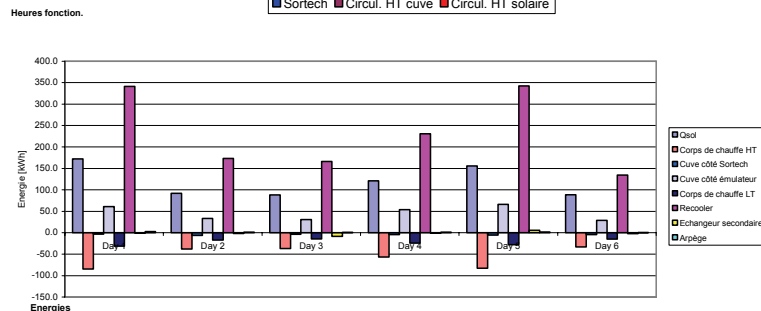
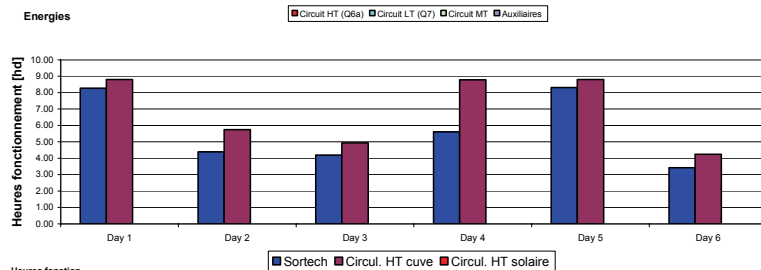
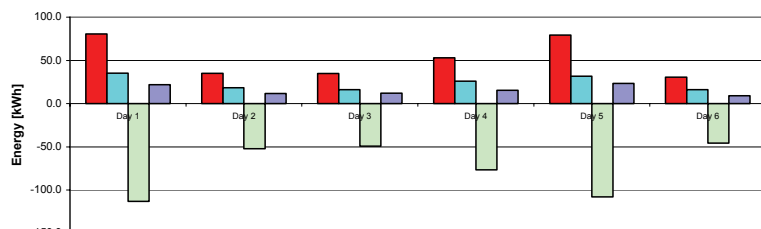


Rapport Qsol et QLT



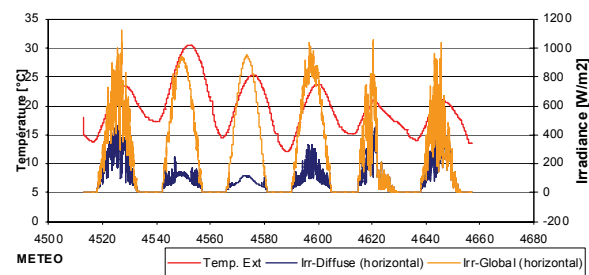
Test109	du 21.01.2010, 21h	au 7.01.2010, 7h55
Climat	Barcelone	
Mode	Sans cuve	
MT	Sortech-Recoiler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1	MIX1 (208/209/210/211/212/213)

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	80.5	35.2	34.8	53.0	79.2	30.7	313.4
Circuit LT (Q7)	35.3	18.4	16.1	26.2	31.8	16.2	144.0
Circuit MT	-112.9	-52.0	-49.1	-76.4	-107.8	-45.7	-443.9
Balance	2.95	1.54	1.88	2.72	3.27	1.14	13.44
COP	0.44	0.52	0.46	0.49	0.40	0.53	0.46
COPs (Q7/Qsol)	0.21	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.20
Corps de chauffe HT	-84.6	-38.0	-37.1	-56.7	-82.7	-33.0	-332.2
Cuve côté Sortech	-3.0	-6.3	-3.5	-4.4	-5.5	-4.4	-27.2
Cuve côté émuateur	61.1	33.4	30.8	53.8	66.5	28.8	274.4
Corps de chauffe LT	-31.2	-16.9	-14.4	-23.9	-27.9	-14.9	-129.2
Recoiler	341.1	173.4	166.2	230.7	342.5	134.5	1388.5
Echangeur secondaire	-0.9	-2.0	-8.6	-1.1	5.9	-2.3	-8.8
Arpège	2.6	1.3	1.0	1.3	1.8	0.5	8.6
Puissances électriques [kW/h]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.46	1.60	1.38	2.46	2.46	1.19	11.54
circulateur 16 (HT solaire)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
circulateur 29 (LT)	2.16	1.15	1.10	1.46	2.17	0.89	8.93
circulateur 47 (MT)	12.31	6.53	6.27	8.34	12.39	5.08	50.93
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recoiler (demande Sortech)	4.73	2.09	3.21	2.83	6.15	1.49	20.49
Sortech	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.3257	1.960
Somme	21.98	11.69	12.28	15.42	23.51	8.98	93.86
COP élect.	1.61	1.57	1.31	1.70	1.35	1.60	1.53
Fonctionnement [h/d]							
Sortech	8.27	4.38	4.20	5.60	8.32	3.42	34.18
Circul. HT cuve	8.80	5.75	4.93	8.78	8.80	4.25	41.32
Circul. HT solaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Consom. eau refroi. [l]							3.600
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.81	29.26	31.57	29.14	31.65	28.45	

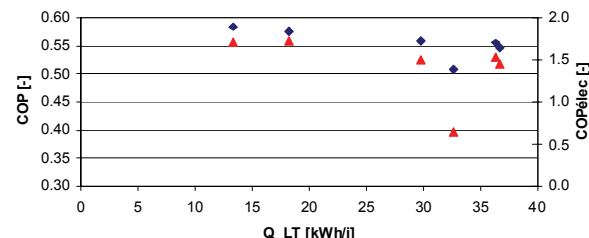


Remarques :

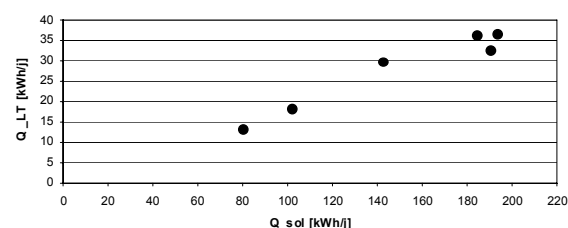
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



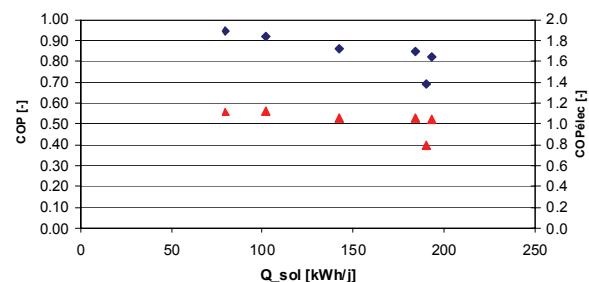
METEO



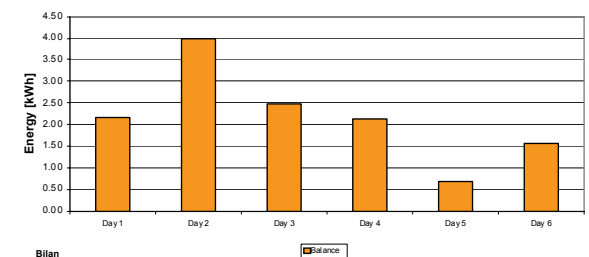
COP



Rapport Qsol et QLT



COP



Bilan

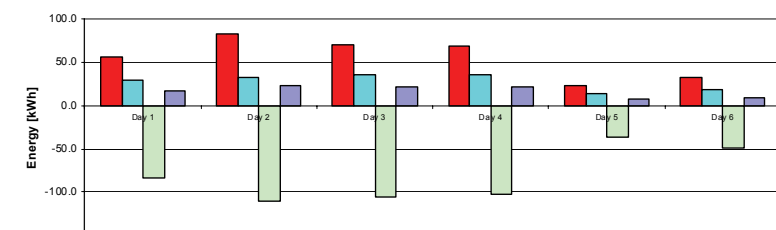
Balance

Test110 du 27.01.2010, 21h au 03.02.2010, 7h00

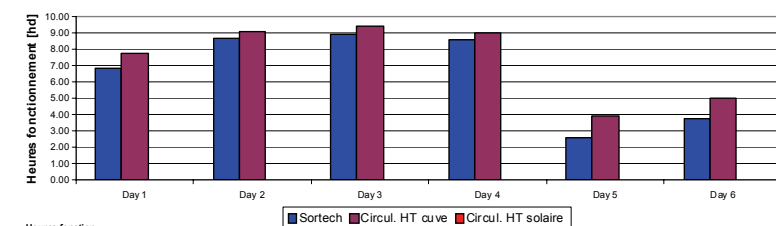
Client Zurich  
Mode Sans cuve  
MT Sortech-Recooler-Sortech  
Surface 25 m²  
Météo Zuermix1 MIX1 (189/190/191/192/193/194)

[kWh]	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
Qsol	142.2	190.1	193.1	183.8	79.8	101.8	890.7
Circuit HT (Q6a)	56.7	82.5	70.8	68.6	23.9	32.6	335.2
Circuit LT (Q7)	29.8	32.7	36.7	36.4	13.3	18.2	167.0
Circuit MT	-84.4	-111.2	-105.0	-102.8	-36.6	-49.2	-489.2
Balance	2.16	3.99	2.48	2.13	0.68	1.57	13.01
COP	0.53	0.40	0.52	0.53	0.56	0.56	0.50
COPs (Q7/Qsol)	0.21	0.17	0.19	0.20	0.17	0.18	0.19
Corps de chauffe HT	-60.4	-87.2	-75.4	-73.0	-26.5	-35.5	-358.1
Cuve côté Sortech	4.6	1.7	-5.7	-9.1	-5.9	-3.2	-17.5
Cuve côté émuateur	51.9	77.7	85.1	87.2	33.4	35.4	370.7
Corps de chauffe LT	-26.8	-28.4	-32.0	-31.8	-12.2	-16.5	-147.8
Recooler	255.2	369.6	346.9	342.1	106.1	141.6	1561.4
Echangeur secondaire	-1.7	11.4	-3.9	-6.2	-2.4	-3.7	-6.4
Arpège	-0.2	0.7	0.7	0.1	-0.2	-0.1	1.1
Puissances électriques (kWh)							
circulateur 8 (HT cuve)	2.16	2.54	2.64	2.51	1.10	1.41	12.36
circulateur 16 (HT solaire)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
circulateur 29 (LT)	1.79	2.27	2.33	2.24	0.67	0.99	10.29
circulateur 47 (MT)	10.20	12.99	13.34	12.78	3.82	5.62	58.75
circulateur 73 (MT éch.)	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05
recooler (demande Sortech)	2.79	3.48	3.55	3.50	1.11	1.51	18.05
Sortech	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.345	2.070
Somme	17.29	23.62	22.32	21.39	7.04	9.88	101.56
COP élect	1.72	1.38	1.64	1.70	1.89	1.84	1.64
Fonctionnement [h]							
Sortech	6.85	8.70	8.93	8.57	2.57	3.78	39.40
Circuit HT cuve	7.72	9.08	9.43	8.98	3.95	5.05	44.22
Circuit HT solaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

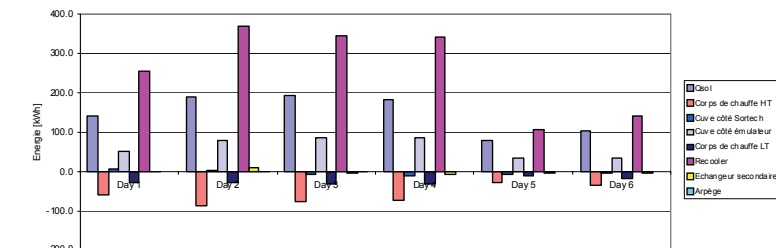
Consom. eau refroid. [l]							12.800
Tmoy MT_IN (sortech ON)	24.73	30.51	26.28	24.61	22.76	22.53	



Energies

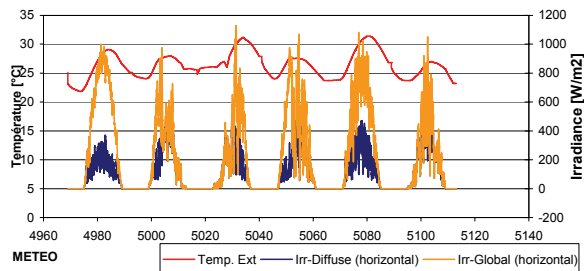


Heures fonction.

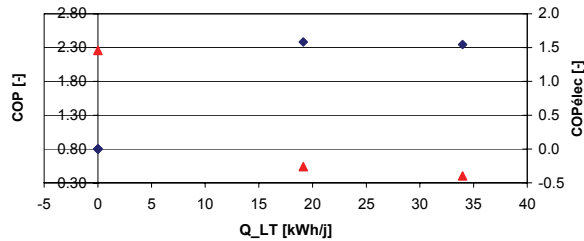




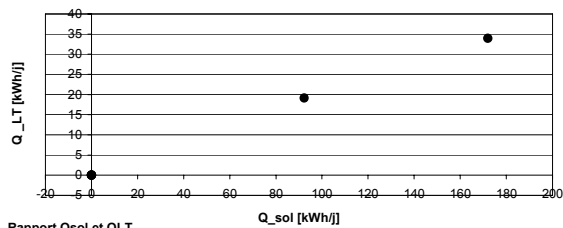
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



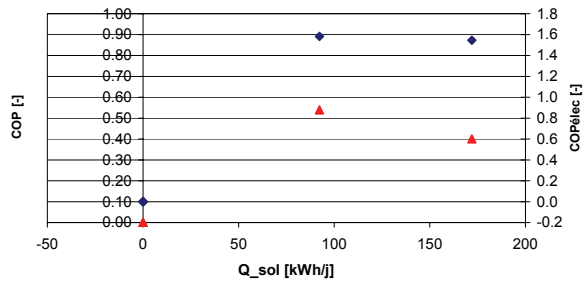
METEO



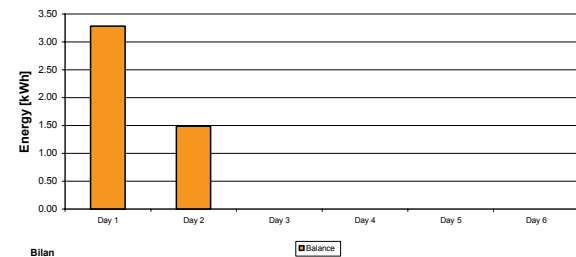
COP



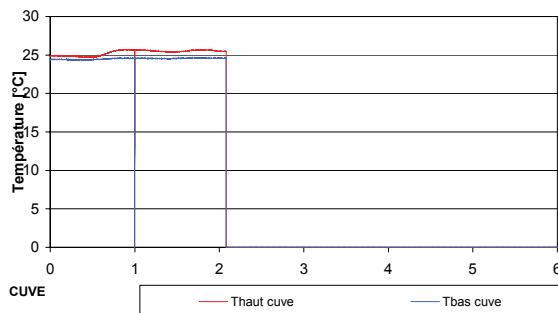
Rapport Qsol et QLT



COP



Bilan

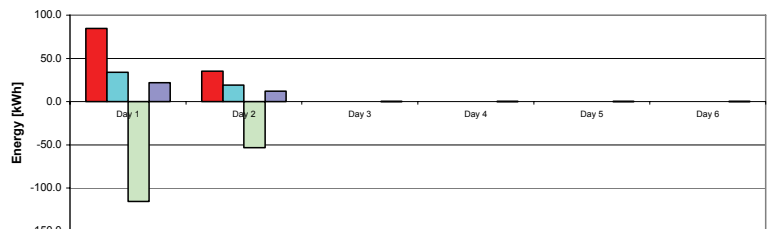


CUVE

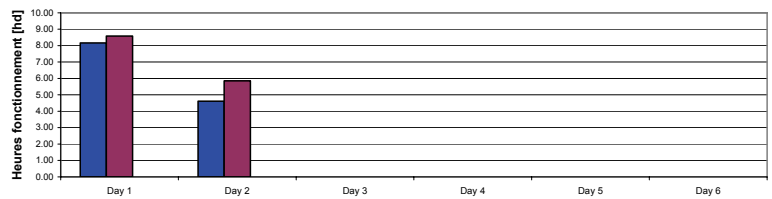
Test111	du	00.01.1900	au	00.01.1900
Climat	Barcelone			
Mode	Sans cuve			
MT	Sortech-Recooler-Sortech			
Surface	25 m²			
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)			

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	0.0	0.0	0.0	0.0	264.2
Circuit HT (Q6a)	84.8	35.4	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Circuit LT (Q7)	34.0	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	53.1
Circuit MT	-115.4	-53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-168.5
Balance	3.28	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	4.77
COP	0.40	0.54	2.26	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.44
COPs (Q7/Qsol)	0.20	0.21	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.20
Corps de chauffe HT	-88.4	-38.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-126.5
Cuve côté Sortech	4.2	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
Cuve côté émulateur	67.6	38.1	0.0	0.0	0.0	0.0	105.7
Corps de chauffe LT	-30.3	-17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-47.8
Recooler	301.9	157.8	0.0	0.0	0.0	0.0	459.8
Echangeur secondaire	1.7	-1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Arpège	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Puissances électriques [kWh]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.40	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04
circulateur 16 (HT solaire)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
circulateur 29 (LT)	2.13	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	3.34
circulateur 47 (MT)	11.76	6.65	0.00	0.00	0.00	0.00	18.40
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recooler (demande Sortech)	5.46	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	7.86
Sortech	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.610
Somme	21.95	12.10	0.20	0.20	0.20	0.20	34.25
COP élec	1.55	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55
Fonctionnement [h]							
Sortech	8.17	4.62	0.00	0.00	0.00	0.00	12.78
Circul. HT cuve	8.58	5.85	0.00	0.00	0.00	0.00	14.43
Circul. HT solaire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

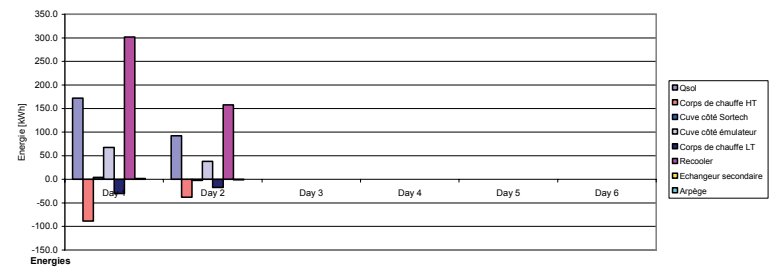
Consom. eau refroid. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.53	28.94	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	



Energies



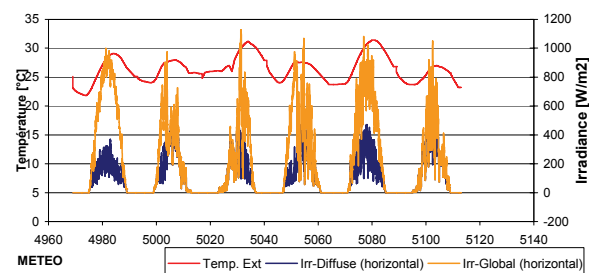
Heures fonction.



Energies

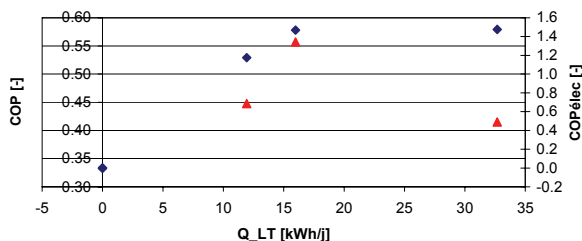
Remarques :  
Test avec débit sur MT à 3000 l/h au lieu de 3700 l/h  
LT = 2000 l/h  
MT=3000 l/h  
TSET=2000 l/h  
TSET 15

# ANALYSE COMPLETE DU TEST



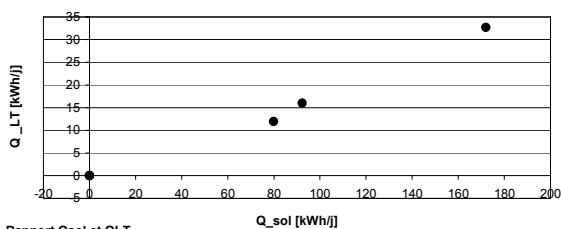
METEO

— Temp. Ext — Irr-Diffuse (horizontal) — Irr-Global (horizontal)

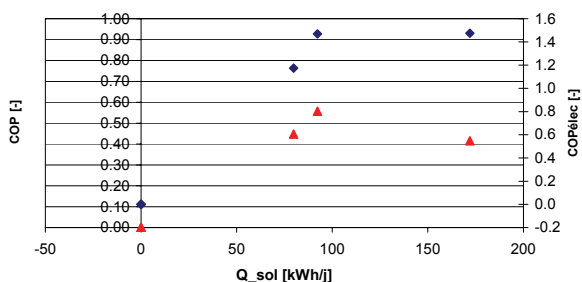


COP

▲ COP ◆ COP élec

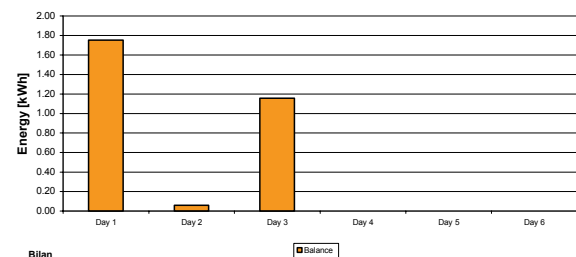


Rapport Qsol et QLT



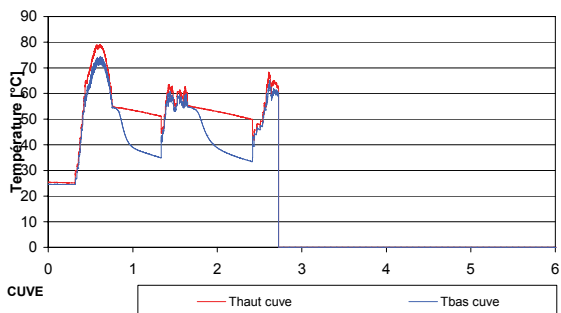
COP

▲ COP ◆ COP élec



Bilan

■ Balance



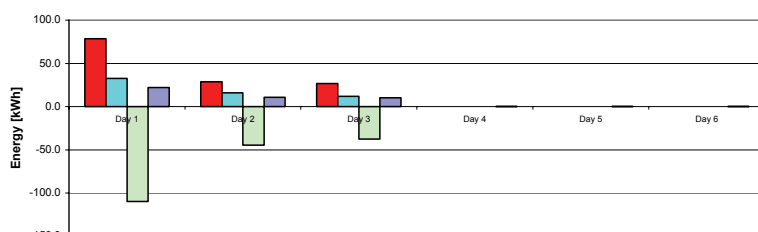
CUVE

— Thaut cuve — Tbas cuve

Test112	du 05.02.2010	au 08.02.2010
Climat	Barcelone	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)	

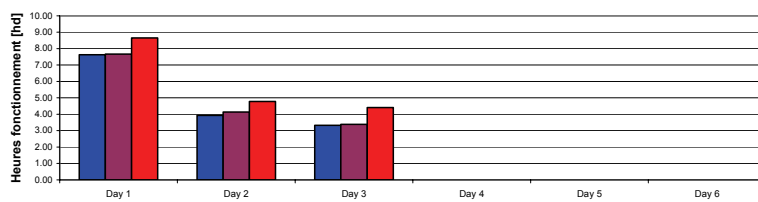
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	79.9	0.0	0.0	0.0	344.1
Circuit HT (Q6a)	78.7	28.7	26.7	0.0	0.0	0.0	134.1
Circuit LT (Q7)	32.7	16.0	11.9	0.0	0.0	0.0	60.6
Circuit MT	-109.6	-44.6	-37.5	0.0	0.0	0.0	-191.7
Balance	1.75	0.06	1.16	0.00	0.00	0.00	2.97
COP	0.42	0.56	0.45	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.45
COPs (Q7/Qsol)	0.19	0.17	0.15	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.18
Corps de chauffe HT	-95.3	-36.8	-36.9	0.0	0.0	0.0	-168.9
Cuve côté Sortech	-80.0	-29.3	-27.1	0.0	0.0	0.0	-136.4
Cuve côté émulateur	78.2	27.7	28.4	0.0	0.0	0.0	134.3
Corps de chauffe LT	-28.8	-14.7	-10.9	0.0	0.0	0.0	-54.5
Recooler	280.5	133.0	113.7	0.0	0.0	0.0	527.1
Echangeur secondaire	-3.8	-4.7	-7.9	0.0	0.0	0.0	-16.4
Arpège	0.5	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.6
Puissances électriques [kWh]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.14	1.16	0.94	0.00	0.00	0.00	4.25
circulateur 16 (HT solaire)	1.57	0.86	0.79	0.00	0.00	0.00	3.23
circulateur 29 (LT)	1.99	1.03	0.87	0.00	0.00	0.00	3.89
circulateur 47 (MT)	10.98	5.66	4.79	0.00	0.00	0.00	21.42
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recooler (demande Sortech)	5.19	1.89	2.50	0.00	0.00	0.00	9.59
Sortech	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.268	0.804
Somme	22.15	10.88	10.16	0.27	0.27	0.27	43.19
COP élec	1.48	1.47	1.17	0.00	0.00	0.00	1.40
Fonctionnement [h]							
Sortech	7.63	3.93	3.33	0.00	0.00	0.00	14.88
Circul. HT cuve	7.66	4.14	3.38	0.00	0.00	0.00	15.18
Circul. HT solaire	8.65	4.78	4.41	0.00	0.00	0.00	17.84

Consom. eau refroid. [l]							-3000.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.72	29.00	31.43	#DIV/0!	#DIV/0!	####	



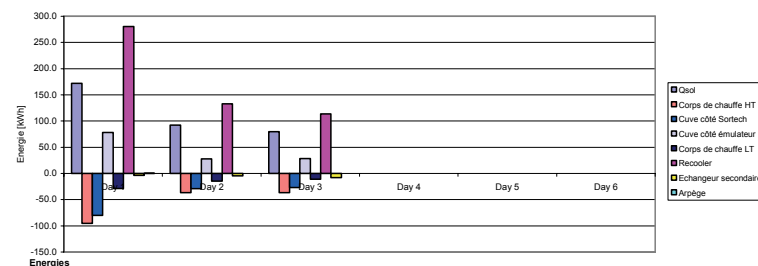
Energies

■ Circuit HT (Q6a) ■ Circuit LT (Q7) ■ Circuit MT ■ Auxiliaires



Heures fonction.

■ Sortech ■ Circul. HT cuve ■ Circul. HT solaire

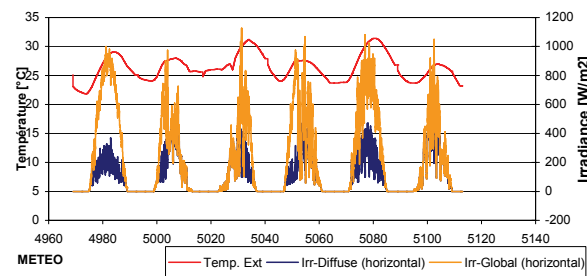


Energies

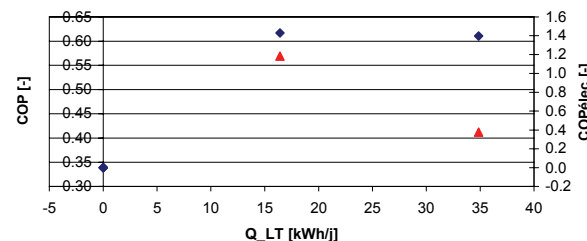
■ Qsol  
■ Corps de chauffe HT  
■ Cuve côté Sortech  
■ Cuve côté émulateur  
■ Corps de chauffe LT  
■ Recoiler  
■ Echangeur secondaire  
■ Arpège

Remarques :  
Test avec débit sur MT à 3000 l/h au lieu de 3700 l/h  
LT = 2000 l/h  
MT = 3000 l/h  
TSET 15

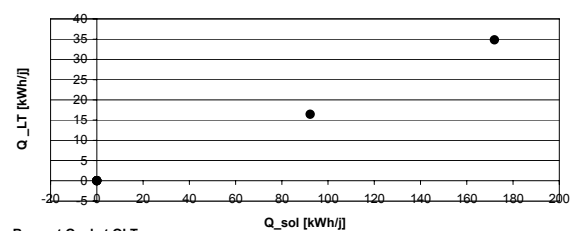
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



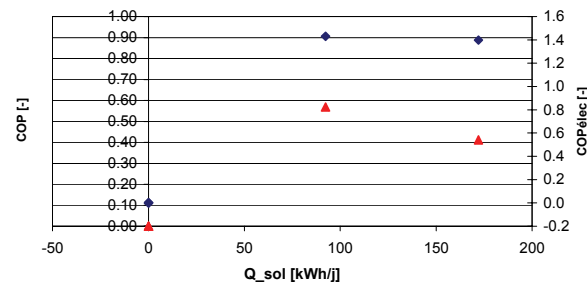
METEO



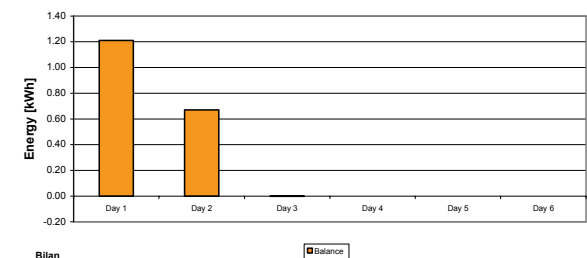
COP



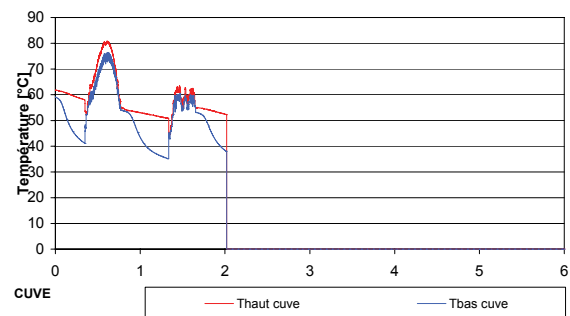
Rapport Qsol et QLT



COP

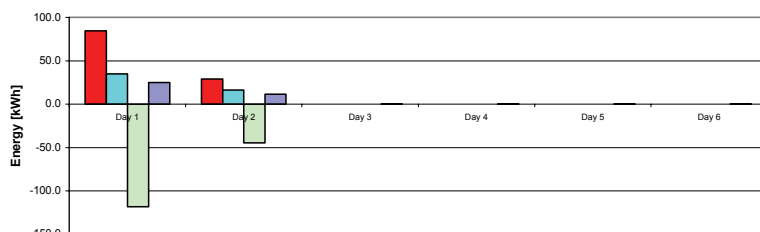


Bilan

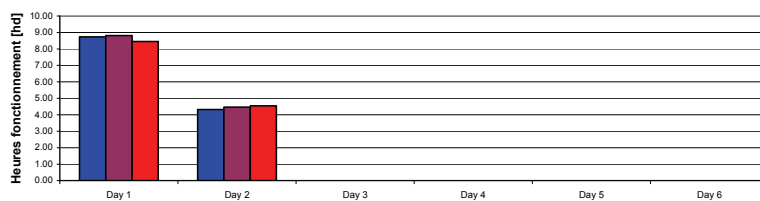


CUE

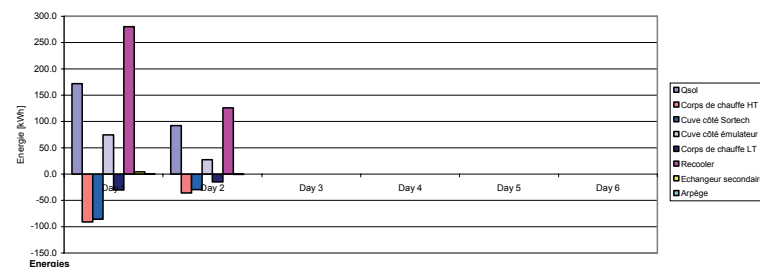
Test113 du 08.02.2010 au 10.02.2010							
Climat Barcelone							
Mode Avec cuve							
MT Sortech-Recooler-Sortech							
Surface 25 m²							
Météo Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)							
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWhj							
Qsol	172.0	92.3	0.0	0.0	0.0	0.0	264.2
Circuit HT (Q6a)	84.6	28.9	0.0	0.0	0.0	0.0	113.4
Circuit LT (Q7)	34.9	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	51.3
Circuit MT	-118.2	44.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-162.8
Balance	1.21	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88
COP	0.41	0.57	-0.03	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.45
COPs (Q7/Q6a)	0.20	0.18	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.19
Corps de chauffe HT	-90.9	-36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-127.1
Cuve côté Sortech	-85.8	-29.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-115.2
Cuve côté émuiseur	74.5	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	101.8
Corps de chauffe LT	-30.3	-14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-45.2
Recooler	280.3	126.1	0.0	0.0	0.0	0.0	406.4
Echangeur secondaire	4.3	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
Arpège	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Puissances électriques [kWh]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.46	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	3.71
circulateur 16 (HT solaire)	1.53	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
circulateur 29 (LT)	2.28	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42
circulateur 47 (MT)	12.17	6.02	0.00	0.00	0.00	0.00	18.19
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recooler (demande Sortech)	6.29	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	8.35
Sortech	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.600
Somme	24.98	11.48	0.20	0.20	0.20	0.20	36.63
COP élect	1.40	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
Fonctionnement [h/d]							
Sortech	8.73	4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	13.06
Circul. HT cuve	8.81	4.47	0.00	0.00	0.00	0.00	13.28
Circul. HT solaire	8.46	4.54	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00
Consom. eau refroi. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.36	28.88	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	



Energies

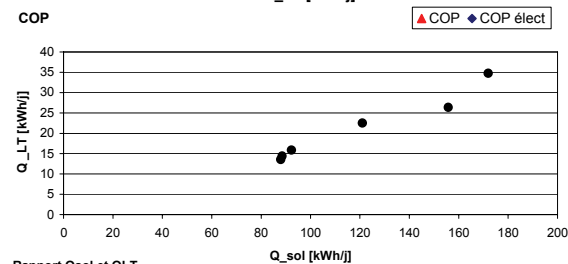
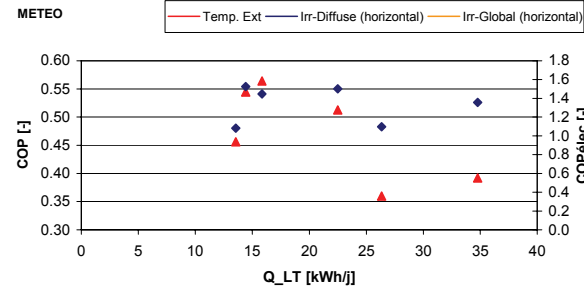
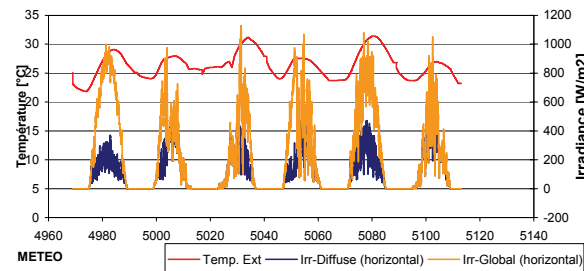


Heures fonction.

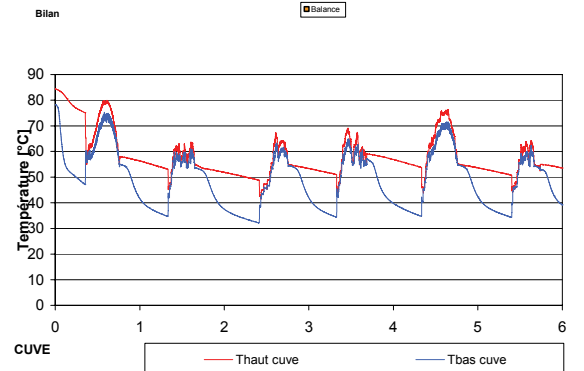
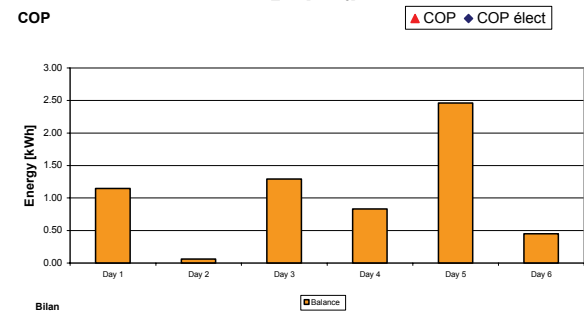
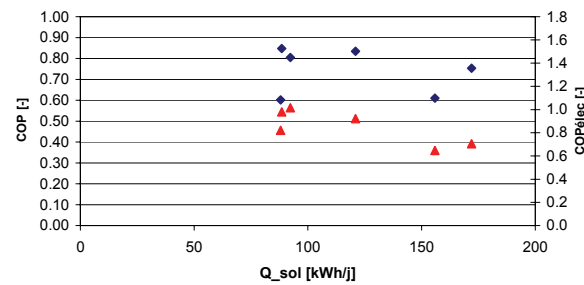


Remarques :  
Test avec débit sur MT à 2500 l/h au lieu de 3700 l/h  
Jour 1 et 2  
MT=2500 l/h  
LT=2000 l/h  
TSET 15

# ANALYSE COMPLETE DU TEST



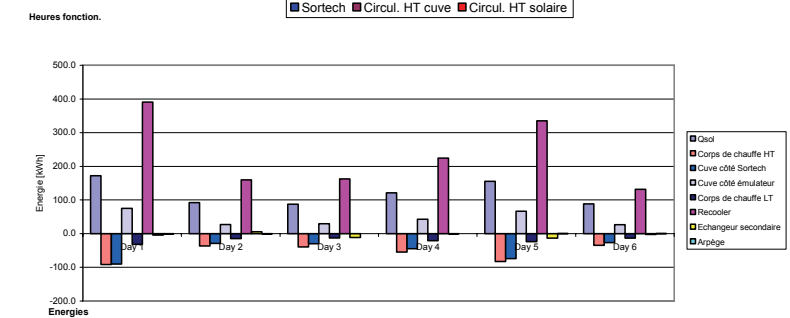
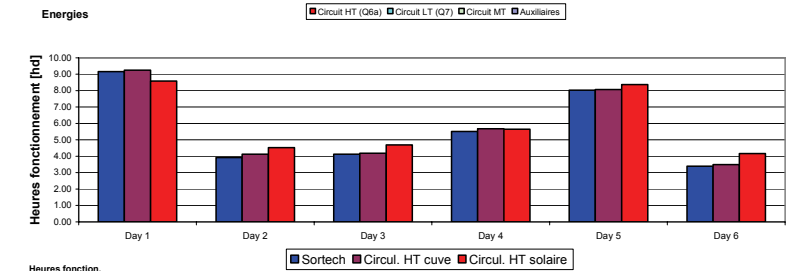
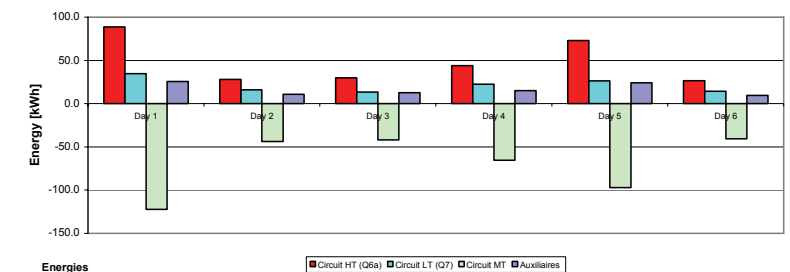
Rapport Qsol et QLT



Test114	du	11.02.2010	au	17.02.2010
Climat	Barcelone			
Mode	Avec cuve			
MT	Sortech-Recooler-Sortech			
Surface	25 m²			
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)			

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	88.7	28.1	29.7	43.9	73.2	26.5	290.0
Circuit LT (Q7)	34.8	18.6	13.6	22.5	26.3	14.4	127.4
Circuit MT	-122.3	-43.9	-42.0	-65.6	-97.0	-40.4	-411.2
Balance	1.15	0.06	1.29	0.83	2.46	0.45	6.25
COP	0.39	0.56	0.46	0.51	0.36	0.54	0.44
COPs (Q7/Qsol)	0.20	0.17	0.15	0.19	0.17	0.16	0.18
Corps de chauffe HT	-92.0	-36.3	-39.0	-54.3	-83.0	-34.6	-339.3
Cuve côté Sortech	-90.0	-28.8	-30.3	-44.8	-74.5	-26.9	-295.4
Cuve côté émuateur	75.5	27.3	29.6	43.2	66.8	26.6	268.9
Corps de chauffe LT	-31.9	-15.0	-12.6	-21.0	-23.8	-13.3	-117.5
Recoiler	390.8	159.6	162.2	223.9	335.2	131.8	1403.5
Echangeur secondaire	-4.2	5.3	-11.6	-0.8	-12.9	-2.5	-26.6
Arpège	-1.0	-0.4	-0.3	-0.1	0.4	0.2	-1.1
Puissances électriques [kW]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.59	1.15	1.17	1.59	2.26	0.98	9.73
circulateur 16 (HT solaire)	1.55	0.82	0.85	1.02	1.52	0.75	6.50
circulateur 29 (LT)	2.29	0.98	1.03	1.38	2.00	0.85	8.53
circulateur 47 (MT)	13.65	5.86	6.17	8.22	11.98	5.07	50.95
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recoiler (demande Sortech)	5.25	1.84	3.00	2.47	5.95	1.51	20.02
Sortech	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.2983	1.990
Somme	25.63	10.94	12.52	14.98	24.00	9.46	97.53
COP élec	1.36	1.45	1.08	1.50	1.10	1.52	1.31
Fonctionnement [h]							
Sortech	9.16	3.92	4.13	5.51	8.03	3.40	34.13
Circul. HT cuve	9.25	4.13	4.18	5.68	8.07	3.49	34.79
Circul. HT solaire	8.58	4.53	4.69	5.65	8.38	4.16	35.98

Consom. eau refroi. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.68	29.11	31.48	29.10	31.70	28.31	



Remarques :

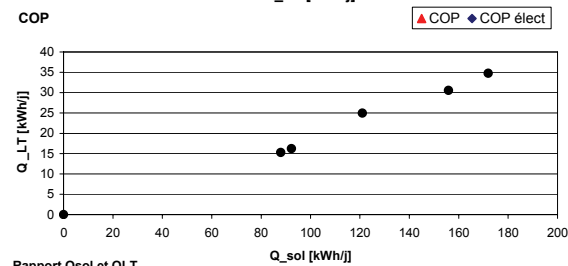
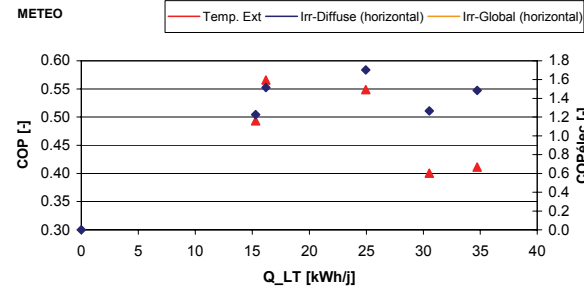
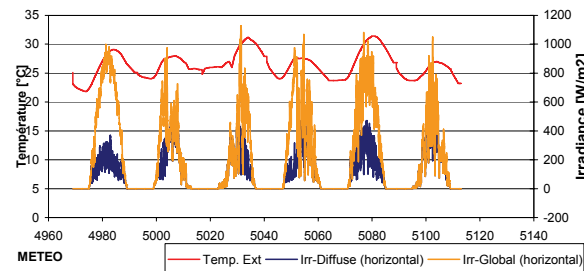
Débit LT à 1600 l/h au lieu de 2000 l/h

MT=3700 l/h

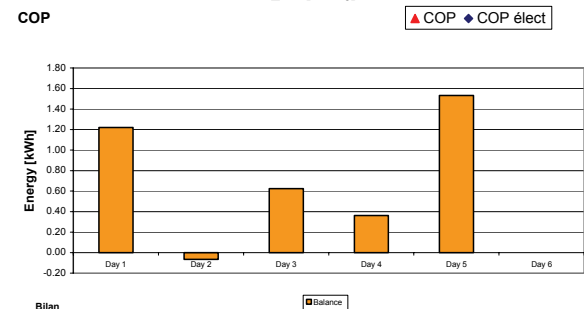
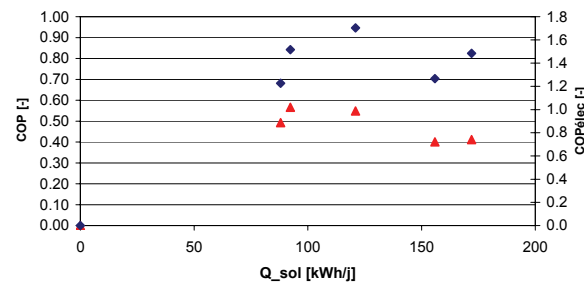
LT=1600 l/h

TSET 10

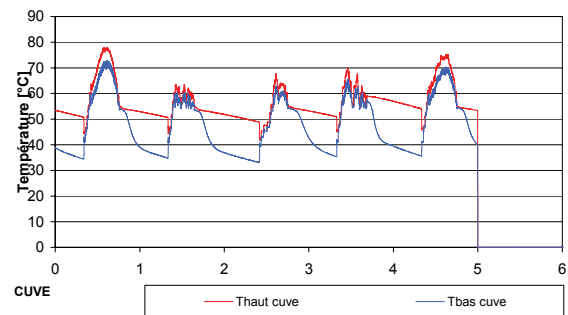
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Rapport Qsol et QLT



Bilan

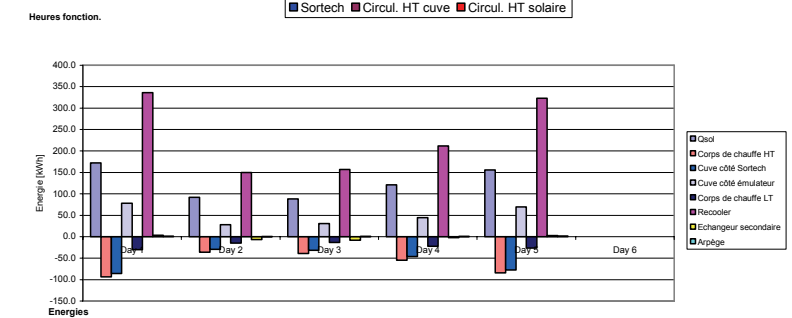
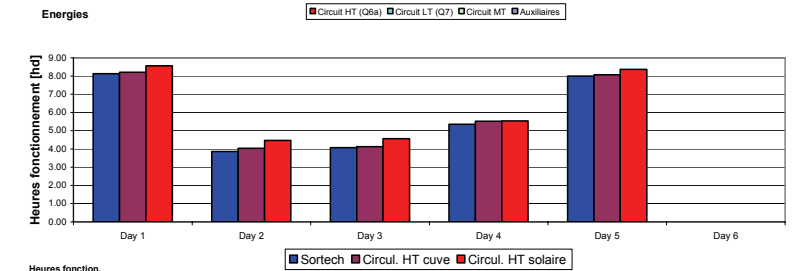
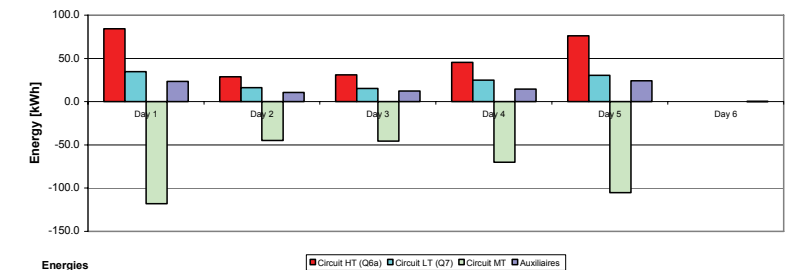


CUVE

Test115	du 17.02.2010	au 22.02.2010
Climat	Barcelone	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)	

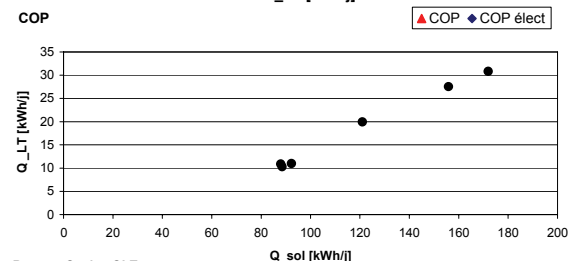
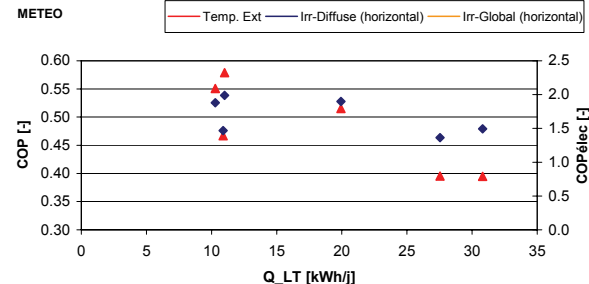
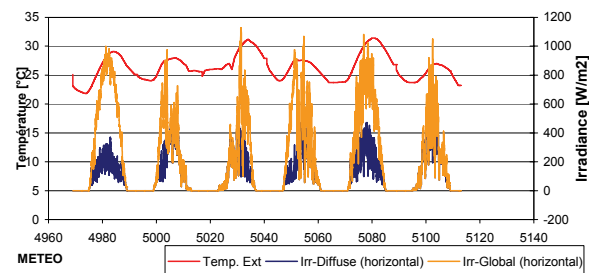
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	0.0	629.0
Circuit HT (Q6a)	84.4	28.6	31.0	45.5	76.2	0.0	265.8
Circuit LT (Q7)	34.7	16.2	15.3	26.0	30.5	0.0	121.7
Circuit MT	-118.0	-44.9	-45.7	-70.1	-105.2	0.0	-383.8
Balance	1.22	-0.07	0.62	0.36	1.53	0.00	3.67
COP	0.41	0.57	0.49	0.55	0.40	####	0.46
COPs (Q7/Qsol)	0.20	0.18	0.17	0.21	0.20	####	0.19
Corps de chauffe HT	-93.7	-36.3	-39.3	-54.7	-84.1	0.0	-308.1
Cuve côté Sortech	-85.8	-29.2	-31.5	-46.3	-77.3	0.0	-270.0
Cuve côté émulateur	78.1	27.9	30.7	44.4	69.4	0.0	250.5
Corps de chauffe LT	-30.4	-14.7	-13.5	-22.5	-26.1	0.0	-107.2
Recoiler	336.1	150.1	157.1	211.9	323.0	0.0	1178.2
Echangeur secondaire	3.5	-6.7	-8.0	-2.3	2.8	0.0	-10.8
Arpège	1.3	0.6	0.7	0.8	1.6	0.0	5.0
Puissances électriques [kW]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.29	1.13	1.15	1.54	2.25	0.00	8.38
circulateur 16 (HT solaire)	1.55	0.80	0.82	1.00	1.52	0.00	5.69
circulateur 29 (LT)	2.12	1.01	1.06	1.40	2.09	0.00	7.69
circulateur 47 (MT)	12.11	5.76	6.08	7.99	11.91	0.00	43.85
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recoiler (demande Sortech)	5.07	1.75	3.10	2.48	6.09	0.00	18.49
Sortech	0.25	0.28	0.28	0.25	0.25	0.24831	1.490
Somme	23.40	10.69	12.47	14.66	24.10	0.25	85.57
COP élect.	1.48	1.52	1.23	1.70	1.27	0.00	1.42
Fonctionnement [h]							
Sortech	8.13	3.86	4.08	5.36	7.99	0.00	29.42
Circul. HT cuve	8.20	4.04	4.13	5.53	6.07	0.00	29.96
Circul. HT solaire	8.56	4.47	4.56	5.53	8.37	0.00	31.48

Consom. eau refroi. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.86	29.24	31.53	29.12	31.75	####	

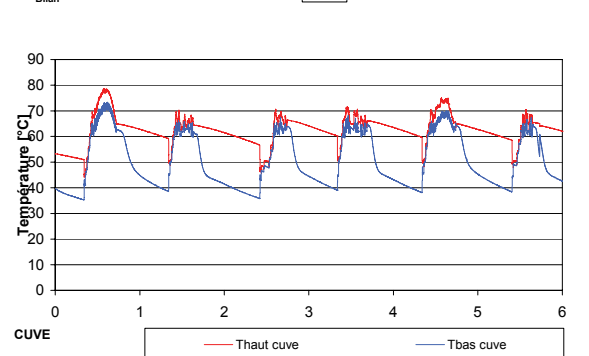
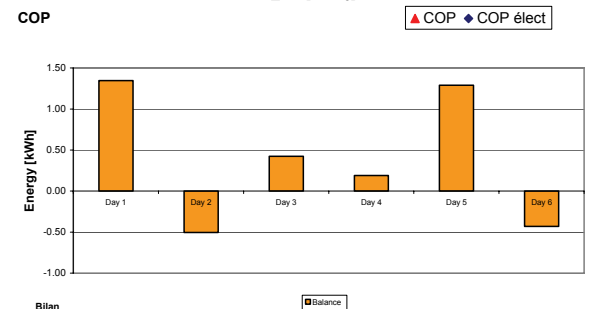
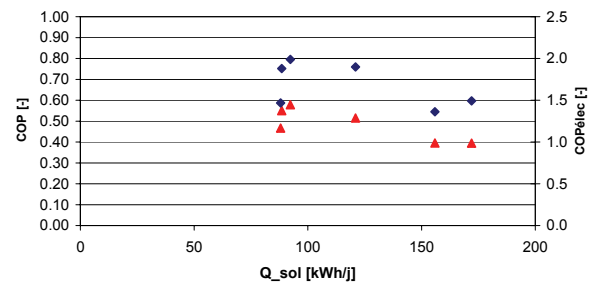


Remarques :  
Test de base  
MT=3700 l/h  
LT=2000 l/h  
TSET 15

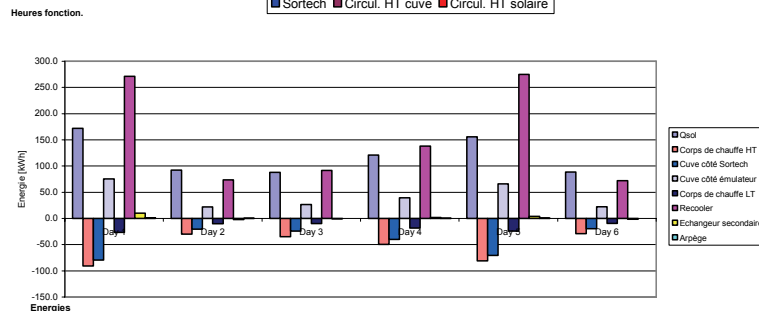
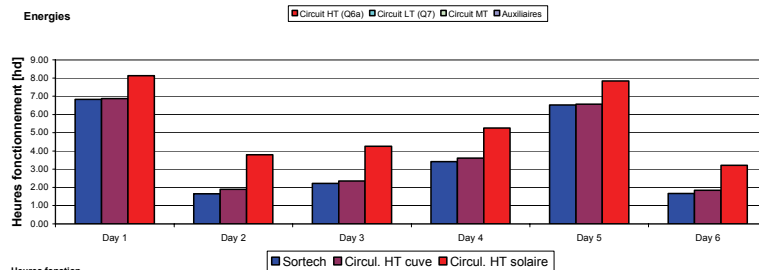
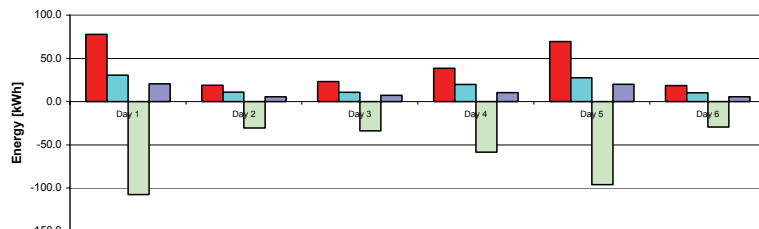
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Rapport Qsol et QLT



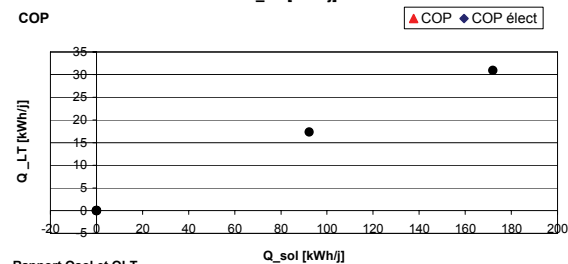
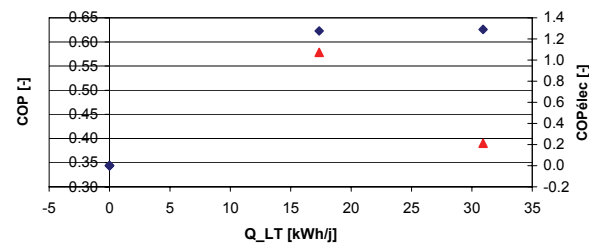
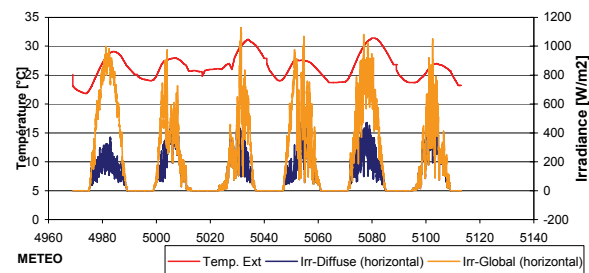
Test116		du	22.02.2010	au	01.03.2010			
Climat		Barcelone						
Mode		Avec cuve						
MT		Sortech-Recooler-Sortech						
Surface		25 m²						
Météo		Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)						
	kWh/j	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
	Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
	Circuit HT (Q6a)	78.0	19.0	23.3	38.7	69.7	18.7	247.3
	Circuit LT (Q7)	30.8	11.0	10.9	19.9	27.5	10.3	110.4
	Circuit MT	-107.4	-30.5	-33.7	-58.4	-95.9	-29.4	-355.4
	Balance	1.35	-0.51	0.42	0.19	1.29	-0.43	2.32
	COP	0.39	0.58	0.47	0.52	0.40	0.55	0.45
	COPs (Q7/Qsol)	0.18	0.12	0.12	0.16	0.18	0.12	0.15
	Corps de chauffe HT	-90.5	-29.9	-35.0	-49.6	-80.7	-29.2	-314.9
	Cuve côté Sortech	-79.4	-20.3	-24.1	-39.9	-70.8	-19.7	-254.1
	Cuve côté émulateur	75.4	21.7	26.6	39.4	66.1	22.3	251.5
	Corps de chauffe LT	-26.5	-10.3	-9.9	-18.2	-24.0	-9.5	-98.5
	Recooler	271.1	73.4	91.7	138.1	274.8	72.1	921.3
	Echangeur secondaire	10.3	-2.2	-0.6	1.9	3.9	-1.3	12.0
	Arpège	1.2	0.2	0.2	0.3	0.8	0.0	2.6
Puissances électriques (kWh)								
	circulateur 8 (HT cuve)	1.92	0.53	0.66	1.01	1.84	0.51	6.47
	circulateur 16 (HT solaire)	1.47	0.68	0.77	0.95	1.42	0.58	5.87
	circulateur 29 (LT)	1.78	0.43	0.58	0.89	1.70	0.44	5.83
	circulateur 47 (MT)	10.16	2.43	3.31	5.09	9.73	2.50	33.21
	circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	recooler (demande Sortech)	4.96	1.14	1.77	2.24	5.21	1.12	16.45
	Sortech	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	1.920
	Somme	20.62	5.53	7.41	10.50	20.22	5.47	69.75
	COP élect	1.49	1.99	1.47	1.90	1.36	1.88	1.58
Fonctionnement (h)								
	Sortech	6.83	1.65	2.22	3.42	6.53	1.67	22.31
	Circul. HT cuve	6.88	1.89	2.36	3.61	6.57	1.84	23.14
	Circul. HT solaire	8.13	3.78	4.26	5.25	7.84	3.22	32.48
Consom. eau refroi. [l]								
	Tmoy M.T. IN (sortech ON)	29.82	29.01	31.62	29.05	31.85	28.55	2.300



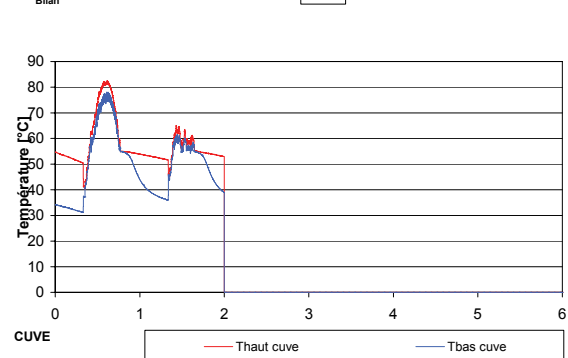
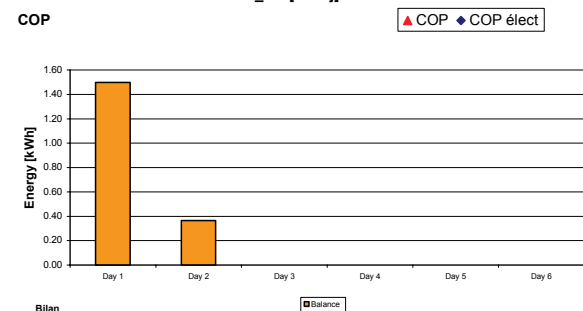
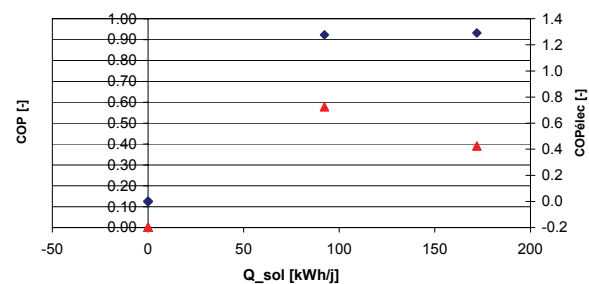
Remarques :  
Modification des paramètres régulation.

MT=3700 l/h  
LT=2000 l/h  
TSET 15

# ANALYSE COMPLETE DU TEST



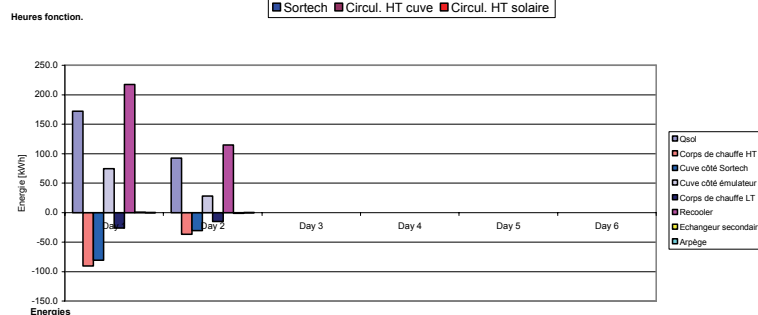
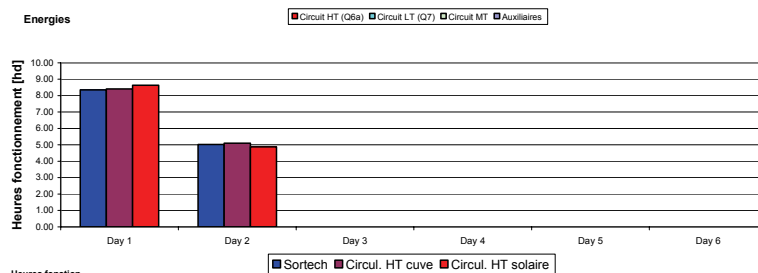
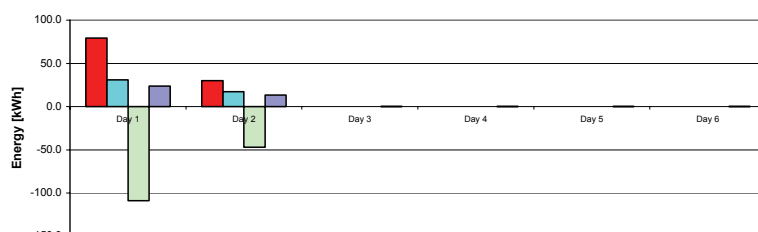
Rapport Qsol et QLT



Test117	du	01.03.2010	au	03.03.2010
Climat	Barcelone			
Mode	Avec cuve			
MT	Sortech-Recooler-Sortech			
Surface	25 m <sup>2</sup>			
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)			

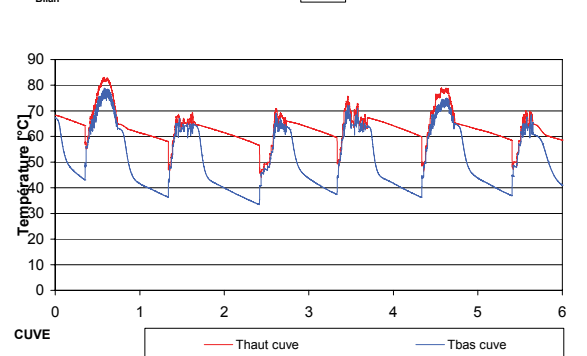
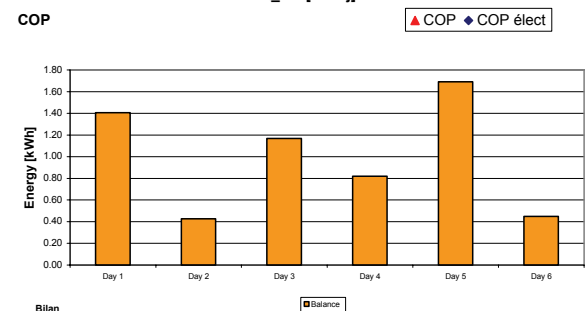
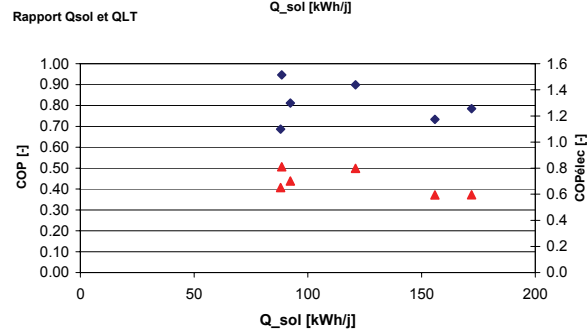
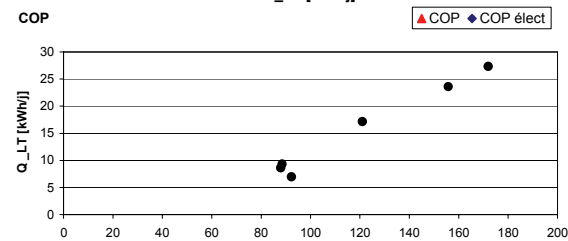
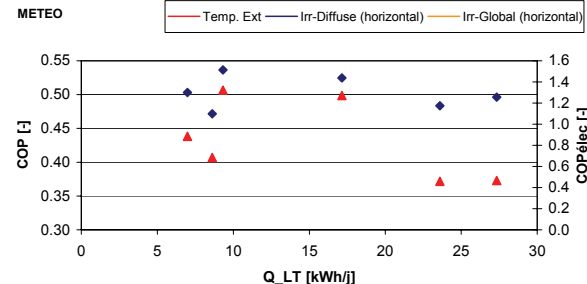
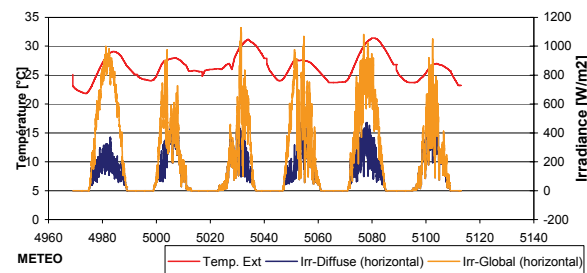
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	0.0	0.0	0.0	0.0	264.2
Circuit HT (Q6a)	79.3	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.3
Circuit LT (Q7)	30.9	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	48.3
Circuit MT	-108.7	-47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-155.7
Balance	1.50	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85
COP	0.39	0.58	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.44
COPs (Q7/Qsol)	0.18	0.19	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	0.18
Corps de chauffe HT	-90.4	-36.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-127.0
Cuve côté Sortech	-80.8	-30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-111.3
Cuve côté émulateur	74.6	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	102.5
Corps de chauffe LT	-25.9	-15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-40.9
Recooler	217.3	114.6	0.0	0.0	0.0	0.0	331.9
Echangeur secondaire	0.9	-1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4
Arpège	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Puissances électriques (kWh)							
circulateur 8 (HT cuve)	2.35	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78
circulateur 16 (HT solaire)	1.56	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	2.44
circulateur 29 (LT)	2.18	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
circulateur 47 (MT)	11.31	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	18.11
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recooler (demande Sortech)	6.27	2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	9.14
Sortech	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.2995	0.599
Somme	23.97	13.60	0.30	0.30	0.30	0.30	37.57
COP élect	1.29	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
Fonctionnement [h]							
Sortech	8.35	5.03	0.00	0.00	0.00	0.00	13.38
Circul. HT cuve	8.41	5.11	0.00	0.00	0.00	0.00	13.52
Circul. HT solaire	8.63	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00	13.51

Consom. eau refroi. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.47	28.76	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	####	



Remarques :
MT=2000 l/h
LT=2000 l/h
TSET 15

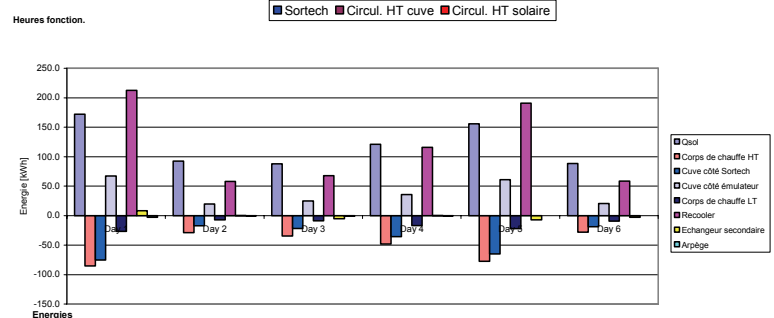
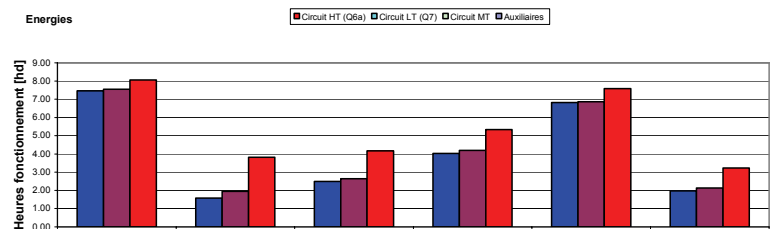
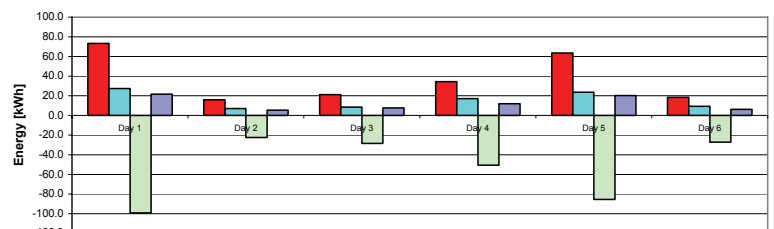
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Test119	du	08.03.2010	au	15.03.2010
Climat	Barcelone			
Mode	Avec cuve			
MT	Sortech-Recooler-Sortech			
Surface	25 m²			
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)			

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	73.3	15.9	21.2	34.4	63.5	18.4	226.7
Circuit LT (Q7)	27.3	7.0	8.6	17.1	23.6	9.3	93.0
Circuit MT	-99.2	-22.5	-28.6	-50.7	-85.4	-27.3	-313.7
Balance	1.41	0.43	1.17	0.82	1.69	0.45	5.96
COP	0.37	0.44	0.41	0.50	0.37	0.51	0.41
COPs (Q7/Qsol)	0.16	0.08	0.10	0.14	0.15	0.11	0.13
Corps de chauffe HT	-85.3	-28.9	-34.4	-47.9	-77.4	-27.9	-301.8
Cuve côté Sortech	-75.1	-17.2	-21.8	-35.6	-65.0	-19.1	-234.0
Cuve côté émulateur	67.2	19.6	24.9	35.8	61.1	20.5	229.1
Corps de chauffe LT	-26.6	-7.2	-8.8	-17.0	-22.3	-9.1	-91.0
Recooler	212.5	58.0	67.8	115.7	190.7	58.4	703.1
Echangeur secondaire	8.4	0.1	-5.3	0.3	-7.1	-2.9	-6.6
Arpège	-2.6	-0.5	-0.8	-0.5	-0.2	-0.1	-4.7
Puissances électriques (kWh)							
circulateur 8 (HT cuve)	2.11	0.54	0.74	1.17	1.92	0.60	7.08
circulateur 16 (HT solaire)	1.46	0.69	0.75	0.96	1.37	0.58	5.82
circulateur 29 (LT)	1.95	0.42	0.65	1.06	1.78	0.52	6.38
circulateur 47 (MT)	10.12	2.15	3.37	5.46	9.24	2.69	33.03
circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
recooler (demande Sortech)	5.80	1.23	1.99	2.94	5.45	1.43	18.85
Sortech	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	2.020
Somme	21.78	5.37	7.84	11.93	20.11	6.15	73.18
COP élect	1.26	1.30	1.10	1.44	1.17	1.51	1.27
Fonctionnement [hd]							
Sortech	7.47	1.58	2.49	4.03	6.83	1.98	24.37
Circul. HT cuve	7.54	1.94	2.63	4.19	6.87	2.13	25.31
Circul. HT solaire	8.06	3.83	4.17	5.33	7.58	3.23	32.20
Consom. eau refroi. [l]							0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)	29.46	28.86	31.40	28.74	31.73	28.19	



Remarques :

Paramètres réglu modifié

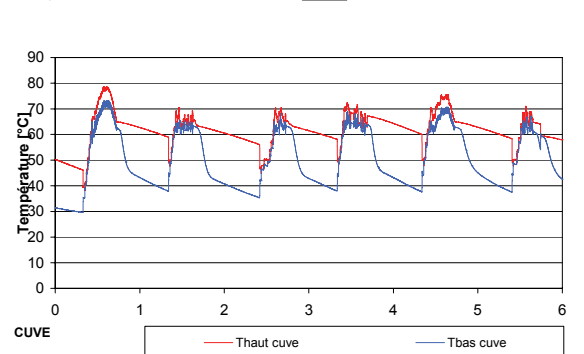
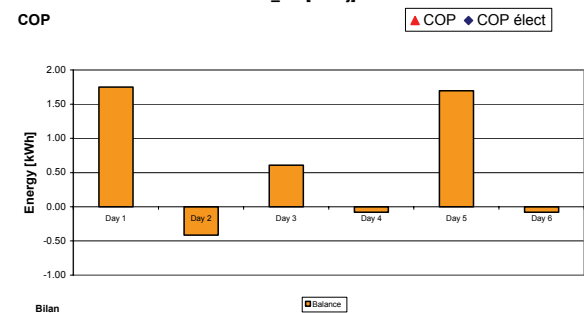
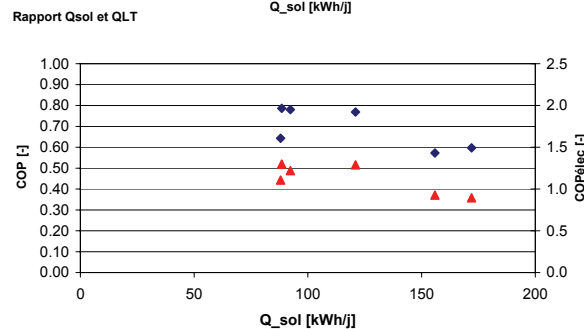
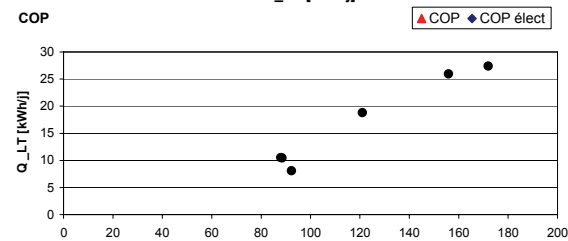
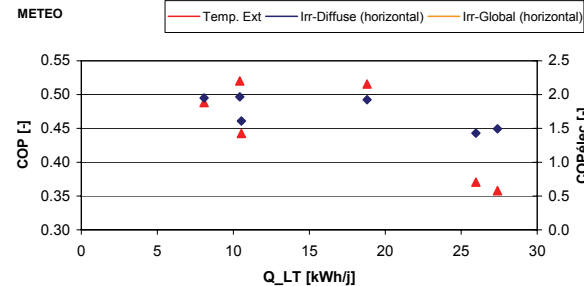
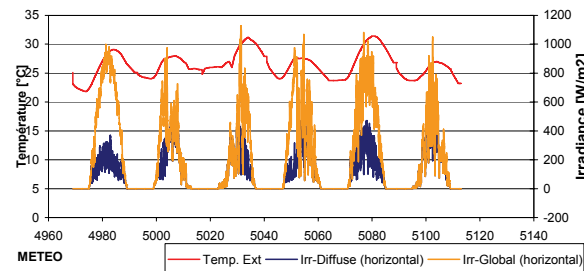
MT=2000 l/h

LT=2000 l/h

TSET 15

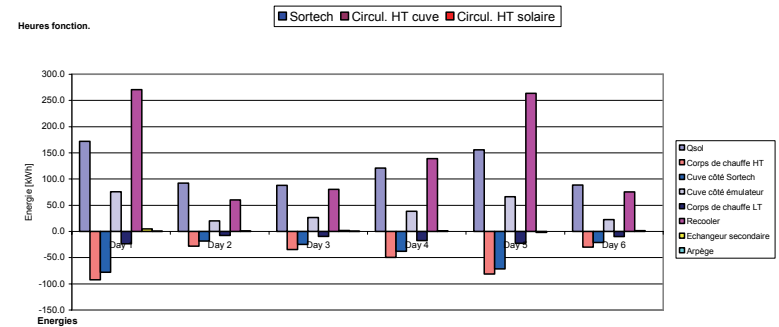
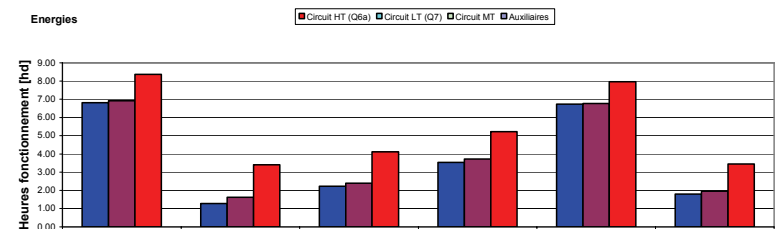
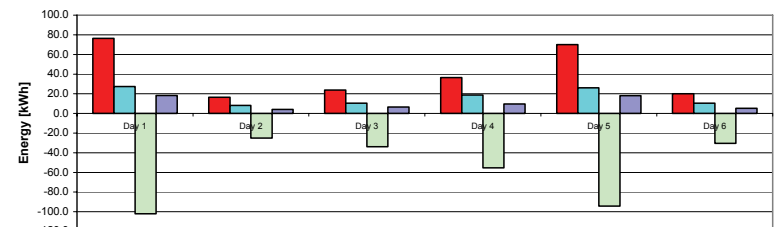


# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Test121		du 08.03.2010		au 15.03.2010			
Climat	Barcelone						
Mode	Avec cuve						
MT	Sortech-Recooler-Sortech						
Surface	25 m²						
Météo	Barcmix1	MIX1 (208/209/210/211/212/213)					

	kWh/j	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
	Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
	Circuit HT (Q6a)	76.5	16.5	23.8	36.5	70.1	20.1	243.4
	Circuit LT (Q7)	27.4	8.1	10.5	18.8	26.0	10.4	101.2
	Circuit MT	-102.2	-25.0	-33.7	-55.4	-94.3	-30.6	-341.1
	Balance	1.75	-0.41	0.61	-0.08	1.70	-0.08	3.48
	COP	0.36	0.49	0.44	0.52	0.37	0.52	0.42
	COPs (Q7/Qsol)	0.16	0.09	0.12	0.16	0.17	0.12	0.14
	Corps de chauffe HT	-92.2	-28.1	-34.7	-49.4	-81.2	-29.9	-315.5
	Cuve côté Sortech	-78.0	-18.1	-24.7	-37.9	-71.3	-21.1	-251.1
	Cuve côté émulateur	75.9	20.2	26.7	38.6	66.2	22.4	249.9
	Corps de chauffe LT	-23.5	-7.7	-9.4	-17.4	-22.6	-9.7	-90.4
	Recooler	270.4	60.1	80.4	139.0	263.7	75.5	889.0
	Echangeur secondaire	4.8	0.7	1.8	1.1	-1.9	1.3	7.9
	Arpège	0.2	-0.1	0.3	-0.1	0.0	-0.1	0.2
Puissances électriques [kWh]								
	circulateur 8 (HT cuve)	1.94	0.46	0.67	1.04	1.89	0.55	6.54
	circulateur 16 (HT solaire)	1.51	0.61	0.74	0.94	1.44	0.62	5.87
	circulateur 29 (LT)	1.78	0.33	0.58	0.92	1.76	0.47	5.85
	circulateur 47 (MT)	10.14	1.90	3.32	5.27	10.03	2.69	33.35
	circulateur 73 (MT éch.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	recooler (demande Sortech)	2.65	0.49	0.89	1.26	2.69	0.64	8.61
	Sortech	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	2.020
	Somme	18.35	4.14	6.55	9.78	18.14	5.31	62.26
	COP élect	1.49	1.95	1.61	1.92	1.43	1.97	1.63
Fonctionnement [h]								
	Sortech	6.81	1.28	2.23	3.54	6.73	1.80	22.39
	Circul. HT cuve	6.92	1.63	2.39	3.73	6.77	1.96	23.38
	Circul. HT solaire	8.36	3.40	4.11	5.23	7.97	3.46	32.52
Consom. eau refroid. [l]								0.000
Tmoy MT_IN (sortech ON)								
		30.89	29.71	32.32	29.87	32.79	29.40	



Remarques :

Paramètres réglu modifié

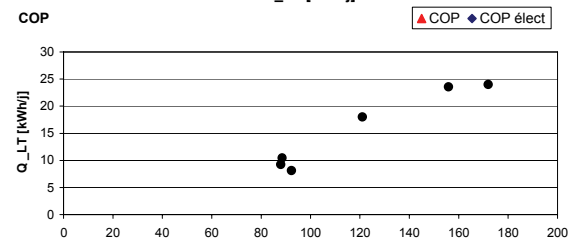
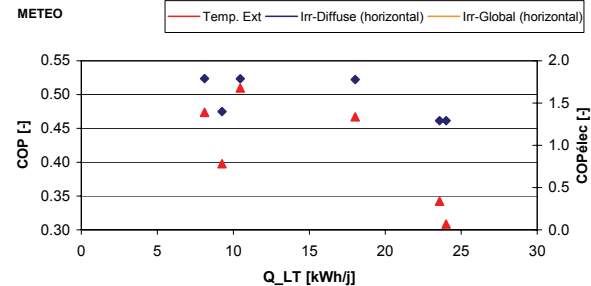
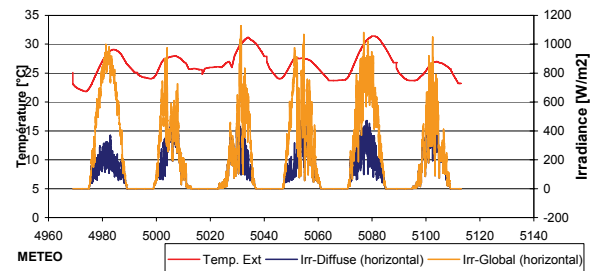
MT=3700 l/h

LT=2000 l/h

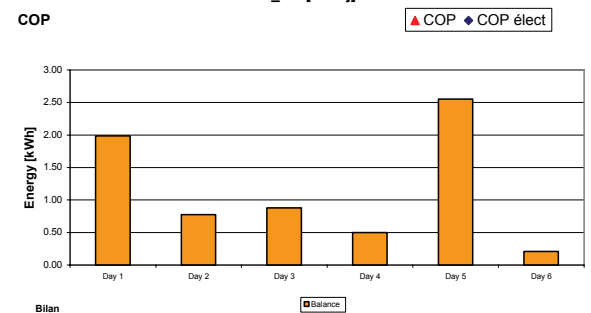
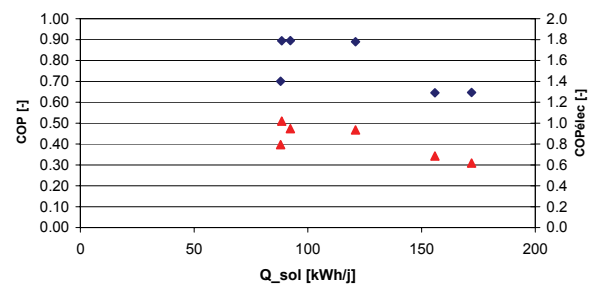
TSET 15

Paliers de régulation, 30% et 50% depuis trnsys

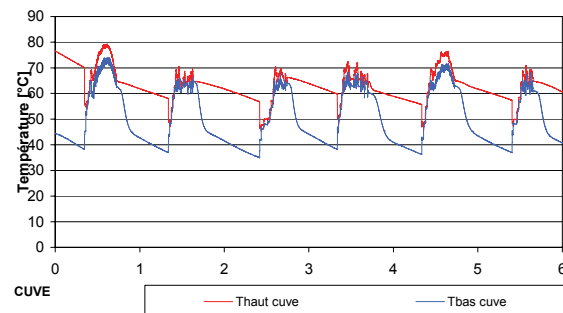
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



Rapport Qsol et QLT



Bilan

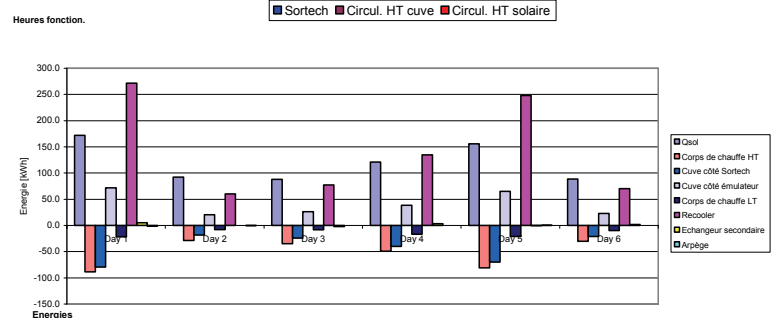
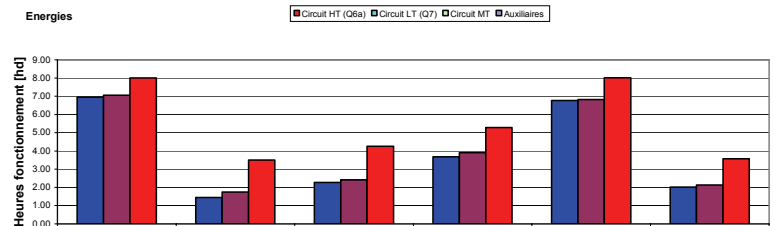
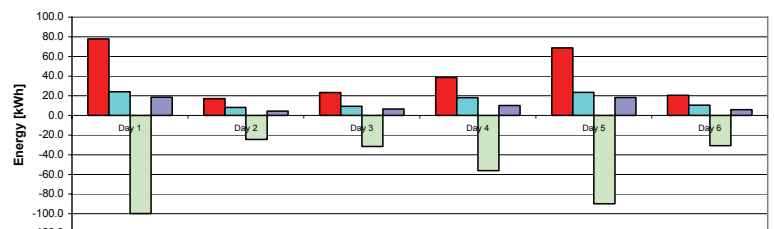


CUVE

Test122	du 05.05.2010	au 12.05.2010
Climat	Barcelone	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)	

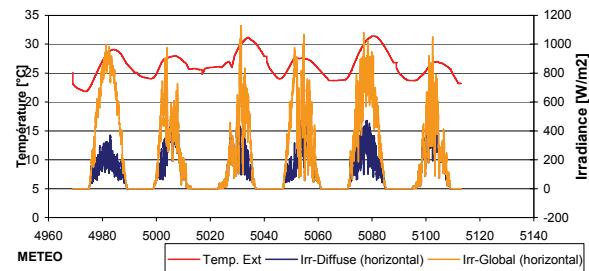
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	121.0	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	77.8	17.1	23.3	38.6	68.8	20.9	246.1
Circuit LT (Q7)	24.0	8.1	9.3	18.0	23.6	10.6	93.6
Circuit MT	-99.8	-24.5	-31.6	-56.1	-89.8	-30.7	-332.6
Balance	1.99	0.77	0.88	0.50	2.55	0.21	6.90
COP	0.31	0.47	0.40	0.47	0.34	0.51	0.38
COPs (Q7/Qsol)	0.14	0.09	0.11	0.15	0.15	0.12	0.13
Corps de chauffe HT	-88.5	-28.9	-35.1	-49.3	-80.9	-30.1	-312.7
Cuve côté Sortech	-79.2	-18.3	-24.0	-40.0	-69.8	-21.2	-252.4
Cuve côté émulateur	71.9	20.5	26.1	38.4	65.1	22.8	244.8
Corps de chauffe LT	-22.0	-8.0	-8.4	-16.7	-21.2	-9.7	-85.9
Recooler	271.5	60.0	77.0	134.6	247.8	70.3	861.3
Echangeur secondaire	4.9	0.1	-2.2	3.3	-0.4	1.7	7.4
Arpège	-1.1	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.0	-1.1
Puissances électriques (kWh)							
circulateur 8 (HT cuve)	1.97	0.49	0.67	1.10	1.91	0.60	6.74
circulateur 16 (HT solaire)	1.44	0.63	0.77	0.95	1.45	0.64	5.89
circulateur 29 (LT)	1.82	0.38	0.59	0.96	1.77	0.53	6.04
circulateur 47 (MT)	10.36	2.15	3.37	5.49	10.10	3.02	34.48
circulateur 73 (MT éch.)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
recooler (demande Sortech)	2.64	0.95	0.87	1.29	2.69	0.72	8.77
Sortech	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	2.00
Somme	18.57	4.53	6.81	10.13	18.25	5.84	63.94
COP élect.	1.29	1.79	1.40	1.78	1.29	1.79	1.46
Fonctionnement [h]							
Sortech	6.95	1.44	2.27	3.68	6.78	2.02	23.13
Circul. HT cuve	7.06	1.75	2.42	3.91	6.83	2.13	24.09
Circul. HT solaire	8.01	3.51	4.26	5.28	8.02	3.57	32.64

Consom. eau refroi. [l]							24.100
Tmoy MT_IN (sortech ON)	30.73	29.60	32.29	29.94	32.77	29.29	

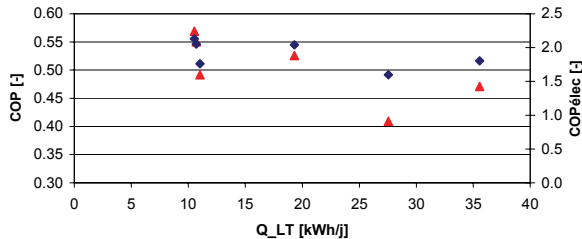


Remarques :  
Paramètres réglu modifié  
MT=3700 l/h  
LT=2000 l/h  
TSET 15  
Paliers de régulation, 30% et 50% depuis trnsys  
Test avant entretien Sortech

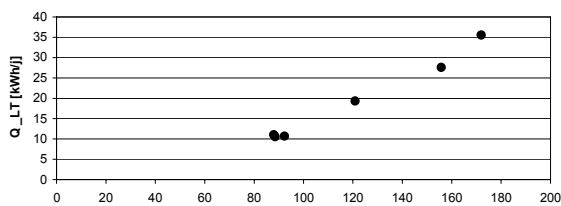
# ANALYSE COMPLETE DU TEST



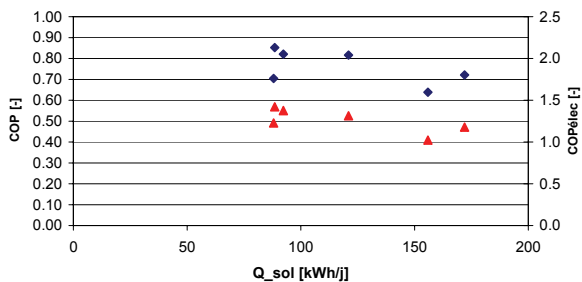
METEO



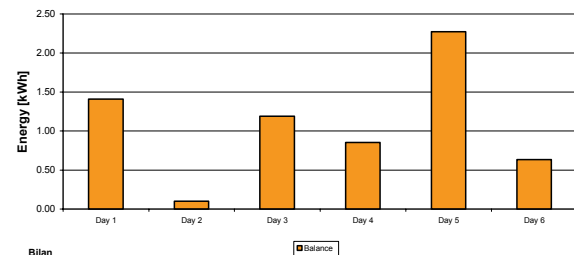
COP



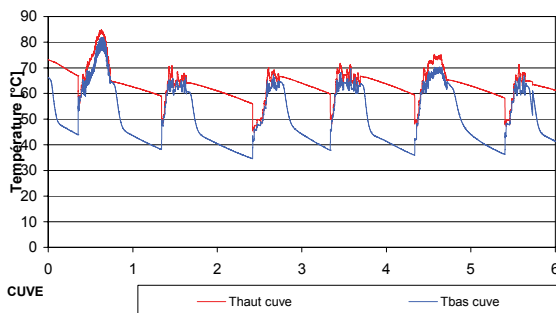
Rapport Qsol et QLT



COP



Bilan

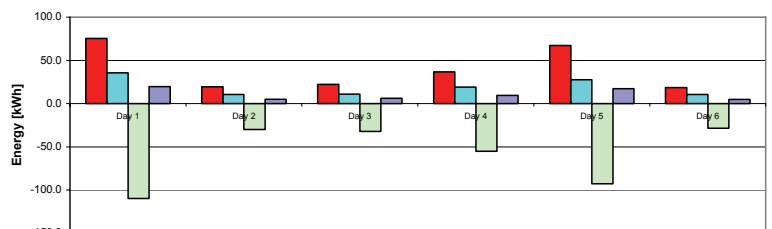


CUVE

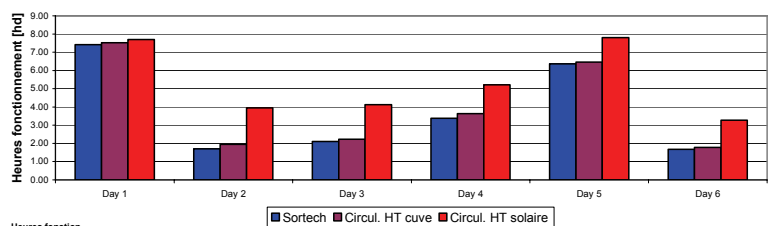
Test123	du 12.05.2010	au 19.05.2010
Climat	Barcelone	
Mode	Avec cuve	
MT	Sortech-Recooler-Sortech	
Surface	25 m²	
Météo	Barcmix1 MIX1 (208/209/210/211/212/213)	

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Total test
kWh/j							
Qsol	172.0	92.3	88.0	120.9	155.8	88.5	717.5
Circuit HT (Q6a)	75.5	19.4	22.4	36.7	67.3	18.5	239.9
Circuit LT (Q7)	35.6	10.7	11.0	19.3	27.6	10.6	114.7
Circuit MT	-109.6	-30.0	-32.2	-55.2	-92.6	-28.4	-348.1
Balance	1.41	0.10	1.19	0.85	2.27	0.63	6.46
COP	0.47	0.55	0.49	0.53	0.41	0.57	0.48
COPs (Q7/Qsol)	0.21	0.12	0.13	0.16	0.18	0.12	0.16
Corps de chauffe HT	-84.3	-30.5	-34.9	-49.6	-80.7	-29.7	-309.7
Cuve côté Sortech	-77.0	-20.6	-23.0	-38.1	-68.3	-19.2	-246.2
Cuve côté émulateur	68.7	21.6	25.9	37.9	64.5	22.0	240.6
Corps de chauffe LT	-31.0	-10.3	-10.6	-18.7	-26.2	-10.5	-107.2
Recoiler	281.5	69.9	81.9	129.4	250.5	61.9	875.0
Echangeur secondaire	1.8	0.1	4.5	-0.4	0.0	0.4	6.4
Arpège	1.3	-0.1	-0.4	-1.0	-1.8	-0.5	-2.6
Puissances électriques [kW]							
circulateur 8 (HT cuve)	2.10	0.54	0.63	1.01	1.81	0.50	6.60
circulateur 16 (HT solaire)	1.39	0.71	0.75	0.94	1.41	0.59	5.79
circulateur 29 (LT)	1.94	0.45	0.55	0.88	1.66	0.43	5.91
circulateur 47 (MT)	11.06	2.54	3.15	5.02	9.49	2.48	33.73
circulateur 73 (MT éch.)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
recoiler (demande Sortech)	2.88	0.63	0.84	1.27	2.54	0.59	8.75
Sortech	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	2.040
Somme	19.72	5.22	6.25	9.46	17.28	4.94	62.85
COP élect.	1.80	2.05	1.76	2.04	1.60	2.13	1.82
Fonctionnement [h]							
Sortech	7.42	1.71	2.11	3.38	6.36	1.68	22.65
Circul. HT cuve	7.53	1.94	2.23	3.63	6.46	1.78	23.58
Circul. HT solaire	7.70	3.94	4.13	5.22	7.81	3.28	32.07

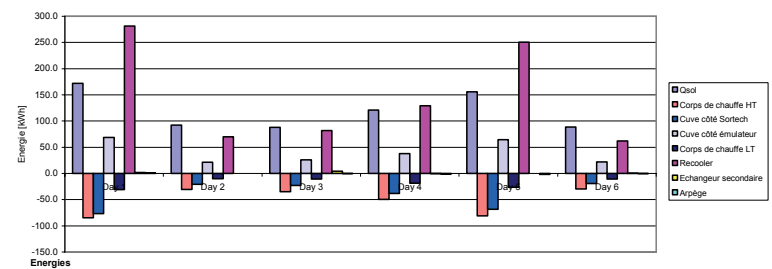
Consom. eau refroid. [l]							240.800
Tmoy MT_IN (sortech ON)	30.60	30.08	32.24	29.74	32.83	29.29	



Energies



Heures fonction.



Remarques :	
Paramètres régl modifié	
MT=3700 l/h	
LT=2000 l/h	
TSET 15	
Paliers de régulation, 30% et 50% depuis trnsys	
Test après entretien Sortech	

## Annexe 19 : Caractéristiques de la chaudière à gaz à condensation

### Hoval TopGas® classic (12,18,24)

Chaudière à gaz murale, à condensation  
avec ou sans chauffe-eau  
Description

**Hoval**

#### Hoval TopGas® classic (12,18,24)

##### Chaudière à gaz murale

- Avec condensation des gaz de combustion
- Échangeur de chaleur en alliage d'aluminium résistant à la corrosion avec serpentins de cuivre à débit forcé incorporé
- Débit minimum de circulation d'eau nécessaire (voir «Caractéristiques techniques»)
- Accessoires incorporés:
  - Circulateur de chauffage
  - Manomètre
  - Purgeur manuel
  - Limiteur de température des gaz de combustion
- Brûleur à prémélange, en acier inoxydable, à nappe de flamme
  - Modulation par régulation du mélange combiné air / gaz
  - Allumage automatique
  - Surveillance par ionisation
- Chaudière à gaz murale, entièrement carrossée en tôle d'acier laquée blanche

##### Commandes de base chaudière N4.3

- Automate de brûleur à gaz avec module de surveillance BIC 300
- Commande de brûleur à modulation
- Interrupteur principal installation „I/O“
- Indicateur de fonctionnement / panne
- Régulation de la production d'eau chaude sanitaire par sonde ou par demande thermostatique.
- Raccordement d'au max. 1 station d'ambiance ou 1 télécommande avec sonde d'ambiance.

##### Exécution sur demande

- Chauffe-eau à poser sous la chaudière TopVal (130,160)
- Robinet de gaz
- Avec cadre de montage
- Avec cadre de montage et expansion
- Jeu de raccord

##### Livraison

- Chaudière à gaz murale, entièrement carrossée
- Matériel de suspension
- Instructions de service
- Manuel de l'installation

#### Jeu de régulateur de chauffage RS-OT

- Pour 1 circuit de chauffage direct  
Régulation de la température d'eau de chaudière en fonction des conditions atmosphériques
- RS-OT équipé d'une sonde de température ambiante pouvant être activée, placée dans la chaudière ou l'habitation. Non intégrable dans la chaudière!
- Sonde extérieure AF 120
- Sonde du chauffe-eau TF 25 / 12K

#### Module GLT 0-10 V/OT (OpenTherm) (système d'automatisme du bâtiment)

Pour la commande de la chaudière lors de l'intégration d'un système d'automatisme du bâtiment. Régulation de la température externe avec 0 - 10 V

0 - 1,0 V pas de demande  
1,0 - 9,5 V ..... 0°C - 100°C

**Non intégrable dans la chaudière!**

Modifications réservées, 1.4.2010



#### Gamme de modèles

Type	Puissance thermique (à 40/30°C) KW
classic (12)	3,8 - 12,0
classic (18)	5,7 - 18,0
classic (24)	7,7 - 24,0

#### Homologations chaudière

##### Hoval TopGas® classic (12,18,24):

Certificat SSIGE 06-073-4  
N° ID produit CE 0063BQ3155

##### Hoval TopVal (130,160):

Certificat SSIGE 0709-5264

#### Jeu de régulateur de chauffage N1 (Montage dans le boîtier mural)

##### Composé de:

- Régulateur de chauffage Hoval TopTronic®T/N pour
  - 1 circuit mélangeur
  - 1 circuit de chauffage direct
  - circuit de charge du chauffe-eau
- Possibilité d'étendre les fonctions par différents modules-clé
- Grand affichage LCD
- Bouton-poussoir rotatif
- Touches pour
  - Température ambiante diurne
  - Température ambiante nocturne
  - Température de l'eau chaude sanitaire
  - Sélecteur de mode (vacances, absence, prolongation du fonctionnement du chauffage, automatique, été, chauffage permanent, réduit, protection contre le gel)
  - Réglage de la courbe de chauffe
  - Information sur les installations
  - Mesures des émissions et commande manuelle
- Sonde extérieure AF200
- Sonde applique de départ VF204
- Sonde du chauffe-eau KVT20/5/6
- Possibilité de raccordement pour les stations d'ambiance RS-T

##### Livraison

Jeu de régulateur de chauffage livré emballé séparément.

#### Chauffe-eau pour disposition inférieure ou juxtaposée TopVal (130,160)

- Chauffe-eau avec échangeur de chaleur à tubes lisses, intégré fixe, en acier, émaillé.
- Chauffe-eau pour disposition inférieure pour Hoval TopGas® classic (12,18,24).
- Anode protectrice au magnésium.
- Isolation thermique en mousse polyuréthane rigide sans CFC, avec enveloppe, blanc.

##### Livraison

- Chauffe-eau entièrement carrossé

#### Chauffe-eau CombiVal ERW (200), blanc

- Chauffe-eau en acier, avec émaillage intérieur
- Échangeur de chaleur à tubes lisses émaillé, intégré fixe
- Chauffe-eau juxtaposé pour Hoval TopGas® classic (12,18,24).
- Anode de protection au magnésium intégré.
- Bride pour corps de chauffe électrique.
- Isolation thermique en mousse polyuréthane rigide sans CFC, appliqué directement sur le corps du chauffe-eau et enveloppe démontable en blanc.
- Douille plongieuse intégrée fixe avec thermomètre.

##### Exécution sur demande

- Corps de chauffe électrique

##### Livraison

- Chauffe-eau avec enveloppe complètement montée

## Annexe 20 : Caractéristiques du groupe frigorifique à compression

Fiche Technique

Page 1 / 2

# BRH /FF 0031

Version Software: NewELCA - Ver. 1.2.0.30  
Version report: 1.0.0.22  
Version OS: 1.0.0.60  
Utilisateur: Egli Fritz



### PRESTATIONS

REFRIGERATION		
Puissance frigorifique	[kW]	9.2
Puissance totale absorbée	[kW]	2.5
EER		3.68
ESEER		4.38

### CONDITIONS DE REFERENCE

	Entrée Evaporateur	Sortie Evaporateur	Entrée Condenseur	Sortie Condenseur
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Refroidissement	12.0	7.0	30.0	35.0

### EVAPORATEURS

Type	Nombre	Type de raccordement	Diamètres de raccordement
PLAQUES	1	GAS	3/4"
Entrée Evaporateur	[°C]		12.0
Sortie Evaporateur	[°C]		7.0
Fluide			EAU
Glycol	[%]		0
Facteur d'encrassement	[m² °C/W]		0.000044
Portée	[m³/h]		1.6
Pertes de charge	[kPa]		18.4

### CONDENSEURS

Type	Nombre	Type de raccordement	Diamètres de raccordement
PLAQUES	1	GAS	3/4"
Entrée Condenseur	[°C]		30.0
Sortie Condenseur	[°C]		35.0
Fluide			EAU
Glycol	[%]		0
Facteur d'encrassement	[m² °C/W]		0.000044
Portée	[m³/h]		2.01
Pertes de charge	[kPa]		29.15

### Compresseurs

Type	
Nombre	1
Nb d'étages	1
Minimum de puissance par étage	100
Nb de circuits	1
Régulation	ON-OFF
Fluide frigorifique	R410A



3FEOA3D3-0029D4C321-143DC9D627

CTA SA – En Budron H14 – 1052 le Mont/Lausanne  
Tél 021 654 99 00 – fax 021 654 99 02  
cta.lausanne@cta.ch

# BRH /FF 0031

Version Software: NewELCA - Ver. 1.2.0.30  
 Version report : 1.0.0.22  
 Version DB : 1.0.0.60  
 Utilisateur : Egl Fritz



## NIVEAUX SONORES

### PUissance SONORE

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	TOT
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
59	61	56	48	47	38	31	36	53

Distance (m) 1

### PRESSION SONORE

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	TOT
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB(A)]
45	47	42	34	33	24	17	22	39

## CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Tension d'alimentation	[V/ ph /Hz]	400/3/50
Intensité Spunto	[A]	48
Intensité absorbée	[A]	9,0
puissance absorbée	[kW]	4,2

## DIMENSIONS ET POIDS

Longueur	[mm]	575
Hauteur	[mm]	980
Largeur	[mm]	560
Poids	[kg]	152



HYDRONIC  
21 - 81



# HORUS

POMPE À CHALEUR AIR-EAU POUR INSTALLATION EXTERNE





- ✓ **Versatilité d'utilisation : plancher chauffant, terminaux et ACS**
- ✓ **Production d'eau chaude jusqu'à 60°C**
- ✓ **Fonctionnement avec air à -15°C**
- ✓ **COP > 3.9**
- ✓ **Design innovant**
- ✓ **Fiabilité et facilité d'entretien**
- ✓ **Bas niveau de bruit**

**WSAR-MT-E 21 - 81 (R407C)**

TAILLES	Chauffage [kW]	Refroidissement [kW]
21	6.13	6.44
25	8.16	8.50
31	10.0	10.7
41	11.2	11.9
51	14.0	14.5
61	17.7	18.1
81	22.9	22.4











\* Grâce à son haute efficacité, l'HORUS avec option OHO (voir page 12), peut être éligible au crédit d'impôt. Veuillez vérifier avec la loi en vigueur.

Le chauffage du futur qui respecte l'environnement. La série de pompes à chaleur HORUS se propose comme un véritable tournant pour ce qui concerne le développement de cette typologie d'unité optimisée pour le chauffage, mais fonctionnant également en mode rafraîchissement. Elle présente ce qu'il y a de plus récent en ce qui concerne la technologie et se caractérise pour :

**RENDEMENT**  
Grâce à ses particularités, la série HORUS permet de hauts rendements énergétiques même dans des conditions extrêmes de fonctionnement.

**AUTO-ADAPTATION**  
Son système électronique évolué lui permet d'adapter les paramètres de fonctionnement aux conditions de charge de l'installation en optimisant les consommations, le rendement et la longévité des composants.

**FACILITÉ D'INSTALLATION**  
Chaque unité peut être fournie avec un groupe hydrolique complet et entièrement contrôlé en usine ; l'installation est donc facile et rapide.

Clivet participe au programme de Certification EUROVENT "Groupe de Production d'Eau Glacée".

Les produits concernés se trouvent dans le guide EUROVENT des produits certifiés, et sur le site [www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com).

Le programme de certification EUROVENT couvre les réfrigérateurs de liquide à air jusqu'à 600kW et ceux à eau jusqu'à 1500kW.



Conformément à EN 14511-1:2008

SYSTÈME QUALITÉ CERTIFIÉ UNI EN ISO 9001:2008

BT080061F-03



## CONFIGURATION BASE

## DONNÉES TECHNIQUES GÉNÉRALES

TAILLES		21	25	31	41	51	61	81
400/3/60+N								
CHAUFFAGE		A7(8)W30/36						
Puissance thermique	1	kW	6.13	8.16	10.0	11.2	14.0	22.9
Puissance absorbée totale	1	kW	1.57	2.05	2.51	2.87	3.55	5.87
COP <sub>EUROVENT</sub>	4		3.95	4.03	4.03	3.96	4.00	3.96
COP <sub>EN1511</sub>			3.91	3.98	3.98	3.90	3.94	3.90
COP <sub>EN1511</sub> (avec option à haute rendement chaud seul)			4.10	4.12	4.10	4.16	4.11	4.10
CHAUFFAGE		A2(1)W30/36						
Puissance thermique	2	kW	4.81	6.49	7.83	8.80	11.1	18.1
Puissance absorbée totale	2	kW	1.49	1.92	2.35	2.72	3.33	5.48
COP <sub>EN1511</sub>			3.24	3.38	3.33	3.24	3.34	3.31
REFROIDISSEMENT		A36W23/18						
Puissance frigorifique	3	kW	6.44	8.50	10.7	11.9	14.5	22.4
Puissance absorbée totale	3	kW	2.26	2.99	3.81	4.46	5.51	8.07
EER <sub>EUROVENT</sub>	4		2.88	2.87	2.83	2.68	2.61	2.81
ESEER	5		2.62	2.62	2.71	2.57	2.46	2.51
250/1/60		A7(8)W30/36						
Puissance thermique	1	kW	6.22	7.91	10.2	11.3	-	-
Puissance absorbée totale	1	kW	1.69	2.03	2.73	3.01	-	-
COP <sub>EUROVENT</sub>	4	kW	3.72	3.94	3.78	3.80	-	-
COP <sub>EN1511</sub>			3.69	3.90	3.73	3.75	-	-
COP <sub>EN1511</sub> (avec option à haute rendement chaud seul)			4.10	4.14	4.11	4.12	-	-
CHAUFFAGE		A2(1)W30/36						
Puissance thermique	2	kW	4.92	6.25	8.01	8.91	-	-
Puissance absorbée totale	2	kW	1.59	1.90	2.54	2.83	-	-
COP <sub>EN1511</sub>			3.10	3.29	3.15	3.14	-	-
REFROIDISSEMENT		A36W23/18						
Puissance frigorifique	3	kW	6.46	8.03	10.3	11.9	-	-
Puissance absorbée totale	3	kW	2.47	3.15	4.11	4.76	-	-
EER <sub>EUROVENT</sub>	4		2.64	2.57	2.52	2.52	-	-
ESEER	5		2.38	2.49	2.41	2.47	-	-
NIVEAU DE BRUIT								
Niveau de pression sonore (10m)	6	dB(A)	31	33	35	36	37	43
COMPRESSEUR								
Type compresseurs			SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL
N. de compresseur	Nr		1	1	1	1	1	1
Etages de puissance standard	Nr		1	1	1	1	1	1
Circuits frigorifiques	Nr		1	1	1	1	1	1
Charge réfrigérant (R407C)	7	kg	3.1	5.8	5.8	5.8	6.2	8.0
ÉCHANGEUR INTÉRIEUR								
Type échangeur interne	8		PHE	PHE	PHE	PHE	PHE	PHE
N. échangeurs internes	Nr		1	1	1	1	1	1
Débit eau	1	l/s	0.29	0.39	0.48	0.54	0.67	1.09
Pertes de charge échangeur	1	kPa	18	19	20	23	20	25
Volume d'eau	1	l	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	1.4
VENTILATEURS								
Type ventilateurs	9		AX	AX	AX	AX	AX	AX
N. ventilateurs	Nr		1	1	1	1	1	1
Débit d'air standard		m³/h	2500	2800	3200	3400	3400	7000
CIRCUIT HYDRAULIQUE								
Pression maxi côté eau		kPa	270	270	270	270	270	270
Étalonnage soupape de sécurité		kPa	300	300	300	300	300	300
Raccordements eau			1"	1"	1"	1"	1"	1 1/2"
DIMENSIONS / POIDS UNITÉ STANDARD								
Longueur		mm	1420	1420	1420	1420	1835	1835
Profondeur		mm	800	800	800	800	1250	1250
Hauteur		mm	1485	1485	1485	1485	1770	1770
Volume emballage unités		m³	1.12	1.12	1.12	1.12	2.46	2.46
Volume emballage coffres		m³	0.57	0.57	0.57	0.57	1.48	1.48
Poids d'expédition unités / panneaux / coffres		kg	108/37/50	108/37/50	113/37/50	113/37/50	133/37/50	255/55/75
Poids en fonctionnement		kg	195	205	210	210	235	375

Toutes les données reportées sont conformes à la norme EN 14511:2004, sauf là où elles sont spécifiquement indiquées.

Les éventuels cycles de dégivrage ont été pris en compte.

(1) Données se référant aux conditions suivantes:

Eau échangeur interne 30 / 35°C

température air extérieur +1°C B.S. / +6°C B.H.

(2) Données se référant aux conditions suivantes:

Eau échangeur interne 30 / 35°C

température de l'air extérieur +2°C B.S. / +1°C B.H.

(3) Données se référant aux conditions suivantes:

Eau échangeur interne : 23 / 18°C

température air extérieur : +35°C B.S. / 55% U.R.

Les prestations se réfèrent à l'unité fonctionnant dans des conditions optimales d'installation et de nettoyage des échangeurs.

(4) rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/2003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

(5) ESEER = Rapport de Rendement Énergétique Saisonnier. Sortie d'eau = 7°C

(6) Le niveau de pression sonore a été mesuré à une distance de 10 m de la surface extérieure de l'unité fonctionnant en espace libre, conformément à la norme EN 3744.

(7) valeurs à titre indicatif

(8) PHE = plaques

(9) AX = ventilateur axial



## Annexe 22 : Caractéristiques de la pompe à chaleur "sol/eau"



### FICHE TECHNIQUE

WSAR-MT-E 31 Pompe à chaleur pour eau à température moyenne et installation externe (R407C-400TN-IOM8X)

#### CONDITIONS DE SÉLECTION

REFROIDISSEMENT		SÉLECTION
air entrée échangeur externe	°C	35.0
sortie eau échangeur interne	°C	7.00
GÉNÉRAUX		SÉLECTION
delta T échangeur interne	°C	5.00
% glycol échangeur interne	%	0.000
CHAUFFAGE		SÉLECTION
sortie eau échangeur interne	°C	45.0
température air entrée échangeur extérieur B. S. (°C)	°C	7.00
température air entrée échangeur extérieur B. H. (°C)	°C	6.00

#### PRESTATIONS

REFROIDISSEMENT		SÉLECTION
Puissance frigorifique	kW	8.07
Puissance absorbée compresseurs	kW	3.08
Débit eau (Echangeur Interne)	l/s	0.383
pertes de charge échangeur interne	kPa	10.7
CHAUFFAGE		SÉLECTION
Puissance thermique	kW	9.70
Puissance absorbée compresseurs	kW	2.75

LES DONNÉES TECHNIQUES SONT INDICATIVES ET PEUVENT ÊTRE MODIFIÉES PAR LE FABRICANT SANS OBLIGATION DE PRÉAVIS

#### DONNÉES TECHNIQUES SUIVANT BULLETIN TECHNIQUE

GÉNÉRAUX			
ESEER	(1.3)		2.71
COP	(1.2)		4.03
EER	(1.2)		2.83
Circuits frigorifiques		Nr	1.00
POIDS ET DIMENSIONS			
Poids d'expédition		kg	185

Longueur		mm	1420
Profondeur		mm	800
Hauteur		mm	1485
<b>COMPRESSEUR</b>			
N. de compresseur		Nr	1.00
Type compresseurs			SCROLL
Etages de puissance standard		Nr	1.00
F.L.A. - Compresseur 1		A	6.61
F.L.I. - Compresseur 1		kW	3.90
<b>ÉCHANGEUR EXTÉRIEUR</b>			
<b>LIMITES DE FONCTIONNEMENT (REFROIDISSEMENT)</b>			
Température maxi air à l'entrée	(4.1)	°C	43.0
<b>VENTILATEURS ZONE EXTÉRIEURE</b>			
F.L.A. - Un seul Ventilateur extérieur		A	0.840
F.L.I. - Un seul ventilateur extérieur		kW	0.190
<b>ÉCHANGEUR INTÉRIEUR</b>			
Volume d'eau		l	0.700
<b>LIMITES DE FONCTIONNEMENT (REFROIDISSEMENT)</b>			
Température maxi eau sortie	(6.2)	°C	18.0
Température mini eau sortie	(6.2)	°C	4.00
<b>VENTILATEURS ZONE DE TRAITEMENT D'AIR (SOUFFLAGE)</b>			
Type ventilateurs	(7.9)		AX
N. ventilateurs		Nr	1.00
Debit d'air		l/s	889
<b>VENTILATEURS (REPRISE)</b>			
Type ventilateurs			AX
N. ventilateurs	(8.9)	Nr	1.00
Debit d'air		l/s	889
<b>CIRCUIT HYDRAULIQUE</b>			
Pression maxi côté eau		MPa	270
Etalonnage soupape de sécurité		kPa	300
<b>RACCORDEMENTS</b>			
Raccordements eau			1"
<b>DONNÉES ÉLECTRIQUES</b>			
F.L.A. = COURANT ABSORBÉ AUX CONDITIONS MAXIMUMS ADMISES			

F.L.A. - Total	A	17.3
<b>F.L.I. = PUISSANCE ABSORBÉE À PLEINE CHARGE ( AUX CONDITIONS MAX. ADMISES )</b>		
F.L.I. - Total	kW	10.2
<b>M.I.C. MAXIMUM DE COURANT DE POINTE DE L'UNITÉ</b>		
M.I.C. - Valeur	A	46.8

Toutes les données reportées sont conformes à la norme EN 14511:2008, sauf là où elles sont spécifiquement indiquées.

Toutes les données reportées sont conformes à la norme EN 14511:2008, sauf là où elles sont spécifiquement indiquées.

Les éventuels cycles de dégivrage ont été pris en compte.

Les éventuels cycles de dégivrage ont été pris en compte.

Les prestations se réfèrent à l'unité fonctionnant dans des conditions optimales d'installation et de nettoyage des échangeurs.

Les prestations se réfèrent à l'unité fonctionnant dans des conditions optimales d'installation et de nettoyage des échangeurs.

(1.3) ESEER = Rapport de Rendement Énergétique Saisonnier.

ESEER = Rapport de Rendement Énergétique Saisonnier.

Sortie d'eau = 7°C

(1.2) rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

Données se référant aux conditions suivantes:

eau au niveau de l'échangeur interne 30/35°C

température air extérieur 7°C B.S. / -6°C B.H.

Données se référant aux conditions suivantes:

eau au niveau de l'échangeur interne 30/35°C

température de l'air externe : +2°C B.S. / +1°C B.U.

Données se référant aux conditions suivantes:

eau échangeur interne = 23/18°C

température air externe : +35°C B.S. / 50% U.R.

rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

ESEER = Rapport de Rendement Énergétique Saisonnier.

Sortie d'eau = 7°C

Le niveau de pression sonore a été mesuré à une distance de 10 m de la surface extérieure de l'unité fonctionnant en espace libre, conformément à la norme EN 3744.

valeurs à titre indicatif

PHE = plaques

AX = ventilateur axial

(1.2) rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

Données se référant aux conditions suivantes:

rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

eau au niveau de l'échangeur interne 30/35°C

température air extérieur 7°C B.S. / -6°C B.H.

Données se référant aux conditions suivantes:

eau au niveau de l'échangeur interne 30/35°C

température de l'air externe : +2°C B.S. / +1°C B.U.

Données se référant aux conditions suivantes:

eau échangeur interne = 23/18°C

température air externe : +35°C B.S. / 50% U.R.

rendement selon la documentation EUROVENT "Rating Standard for Liquid Chilling Packages" 6/C/003-2006, en considérant les éventuels cycles de dégivrage. La puissance absorbée totale

s'obtient en additionnant la puissance absorbée des compresseurs et la puissance absorbée des ventilateurs.

ESEER = Rapport de Rendement Énergétique Saisonnier.

Sortie d'eau = 7°C

Le niveau de pression sonore a été mesuré à une distance de 10 m de la surface extérieure de l'unité fonctionnant en espace libre, conformément à la norme EN 3744.

valeurs à titre indicatif

PHE = plaques

AX = ventilateur axial

(4.1) Eau échangeur interne = 12/7°C

(6.2) air en entrée de l'échangeur externe 35°C B.S.

(6.2) air en entrée de l'échangeur externe 35°C B.S.

(7.9) AX = ventilateur axial

(8.9) AX = ventilateur axial

## NIVEAUX SONORES

Niveaux Sonores (dB)								Niveau de pression sonore	Niveau de puissance sonore
Bande d'octave (Hz)								dB(A)	dB(A)
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
83	78	68	62	61	55	45	38	51	67

Les mesures sont effectuées conformément à la norme EN 3744, dans le respect de ce qui est exigé par la certification EUROVENT 8/1.

Le niveau de pression sonore a été mesuré à une distance de 1 m de la surface externe de l'unité fonctionnant en espace libre.

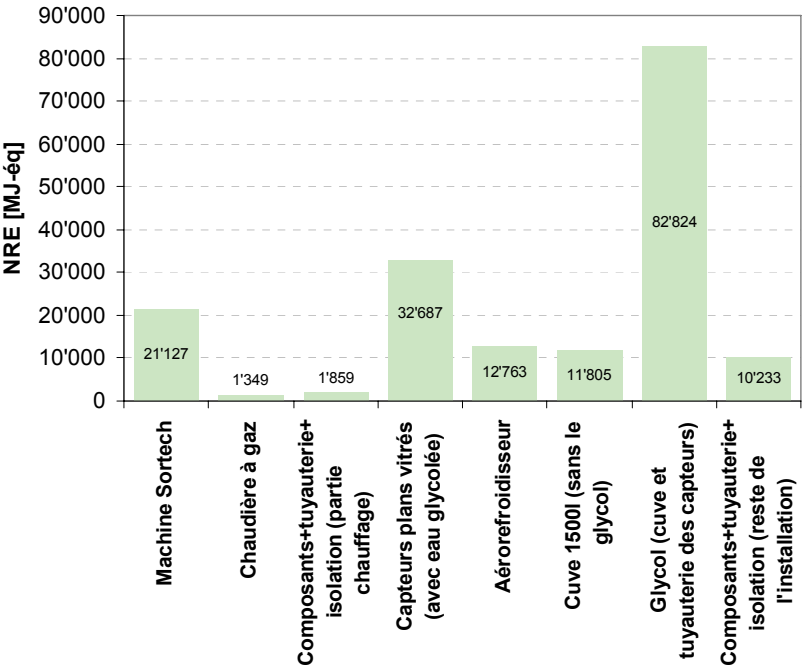
Données relevées dans les conditions suivantes:

eau au niveau de l'échangeur interne 30/35°C

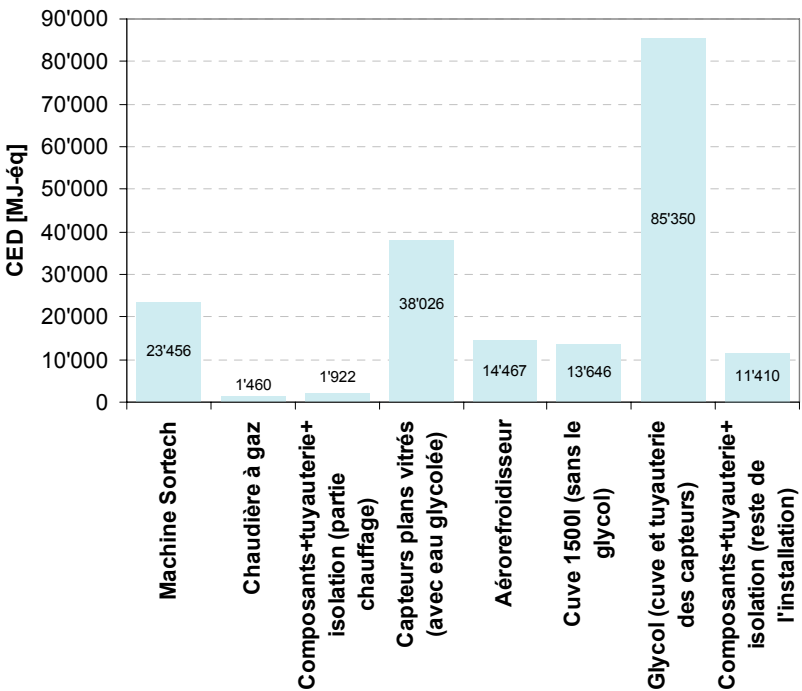
Température air extérieur : 7°C B.S. / 6.0 °C B.H.

Annexe 23 : Impacts des éléments composant l'installation de référence à Zürich selon les indicateurs :

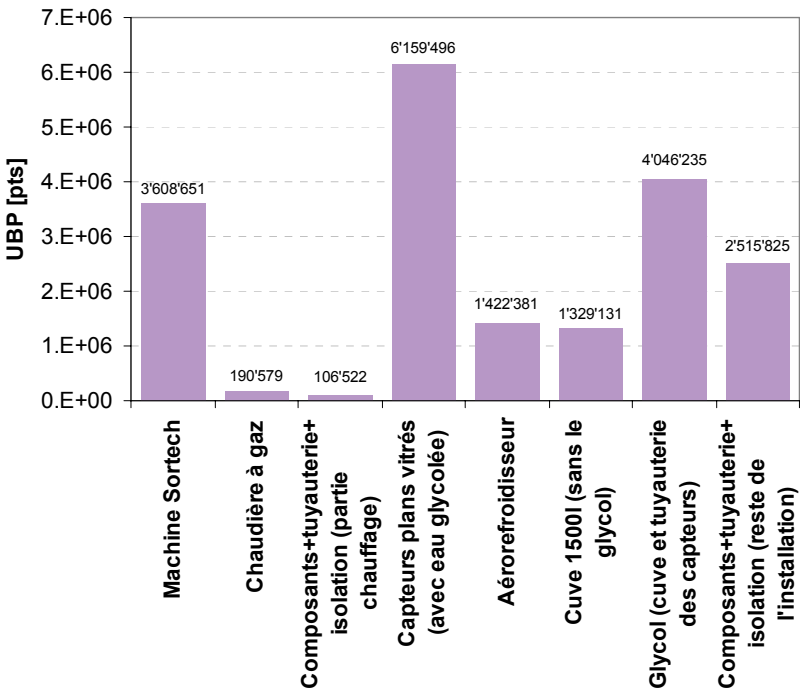
Energie primaire non renouvelable en MJ-éq



Energie primaire globale en MJ-éq

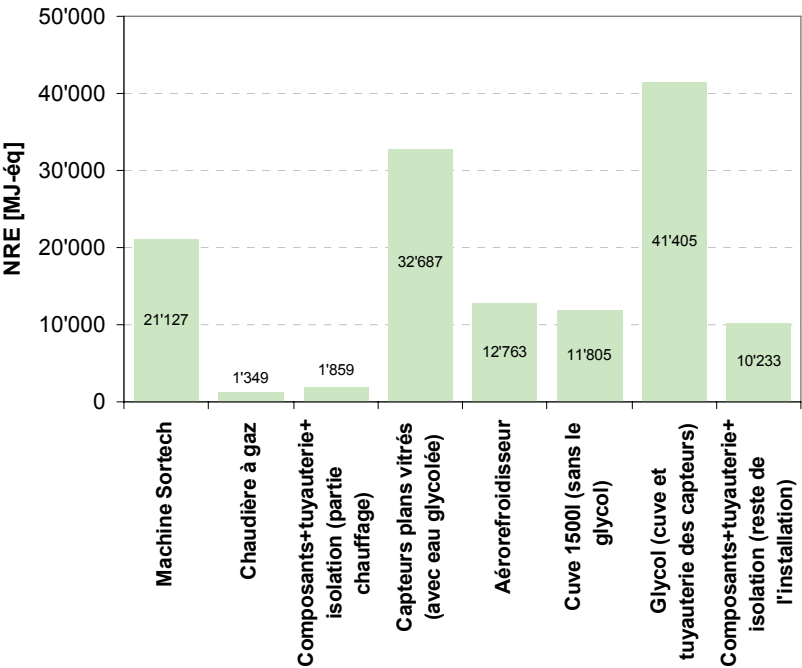


Ecopoints en UBP

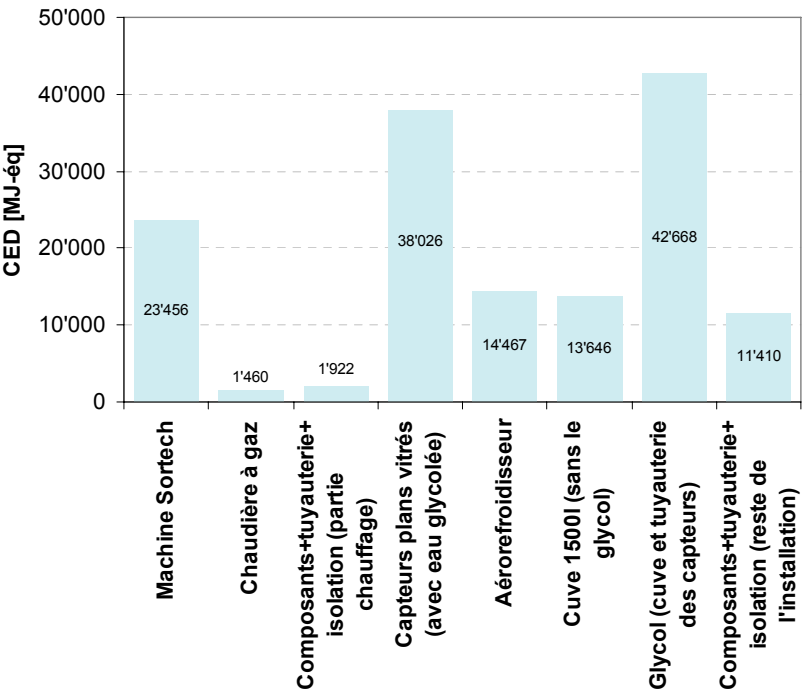


Annexe 24 : Impacts des éléments composant l'installation de référence à Barcelone selon les indicateurs :

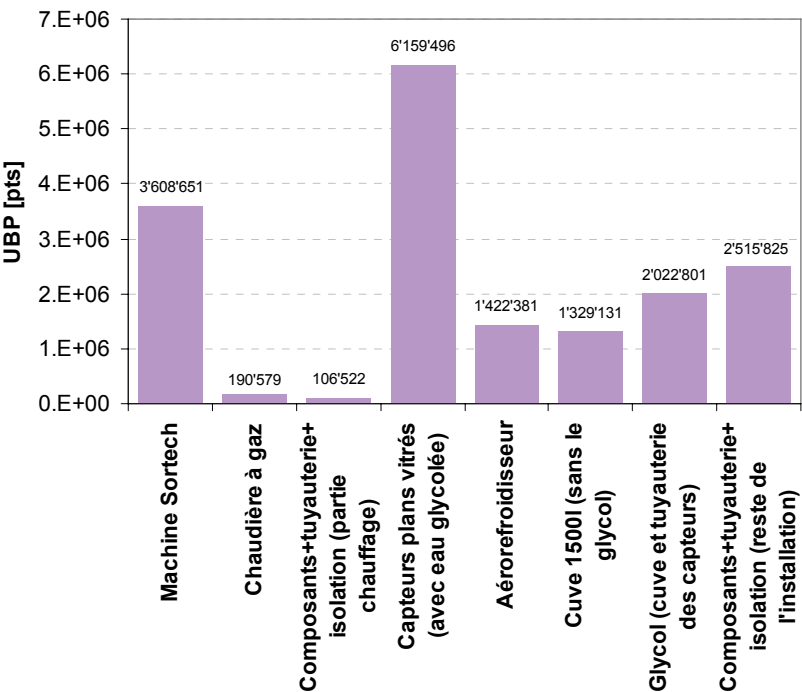
**Energie primaire non renouvelable en MJ-éq**



**Energie primaire globale en MJ-éq**

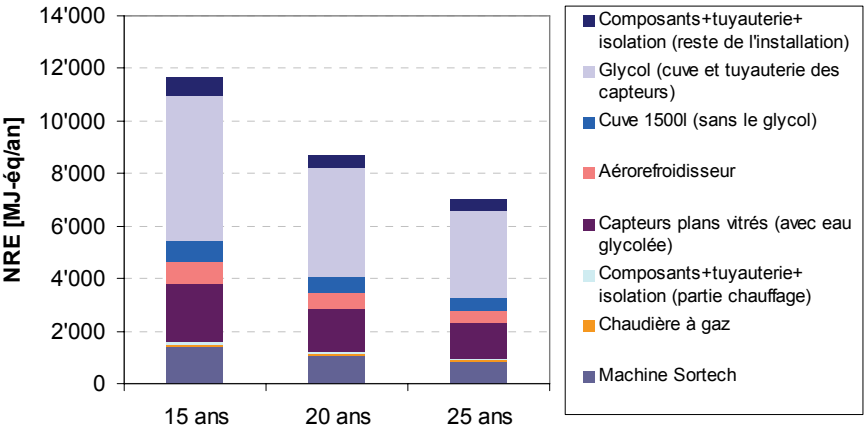


Ecopoints en UBP

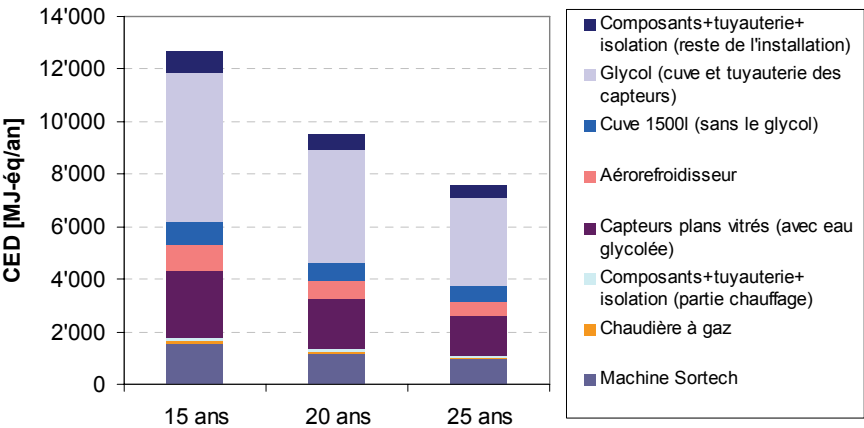


Annexe 25 : Impacts des matériaux de la configuration de référence avec des capteurs plans vitrés par année selon trois durées de vie pour Zürich :

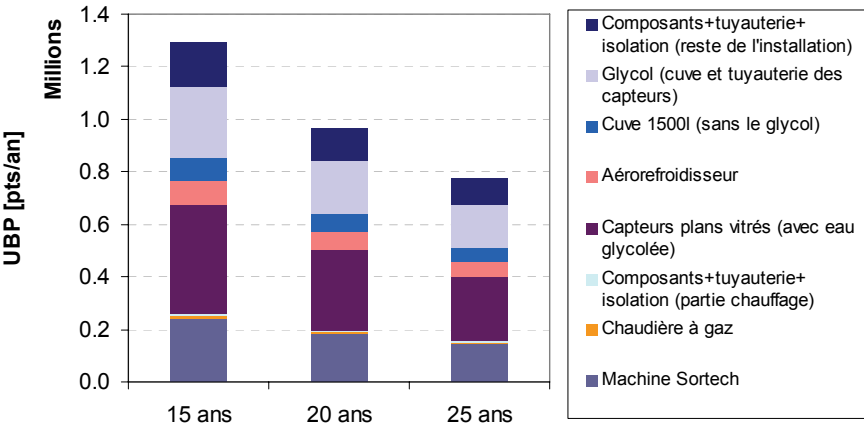
Energie primaire non renouvelable en MJ-éq/an



Energie primaire globale en MJ-éq/an



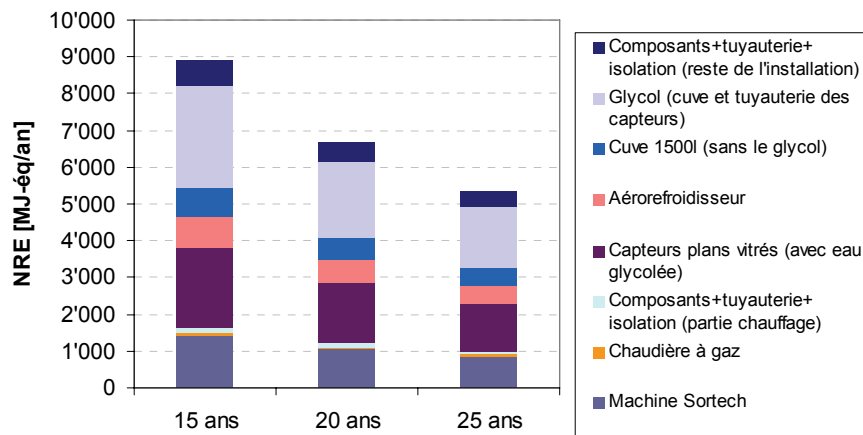
Ecopoints en UBP/an



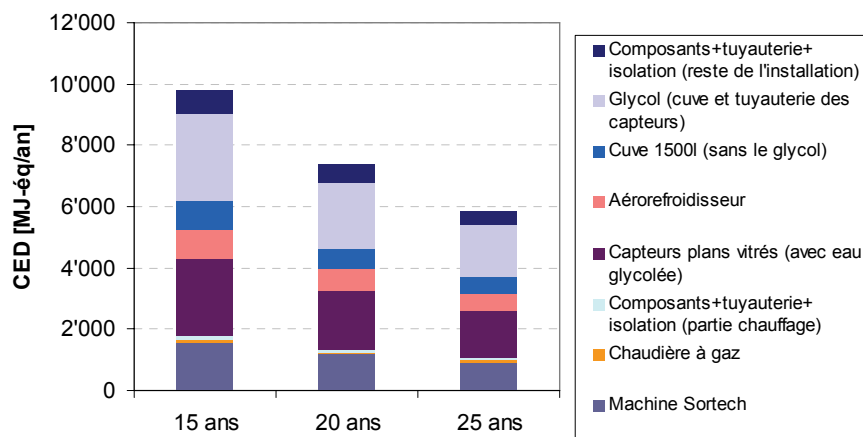


Annexe 26 : Impacts des matériaux de la configuration de référence avec des capteurs plans vitrés par année selon trois durées de vie pour Barcelone :

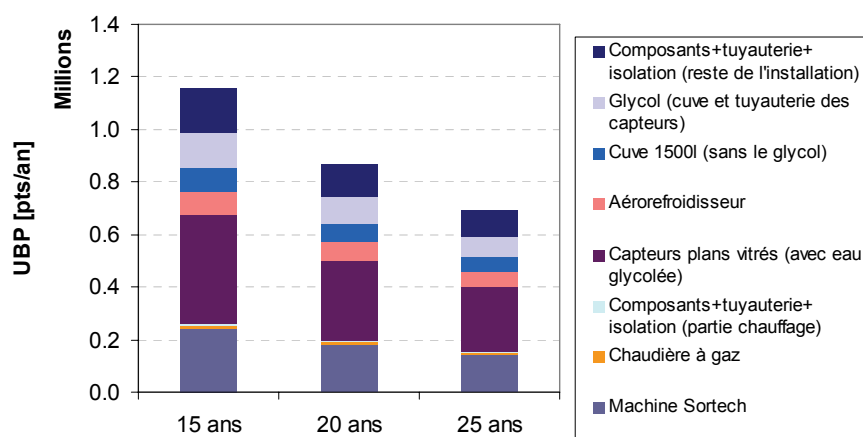
**Energie primaire non renouvelable en MJ-éq/an**



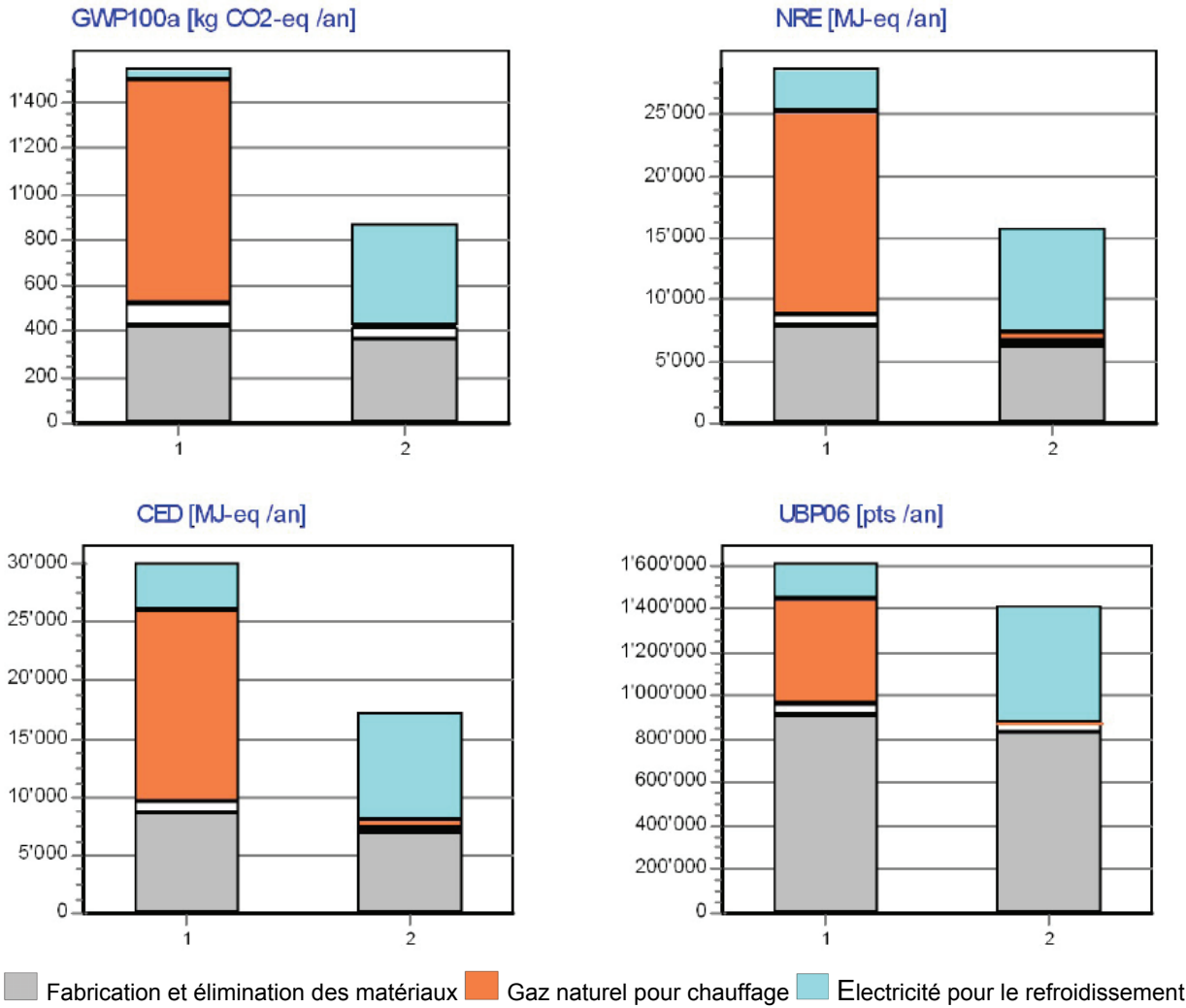
**Energie primaire globale en MJ-éq/an**



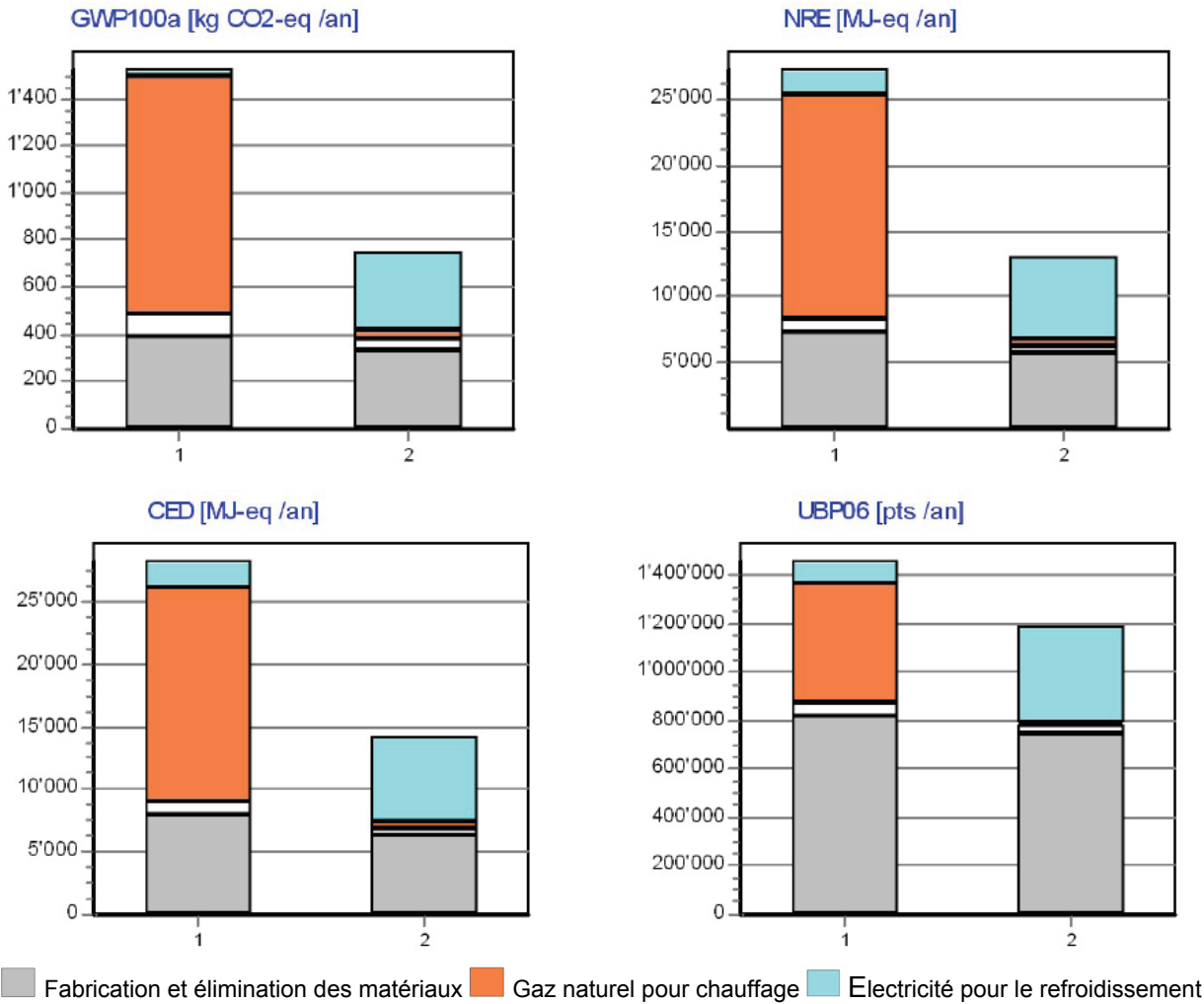
**Ecopoints en UBP/an**



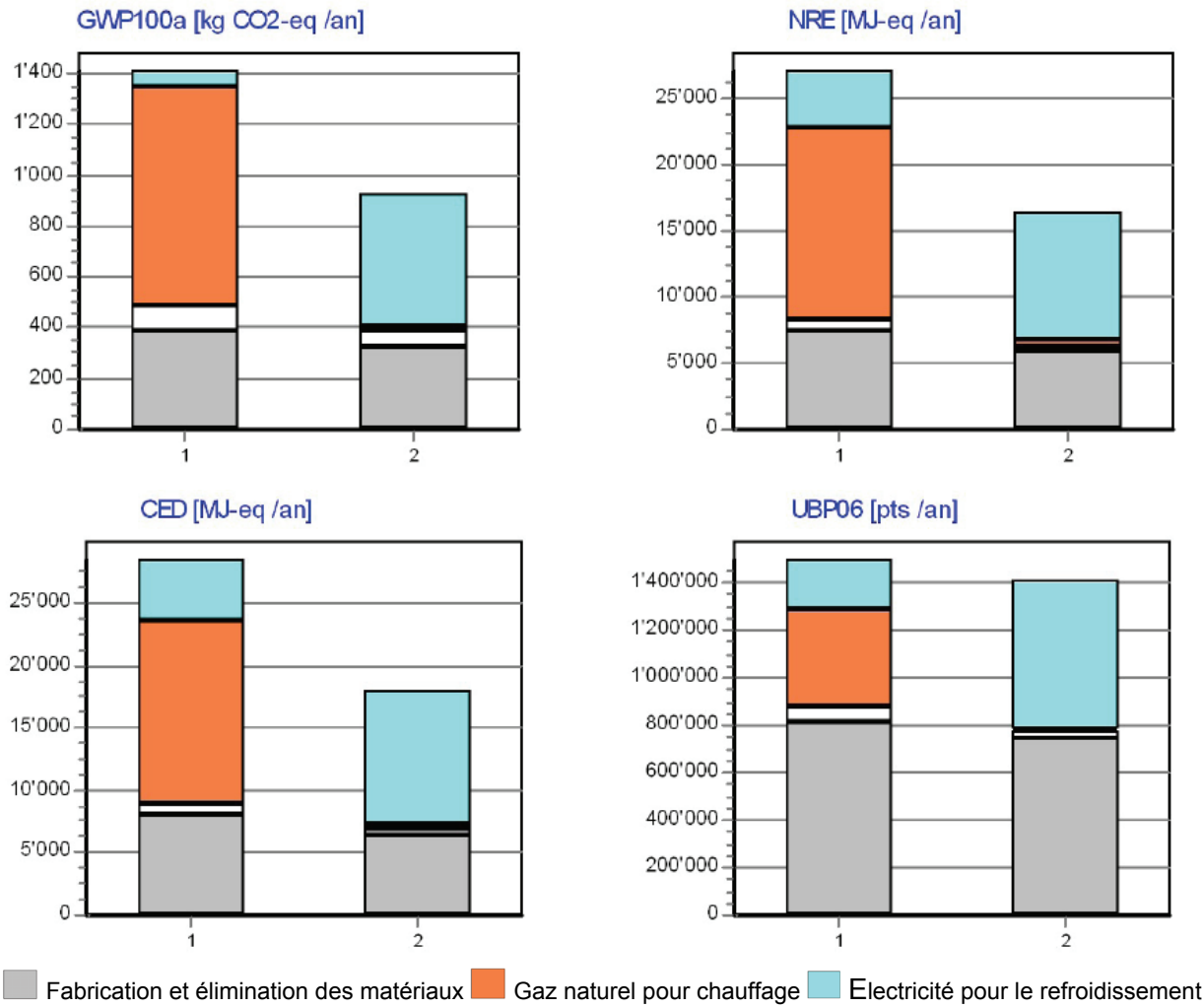
Annexe 27 : Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (bureau avec capteurs plans (ref))



Annexe 28 : Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (maison avec capteurs à tubes (ref))



Annexe 29 : Influence du climat sur les impacts (matériaux et énergie) à Zürich (1) et Barcelone (2) (bureau avec capteurs à tubes (ref))



## Annexe 30 : Coûts d'investissement des différentes configurations

<b>Installation de référence : Installation de climatisation solaire à adsorption avec chaudière à gaz</b>		
<i>Production de chaleur</i>	PRIX	SOURCES
Chaudière à gaz, 10 kW	SFr. 3'195	
Evacuation fumée	SFr. 5'000	
Introduction gaz	SFr. 5'950	Services des énergies à Yverdon + Hypothèse sur génie civil
Cuve 1500 litres	SFr. 7'200	Tobler 2005 ref art 55002.205
Travaux d'études	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jour
Transport, montage et mise en service	SFr. 800	Hypothèse 1 personne pendant 1 jour
<b>Total chaud</b>	<b>SFr. 22'945</b>	
<i>Production de froid</i>	Change : 1.4	
Sortech ACS 08	SFr. 12'586	Données Sortech
Recooler RCS 08	SFr. 4'746	Données Sortech
Groupe distri. PCS 08	SFr. 6'915	Données Sortech
Locaux	SFr. 2'400	gaz naturel
Travaux d'études	SFr. 960	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jour
Transport, montage et mise en service	SFr. 1'600	Hypothèse 1 personne pendant 2 jours
Régulation de l'ensemble	SFr. 1'500	
<b>Total froid</b>	<b>SFr. 30'707</b>	
<i>Installation solaire</i>		
25 m2 de capteurs plans	SFr. 30'000	Agena 2008
25 m2 de capteurs tubes	SFr. 35'000	Pas prit en compte dans l'analyse
Taxes autorisations	SFr. 150	<a href="http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf">http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf</a>
<i>Divers</i>		
Glycol pour toute l'installation (cuve, circuit MT et circuit HT)	SFr. 3'120	Prix Brenntag, achat HEIG-VD, 1.95.-/litre
<b>Total solaire</b>	<b>SFr. 33'270</b>	
<b>TOTAL INST. REF.</b>	<b>SFr. 86'922</b>	

<b>Configuration 1 : Installation traditionnelle avec groupe frigorifique à compression et chaudière à gaz</b>		
<i>Production de chaleur</i>	PRIX	SOURCES
Chaudière à gaz	SFr. 3'195	Catalogue Hoval
Evacuation fumée	SFr. 5'000	Catalogue Hoval + hypothèse
Introduction gaz	SFr. 5'950	Services des énergies à Yverdon + Hypothèse sur génie civil
Cuve 200 litres ECS	SFr. 1'700	Tobler 2005 ref art 55002.205
Travaux d'études	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jour
Taxes autorisations	SFr. 0	
Transport, montage et mise en service	SFr. 800	Hypothèse 1 personne pendant 1 jour
<b>Total chaud</b>	<b>SFr. 17'445</b>	
<i>Production de froid</i>		
Chiller 9.2 kW	SFr. 10'110	CTA, BRH 0031
Locaux	SFr. 600	gaz naturel
Travaux d'études	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jour
Taxes autorisations	SFr. 0	
Transport, montage et mise en service	SFr. 800	Hypothèse 1 personne pendant 1 jour
<b>Total froid</b>	<b>SFr. 12'310</b>	
<b>TOTAL Conf. 1</b>	<b>SFr. 29'755</b>	

<b>Configuration 2 : Installation avec pompe à chaleur réversible "air-eau"</b>		
<i>Production de chaleur et de froid</i>	PRIX	SOURCES
PAC air/eau, réversible, Pf =10.7 kW; Pc=10 kW, WSAR-MT-E 31	SFr. 13'500	Source Climamet AG
Amenée air	SFr. 1'324	Source Satag, 2008
Cuve 300 litres découplée	SFr. 1'200	Agena 2008 réf. 5.1.1
Cuve 200 litres ECS	SFr. 1'700	Tobler 2005 ref art 55002.205
Locaux	SFr. 1'500	gaz naturel
Travaux d'études	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jours
Taxes autorisations	SFr. 150	<a href="http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf">http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf</a>
Transport, montage et mise en service	SFr. 800	Hypothèse 1 personne pendant 1 jours
<b>TOTAL Conf.2</b>	<b>SFr. 20'974</b>	

<b>Configuration 3 : Installation avec pompe à chaleur réversible "sol-eau"</b>		
<i>Production de chaleur et de froid</i>	PRIX	SOURCES
8.8 kWf, 9 kWc	SFr. 11'620	CTA, BWR-MTD 0031
Sondes géothermique, 140 m	SFr. 11'000	agena, 2008 + geothermie.ch
Cuve 300 litres découplée	SFr. 1'200	Agena 2008 réf. 5.1.1
Cuve 200 litres ECS	SFr. 1'700	Tobler 2005 ref art 55002.205
Glycol	SFr. 488	Prix Brenntag, achat HEIG-VD, 1.95.-/litre
Locaux	SFr. 750	gaz naturel
Travaux d'études	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jours
Taxes autorisations	SFr. 150	<a href="http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf">http://www.mollens.ch/data/download/Objets/Id_21_Taxes%20et%20tarifs%20des%20autorisation%20de%20construire.pdf</a>
Transport, montage et mise en service	SFr. 800	Hypothèse 1 personnes pendant 1 jour
<b>TOTAL Conf. 3</b>	<b>SFr. 28'508</b>	