

**DEPARTEMENT DE MAYOTTE**

**COMMUNE DEMAMOUDZOU**

**CLIMATISATION SOLAIRE**

**ETUDE DE FAISABILITE POUR UNE INSTALLATION DE  
CLIMATISATION SOLAIRE POUR LE SIEGE SOCIAL EDM**

**MAITRISE D'OUVRAGE :**



**ELECTRICITE DE MAYOTTE**

Zone industrielle de Kawéni

BP 333

97 600 MAMOUDZOU

**BUREAU D'ETUDES :**



**COTEL INGENIERIE**  
4, rue Emile Hugot – BP 60128  
97492 Sainte Clotilde Cedex

☎ : 02 62 97 50 97

📠 : 02 62 97 02 10

📧 : [cotel@cotel-ingenierie.com](mailto:cotel@cotel-ingenierie.com)

**COTEL Mayotte**  
Rés. Sana, r du Commerce  
97600 Mamoudzou

☎ : 02 69 60 01 56

📠 : 02 69 60 01 57

📧 : [cotel.mayotte@orange.fr](mailto:cotel.mayotte@orange.fr)

**COFINANCE  
PAR :**

**ADEME**



Version  
Juillet  
2013  
Ind. 1

E3-3495

# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
1.1 Renseignements Administratifs	4
1.2 Description du Projet	4
1.3 Equipements de Climatisation Solaire	5
1.4 Principe de l'étude	9
<b>2. DESCRIPTION DU BATIMENT OBJET DE L'INSTALLATION</b>	<b>10</b>
2.1 Description de l'architecture du bâtiment	10
2.2 Description de l'installation de climatisation prévue en base	10
<b>3. MODELISATIONS THERMIQUES DU BATIMENT</b>	<b>11</b>
3.1 Hypothèses retenues pour l'évaluation des besoins thermiques :	11
3.2 Modélisation en semaine	12
3.3 Modélisation en week-end	13
3.4 representation graphique de la saisonalite	14
<b>4. DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION</b>	<b>15</b>
4.1 Méthode de dimensionnement	15
4.2 Choix de la machine à absorption	15
4.3 Dimensionnement de la surface de capteurs solaires	16
4.4 Dimensionnement du refroidisseur évaporatif adiabatique	17
4.5 Dimensionnement du refroidisseur évaporatif tour fermée (variante)	18
4.6 Emplacement du local technique	18
<b>5. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION</b>	<b>19</b>
5.1 Description de l'installation a absorption	19
5.2 Fonctionnement de l'installation retenue	19
5.3 Système de télécontrôle	20
<b>6. BILANS ENERGETIQUES DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION</b>	<b>21</b>
6.1 Base de calcul	21
6.2 deperdition climatisation solaire	21
6.3 Production calorifique solaire	22
6.4 Production frigorifique solaire	22
6.5 Couverture frigorifique solaire en semaine	23
6.6 Couverture frigorifique solaire le week-end	23
6.7 Consommation électrique climatisation solaire	24
6.8 Bilan énergétique global / coefficient de performance absorption	25
<b>7. BILAN ECONOMIQUE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION</b>	<b>26</b>
7.1 Détail estimatif des coûts de l'installation retenue	26
7.2 Evaluation des coûts d'exploitation annuels de L'installation	26
7.3 Bilan économique brut de l'opération	27
7.4 Aides envisageables	27
<b>8. DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION SOLAIRE par ADSORPTION</b>	<b>28</b>
8.1 Méthode de dimensionnement	28
8.2 Choix de la machine à adsorption	28
8.3 Dimensionnement de la surface de capteurs solaires	29
8.4 Dimensionnement du refroidisseur évaporatif adiabatique	30
8.5 Emplacement du local technique	31
<b>9. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION</b>	<b>32</b>
9.1 Description de l'installations retenue	32
9.2 Fonctionnement de l'installation retenue	32
9.3 Système de télécontrôle	33
<b>10. BILANS ENERGETIQUES DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION</b>	<b>34</b>
10.1 BASE de calcul	34
10.2 deperdition climatisation solaire	34
10.3 Production calorifique solaire	35
10.4 Production frigorifique solaire	35
10.5 Couverture frigorifique solaire en semaine	36
10.6 Couverture frigorifique solaire le week-end	36
10.7 Consommation électrique climatisation solaire par adsorption	37

10.8	Bilan énergétique global / coefficient de performance _____	38
<b>11.</b>	<b><i>BILAN ECONOMIQUE DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION</i></b> _____	<b>39</b>
11.1	Détail estimatif des coûts de l'installation retenue _____	39
11.2	Evaluation des coûts d'exploitation annuels de l'installation _____	39
11.3	Bilan économique brut de l'opération _____	40
11.4	Aides envisageables _____	40
<b>12.</b>	<b><i>IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT</i></b> _____	<b>40</b>
<b>13.</b>	<b><i>INTERET DES SOLUTIONS DE CLIMATISATION SOLAIRE, CONCLUSION</i></b> _____	<b>41</b>
<b>14.</b>	<b><i>ANNEXE TECHNIQUE</i></b> _____	<b>42</b>



## 1. INTRODUCTION

---

Dans le cadre de ses préoccupations environnementales, notamment en matière d'économies d'énergie, EDM souhaite réaliser une étude de faisabilité concernant la mise en place d'une installation de climatisation solaire sur leur futur siège social à Mamoudzou.

Ceci doit permettre d'intégrer le concept de production d'énergie propre et d'une politique de qualité énergétique des bâtiments en cohésion avec l'aspect économique.

La présente étude a pour objectif de présenter au maître d'ouvrage la solution la mieux adaptée aux particularités du projet en termes d'implantation, de choix et dimensionnement des matériels, d'intégration architecturale du système, mais précisera également les coûts, la production énergétique, ainsi qu'un bilan environnemental en terme de quantité d'émissions de CO<sub>2</sub> évitées.

La présente étude apportera au maître d'ouvrage un regard d'expert extérieur à l'établissement, et sera une aide à la décision dans le cadre de travaux d'équipement correspondants.

Ainsi, cette étude de faisabilité s'inscrit dans le programme de maîtrise de l'énergie, piloté par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), et peut bénéficier d'une aide sur coût de la présente étude.

### 1.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

-Maître d'ouvrage délégué : ELECTRICITE DE MAYOTTE

-Bâtiment concerné par le projet :Siège social situé à Mamoudzou (projet en construction)

### 1.2 DESCRIPTION DU PROJET

La construction du bâtiment vient de démarrer. La climatisation des locaux a été prévue en base par un groupe froid classique à condensation par air avec distribution d'eau glacée dans les bureaux et salle de réunion. Le traitement terminal sera réalisé par cassettes plafonniers.

Le projet vise à assurer partiellement la climatisation des locaux à l'aide d'une installation de climatisation solaire en appoint du groupe froid « classique ».

Le principe consiste à pré-refroidir l'eau en amont du groupe à eau glacée, en utilisant la totalité des calories solaires et ainsi optimiser le groupe.



### 1.3 EQUIPEMENTS DE CLIMATISATION SOLAIRE

#### 1.3.1 Les différentes technologies de climatisation solaire

Il existe deux grandes familles de systèmes de climatisation solaire :

- Les systèmes avec machine de froid à sorption (absorption et adsorption), ce sont des systèmes à cycle fermé
- Les systèmes avec DessiccantCooling, ce sont des systèmes à cycle ouvert

Les machines de froid à sorption produisent de l'eau glacée alors que les systèmes à dessiccation produisent directement de l'air rafraîchi.

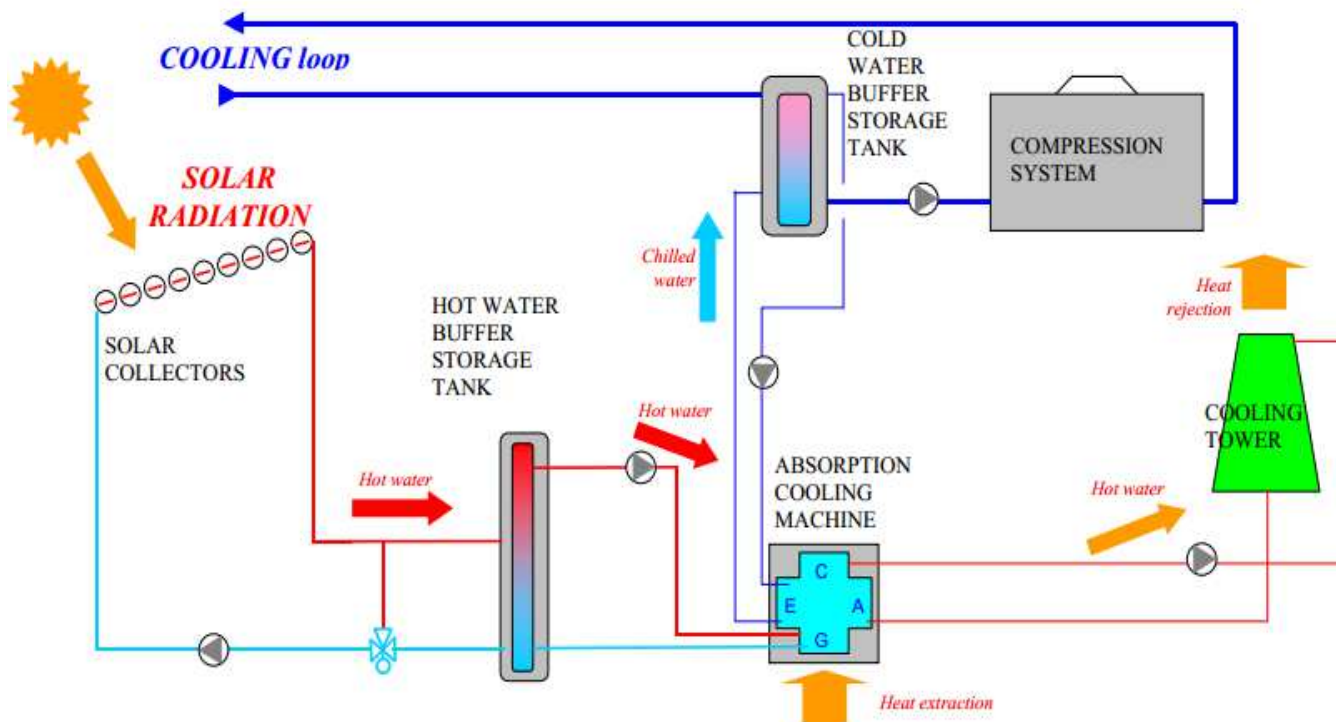
Dans le cadre de cette étude, ce sont les machines de froid à sorption qui nous intéressent puisque nous cherchons à produire de l'eau glacée afin d'abaisser la température de retour du réseau de climatisation, ce qui limitera la consommation du groupe classique.

Les systèmes avec machine de froid à sorption sont composés de :

- Capteurs solaires avec une boucle primaire et un stockage d'eau chaude dans un ballon tampon
- Boucle secondaire alimentant en eau chaude le générateur de la machine à sorption
- Machine à absorption ou à adsorption, partie centrale du système
- Condenseur avec une boucle de refroidissement
- Boucle de distribution d'eau glacée

Dans le cas d'une machine à absorption, l'agent de sorption est liquide et il est solide dans le cas d'une machine à adsorption.

#### 1.3.2 Schéma de principe de machines à absorption

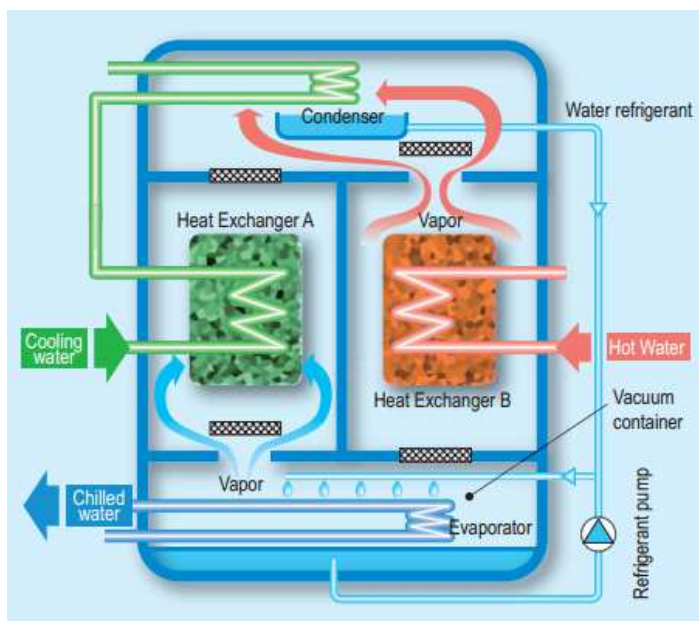


Machine à absorption au Bromure de Lithium

Les différents avantages de cette technologie de climatisation solaire :

- Température de démarrage des machines de l'ordre de 75°C, ce qui est adapté aux régimes de température des capteurs solaires (Rendement capteur = 0.5).
- Efficacité des machines d'autant meilleure que le régime de température sur le circuit d'évacuation des calories est faible (doit être idéalement <28°C), ce qui impose la mise en place de refroidisseurs évaporatifs. Toutefois la forte hygrométrie à Mayotte pose d'importantes contraintes sur la sélection des équipements (évaporation moins efficace qu'en climat sec).
- Qui plus est, la consommation énergétique de ce type de refroidisseurs reste limitée par rapport à des condenseurs à air de groupes froids classiques (petit circulateur en plus, mais ventilateurs nettement moins puissants, car on utilise la chaleur latente d'évaporation de l'eau).
- Bonne fiabilité des machines à adsorption (une fois correctement paramétrées), qui ne comportent pas de pièces tournantes, à la différence des compresseurs des groupes froids classiques.

### 1.3.3 Schéma de principe de machines à adsorption



*Principe machine à adsorption Eau / Silica-Gel*

Les machines à adsorption présentent plusieurs avantages :

- Elles sont plus robustes, elles ne comportent pas de pièces tournantes à la différence des compresseurs des groupes froids classiques.
- Elles peuvent fonctionner avec une faible température de source chaude : 55/60°C minimum contre 65/70°C pour les machines à absorption, ce qui est adapté aux régimes de température des capteurs solaires, plus efficaces à « basse température » (Rendement capteur = 0.65).
- Contrairement aux machines à absorption, elles ne présentent pas de risque de cristallisation et il n'y a pas de pompes de solution.
- Aujourd'hui des progrès ont été réalisés pour réduire le volume de ces machines.

#### Remarque les machines à sorption :

L'absorption sert à la séparation d'un ou de plusieurs composants gazeux d'un flux de gaz à l'aide d'un solvant. L'adsorption sert à la séparation des différents composants d'un mélange gazeux ou liquide, le composant à séparer est lié physiquement ou chimiquement à la surface du solide.

### 1.3.4 Capteurs solaires

Plusieurs types de capteurs solaires peuvent être envisagés pour l'application « climatisation solaire » :

- Capteurs à concentration : un tube contenant le fluide caloporteur est placé au foyer d'un miroir concentrant le rayonnement solaire. Cette technologie permet d'atteindre des températures très élevées, mais nécessite un système de suivi du soleil (« tracking »), cher et source de dysfonctionnements. De plus, le prix élevé de ces systèmes les destines uniquement aux centrales de très forte puissance. Enfin ce système est sensible au rayonnement solaire direct, et est plus adapté à des climats avec des ciels très clairs (désert par exemple). Ce type de capteurs est à proscrire pour une utilisation à Mayotte.
- Capteurs à tubes sous vide (avec ou sans caloducs) : Capteurs utilisant des ampoules en verre dans lesquelles est réalisé un vide partiel, ce qui minimise les déperditions thermiques des capteurs vers l'extérieur, et permet d'atteindre des températures élevées. L'inconvénient majeur de cette technologie est la fragilité du matériel, qui a déjà montré ses limites de par le passé sur d'autres applications à la Réunion. De plus, leur prix est nettement plus élevé que les capteurs plans vitrés à haute efficacité.
- Capteurs plans vitrés à haute efficacité : Ces capteurs permettent d'atteindre des températures élevées, tout en faisant appel à des technologies simples, éprouvées depuis longtemps, et très fiables. De plus, leur coût étant très faible par rapport aux autres types de capteurs, ils sont idéaux, surtout avec les météorologies tropicales, bien meilleures qu'en Europe continentale, par exemple. A l'heure actuelle, il existe des capteurs plans de caractéristiques d'efficacité presque équivalentes capteurs sous vide.

### 1.3.5 Refroidisseur évaporatif adiabatique

Le refroidisseur adiabatique est un échangeur de chaleur, conçu pour deux modes de fonctionnement :

- En mode sec le fluide est refroidit par convection forcée sur les batteries.
- En mode adiabatique, les medias entourant le groupe sont humidifiés et l'air ambiant traversant le média se refroidit par évaporation. L'air ainsi pré-refroidi traverse ensuite la batterie pour refroidir le fluide

Cette utilisation en mode adiabatique permet de pouvoir utiliser l'énergie latente due à l'évaporation de l'eau, ce qui limite donc la consommation électrique des ventilateurs. Ce type de refroidisseur évaporatif présente les avantages suivants :

- Ne nécessite pas de déclaration à l'inspection des installations classées au sens de la rubrique 2921
- Entretien minime (visite annuelle, pas besoin de traitement d'eau particulier)

Par contre, il est assez encombrant, assez lourd, et assez cher à l'investissement comparé à d'autres technologies.



Exemple de refroidisseur évaporatif adiabatique : Modèle TOPAZ de JACIR

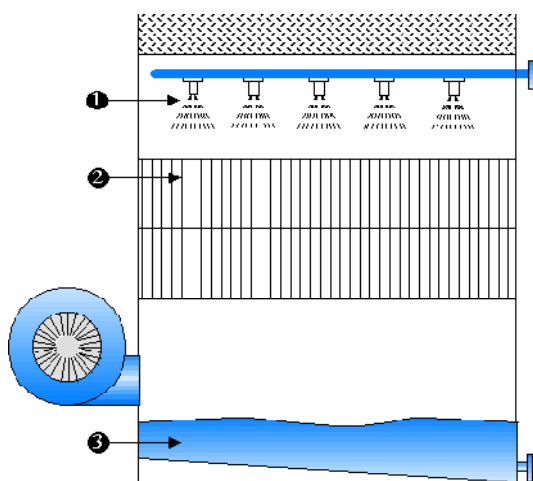
**1.3.6 Variante : Refroidisseur évaporatif type tour ouverte**

Ce type de refroidisseur a pour principe la pulvérisation directe de l'eau de refroidissement à travers un flux d'air, qui vient faire évaporer une partie de l'eau et donc provoquer son refroidissement .

Cette technologie a pour avantage principal une très bonne efficacité énergétique, et un coût d'investissement réduit, ainsi qu'un poids et un encombrement très faible comparé aux autres technologies évaporatives.

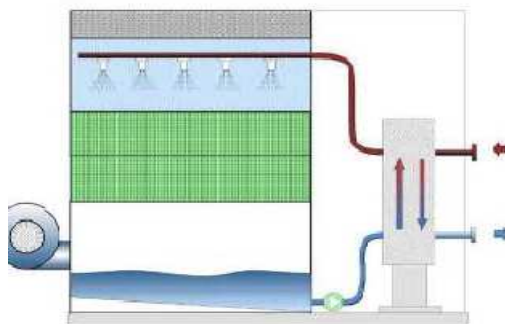
Par contre, c'est le type de refroidisseur évaporatif le plus contraignant au niveau du traitement d'eau, car le générateur d'aérosols peut véhiculer des légionnelles si le traitement n'est pas sérieusement suivi. Les installations seront classées au sens de la rubrique 2921.

Les coûts d'entretien de ces refroidisseurs sont très élevés, du fait de contrôles réguliers (analyses, passages d'inspecteurs...), et du coût des produits et opérations de traitement (algicide, bactéricide, nettoyages réguliers...). Pour ces raisons, ce type de refroidisseurs ne semble pas opportun pour ce projet.



**1.3.7 Variante : Refroidisseur évaporatif type tour fermée**

Le principe de la tour fermée est proche du refroidisseur adiabatique, avec une circulation de l'eau de refroidissement dans une batterie aspergée d'eau de refroidissement qui recircule en circuit fermé au sein de la tour :



Même si ce dernier système est classé au sens de la rubrique 2921, les légionnelles sont plus facilement maîtrisables, au prix de coûts d'entretien tout de même élevés (produits+contrôles).

Ces refroidisseurs sont un peu moins encombrants que les refroidisseurs adiabatiques, un peu plus efficaces, mais tout de même assez lourds.

Nous étudierons en variante la possibilité de recours à cette technologie de refroidisseur.



## 1.4 Principe de l'étude

La présente étude présentera les deux solutions de climatisation solaire, l'analyse va se porter sur les termes de fonctionnement, de fiabilité, de contraintes environnementales que de coût d'investissement, à savoir :

- Machine à absorption et à adsorption.
- Refroidisseur évaporatif adiabatique en base, variante avec tour fermée (Absorption uniquement).
- Capteurs solaires plans vitrés, à haute efficacité.
- Raccordement sur réseau d'eau glacée prévu en base

Des comparatifs énergétiques et économiques seront réalisés pour faire ressortir les avantages et contraintes de la mise en place des deux systèmes de climatisation solaire pour assurer une partie des besoins par rapport à un scénario de référence où tous les besoins sont assurés par le groupe d'eau glacée à compression. Ce cas est le cas le plus favorable dans le sens où toute l'énergie solaire sera valorisée « au fil du soleil » (groupes toujours en-dessous des besoins totaux).



## 2. DESCRIPTION DU BATIMENT OBJET DE L'INSTALLATION

### 2.1 DESCRIPTION DE L'ARCHITECTURE DU BATIMENT

Le bâtiment comprend plusieurs zones :

- Une zone d'accueil, exploitation, et réunion au Rez De Chaussée
- Une zone de bureau et administration au R+1
- Une zone cafétéria au R+2.
- Une terrasse technique en toiture.



### 2.2 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION PREVUE EN BASE

Le projet s'inscrit dans une démarche environnementale, un bureau d'études techniques ayant été spécifiquement retenu pour étudier la conception thermique performante du bâtiment.

Le dossier de consultation des entreprises du projet a été élaboré, et il a été retenu pour la climatisation du site :

- Un groupe froid classique à condensation par air (P=200kWf, implantation en toiture).
- Un réseau d'eau glacée (7°C-12°C) pour alimenter les unités terminales.
- Des unités terminales type cassettes en faux plafond des locaux.
- Une CTA Double flux asservie à une sonde C02 pour le prétraitement de l'air neuf (CTA alimentée par le groupe d'eau glacée)

Certains locaux devant être climatisés en permanence sont pourvus de climatiseurs à détente directe (split system) et certains locaux regroupent les deux types de climatisation (sécurité de service) à savoir :

Split système	Split système + Eau glacée
Locaux techniques N°1	Salle informatique
Locaux techniques N°2	Salle blanche informatique
Brinks	Salle blanche



### 3. MODELISATIONS THERMIQUES DU BATIMENT

---

Dans cette partie, nous avons réalisé plusieurs simulations thermiques du bâtiment, afin de déterminer les besoins thermiques et consommations énergétiques correspondantes.

#### 3.1 HYPOTHESES RETENUES POUR L'EVALUATION DES BESOINS THERMIQUES :

- Méthode de calcul : Modélisation numérique par le logiciel MC4-HVAC, utilisant les algorithmes de la méthode ASHRAE. Calcul des besoins heure par heure sur une journée type pour chaque mois de l'année.
- Zone considérée : zone bureaux et zone de cafétéria.
- Occupation : Du lundi au vendredi, de 8h à 18h00. Sans période d'arrêt annuel.  
Même fréquence horaire que le week-end mais avec 30% des besoins de climatisation.
- Données météorologiques :
  - o Conditions d'été : Température max sèche : 31°C, avec 70% d'hygrométrie
  - o Conditions d'hiver : Température max sèche : 26°C, avec 92% d'hygrométrie
  - o Amplitude thermique journalière de 6°C
  - o Irradiation solaire selon tables ASHRAE
- Orientation du bâtiment suivant plan : Façade principale N+15°E
- Climatisation durant toute l'année
- Fonctionnement des installations :
  - o de 7h à 8h : 60%
  - o de 8h à 11h : 65%
  - o de 11h à 15h : 100%
  - o de 15h à 18h : 70%
  - o pour la cafétéria : fonctionnement uniquement de 11h30 à 14h30
  - o 30% le week-end
  - o Climatisation arrêtée la nuit
- Température de consigne : 25°C / 60%
- Charges internes :
  - o Occupants : 65 W chaleur sensible et 55 W chaleur latente avec taux d'occupation :
    - 3 personnes par bureau
    - 32 personnes dans le réfectoire
    - 6 personnes dans la salle de réunion
    - 12 personnes à l'accueil
  - o Eclairage : 10 W/m<sup>2</sup>
    - de 8h à 12h : 100%
    - de 12h à 14h : 50%
    - de 14h à 18h : 100%
    - 10% le reste du temps
  - o Autres apports :
    - 150 W/ordinateur
    - 100 W dans la cafétéria
- Infiltration d'air extérieur :
  - o L'air neuf sera traité par une centrale de traitement d'air double flux asservie à une sonde CO<sub>2</sub>, et les bureaux seront mis en surpression par rapport aux circulations.



- Caractéristiques des parois :
  - o Toiture terrasse : Isolation par panneau rigide en laine de verre, épaisseur 80mm,  $\lambda=0,04 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$ + lame d'air + panneau de plâtre cartonné 13mm  $\Rightarrow U_{\text{toiture}} = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - o Mur béton : parois BA 18cm sans isolation  $\Rightarrow U = 4.1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - o Cloison : 2 panneaux de plâtre cartonnés 13mm avec lame d'air 54mm,  $\Rightarrow U = 3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- Caractéristiques des vitrages :
  - o Vitrage double  $\Rightarrow U = 5.89 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - o Mur rideau vitrage double  $U = 3.27 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

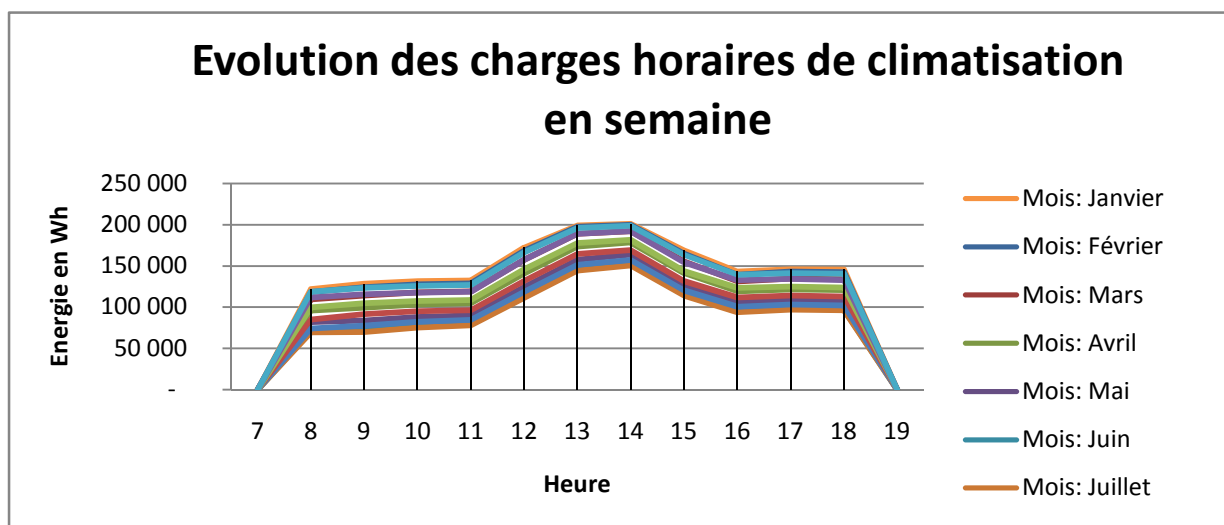
### 3.2 MODELISATION EN SEMAINE

La modélisation du bâtiment, donne les résultats de besoins thermiques suivants :

- Puissance froid maximale nécessaire : environ 200kWf (en Janvier à 14h)
- Besoin annuel en froid (fonctionnement de la climatisation toute l'année) : 370 917 kWh.
- Consommation électrique correspondante (hyp:COPmoyen = 2,45) : 151395 kWh.

Heure	Mois: Janvier	Mois: Février	Mois: Mars	Mois: Avril	Mois: Mai	Mois: Juin	Mois: Juillet	Mois: Août	Mois: Septembre	Mois: Octobre	Mois: Novembre	Mois: Décembre
	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	121 769	118 456	109 371	95 687	81 650	71 091	69 278	74 282	84 936	99 825	112 010	118 770
9	128 382	124 035	114 145	99 082	83 616	71 774	69 948	77 612	91 506	104 802	115 652	123 374
10	131 454	127 629	117 916	103 006	87 923	76 732	75 318	82 230	94 943	107 209	117 675	125 695
11	132 491	128 892	119 338	104 583	89 816	79 101	77 924	84 382	96 390	108 374	118 819	126 770
12	172 546	168 539	157 625	140 789	124 235	112 364	111 179	118 565	132 088	145 689	157 500	166 448
13	199 052	197 463	188 981	173 149	157 445	145 857	144 404	151 417	164 338	177 413	188 949	195 886
14	201 119	199 768	192 249	178 371	163 547	152 144	150 504	157 101	169 156	181 442	192 236	198 650
15	168 992	165 000	155 787	141 192	126 236	115 342	114 018	120 234	131 512	143 344	154 588	163 273
16	143 198	139 429	131 282	119 219	106 091	95 693	93 865	100 492	111 734	123 199	132 656	139 223
17	146 126	142 969	134 595	121 540	108 222	98 270	97 087	103 059	113 895	124 891	134 194	141 103
18	145 555	142 418	133 929	120 436	106 840	97 071	96 208	102 075	113 003	123 662	132 969	140 268
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tot journalier [Wh]</b>	<b>1 690 684</b>	<b>1 654 597</b>	<b>1 555 218</b>	<b>1 397 053</b>	<b>1 235 622</b>	<b>1 115 438</b>	<b>1 099 732</b>	<b>1 171 448</b>	<b>1 303 501</b>	<b>1 439 848</b>	<b>1 557 248</b>	<b>1 639 461</b>

Le tableau et les graphes suivants reprennent les résultats de simulation:



Besoins froid pour la climatisation des bureaux (Wh), pour la semaine



### 3.3 MODELISATION EN WEEK-END

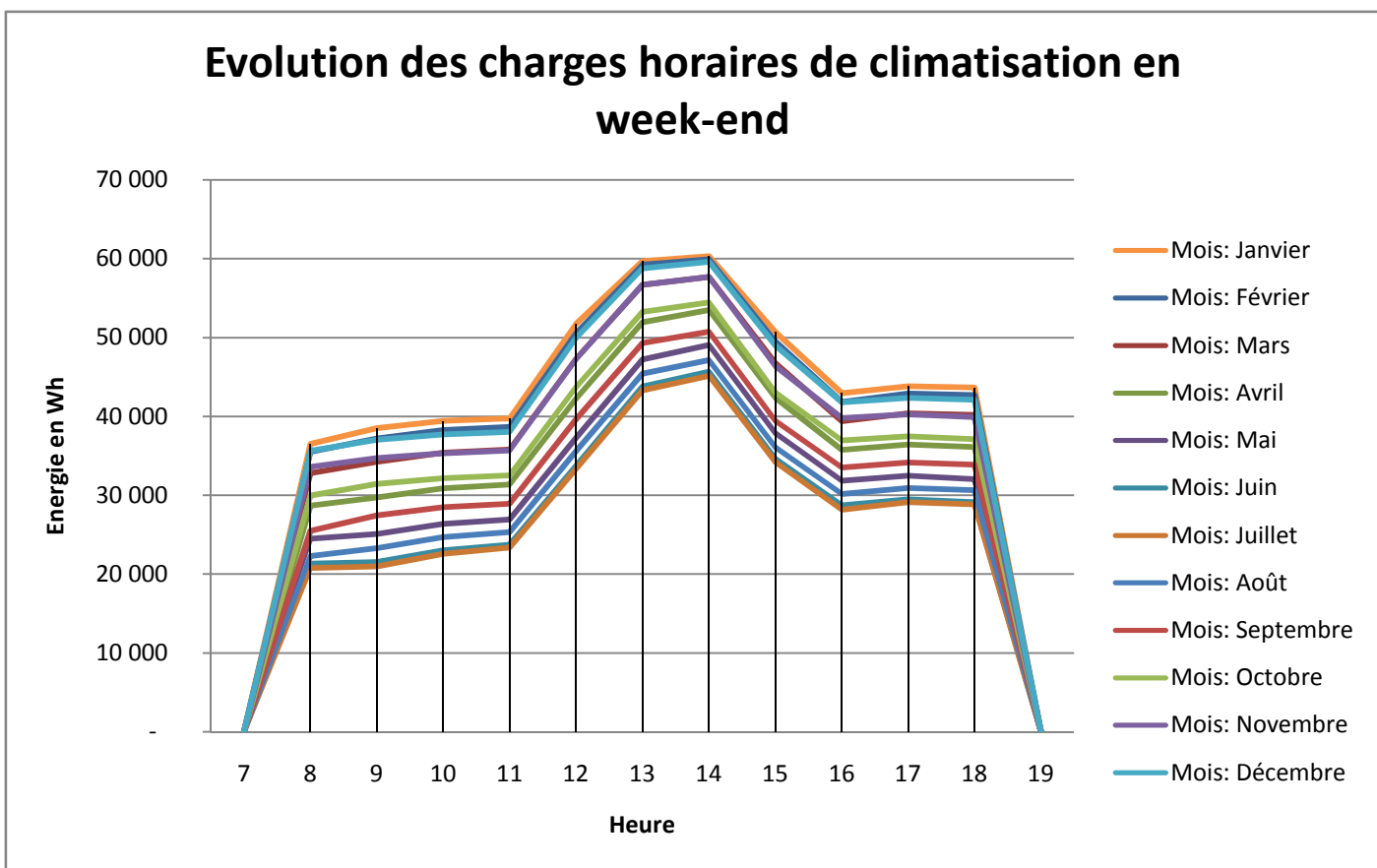
Le week-end, nous supposons qu'une partie seulement des bureaux reste à climatiser (dispatching notamment).

La modélisation du bâtiment, donne les résultats de besoins thermiques suivants :

- Puissance froid maximale nécessaire : environ 60kWf (en Janvier à 14h)
- Besoin annuel en froid (fonctionnement de la climatisation toute l'année) : 40 464 kWh.
- Consommation électrique correspondante (hyp: COP = 2,45) : 16 516 kWh.

Le tableau et les graphes suivants reprennent les résultats de simulation:

	Mois: Janvier	Mois: Février	Mois: Mars	Mois: Avril	Mois: Mai	Mois: Juin	Mois: Juillet	Mois: Août	Mois: Septembre	Mois: Octobre	Mois: Novembre	Mois: Décembre
Heure	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]	Pf [W]
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	36 531	35 537	32 811	28 706	24 495	21 327	20 783	22 285	25 481	29 948	33 603	35 631
9	38 515	37 211	34 244	29 725	25 085	21 532	20 984	23 284	27 452	31 441	34 696	37 012
10	39 436	38 289	35 375	30 902	26 377	23 020	22 595	24 669	28 483	32 163	35 303	37 709
11	39 747	38 668	35 801	31 375	26 945	23 730	23 377	25 315	28 917	32 512	35 646	38 031
12	51 764	50 562	47 288	42 237	37 271	33 709	33 354	35 570	39 626	43 707	47 250	49 934
13	59 716	59 239	56 694	51 945	47 234	43 757	43 321	45 425	49 301	53 224	56 685	58 766
14	60 336	59 930	57 675	53 511	49 064	45 643	45 151	47 130	50 747	54 433	57 671	59 595
15	50 698	49 500	46 736	42 358	37 871	34 603	34 205	36 070	39 454	43 003	46 376	48 982
16	42 959	41 829	39 385	35 766	31 827	28 708	28 160	30 148	33 520	36 960	39 797	41 767
17	43 838	42 891	40 379	36 462	32 467	29 481	29 126	30 918	34 169	37 467	40 258	42 331
18	43 667	42 725	40 179	36 131	32 052	29 121	28 862	30 623	33 901	37 099	39 891	42 080
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[Wh]	507 205	496 379	466 565	419 116	370 686	334 632	329 920	351 435	391 050	431 955	467 174	491 838

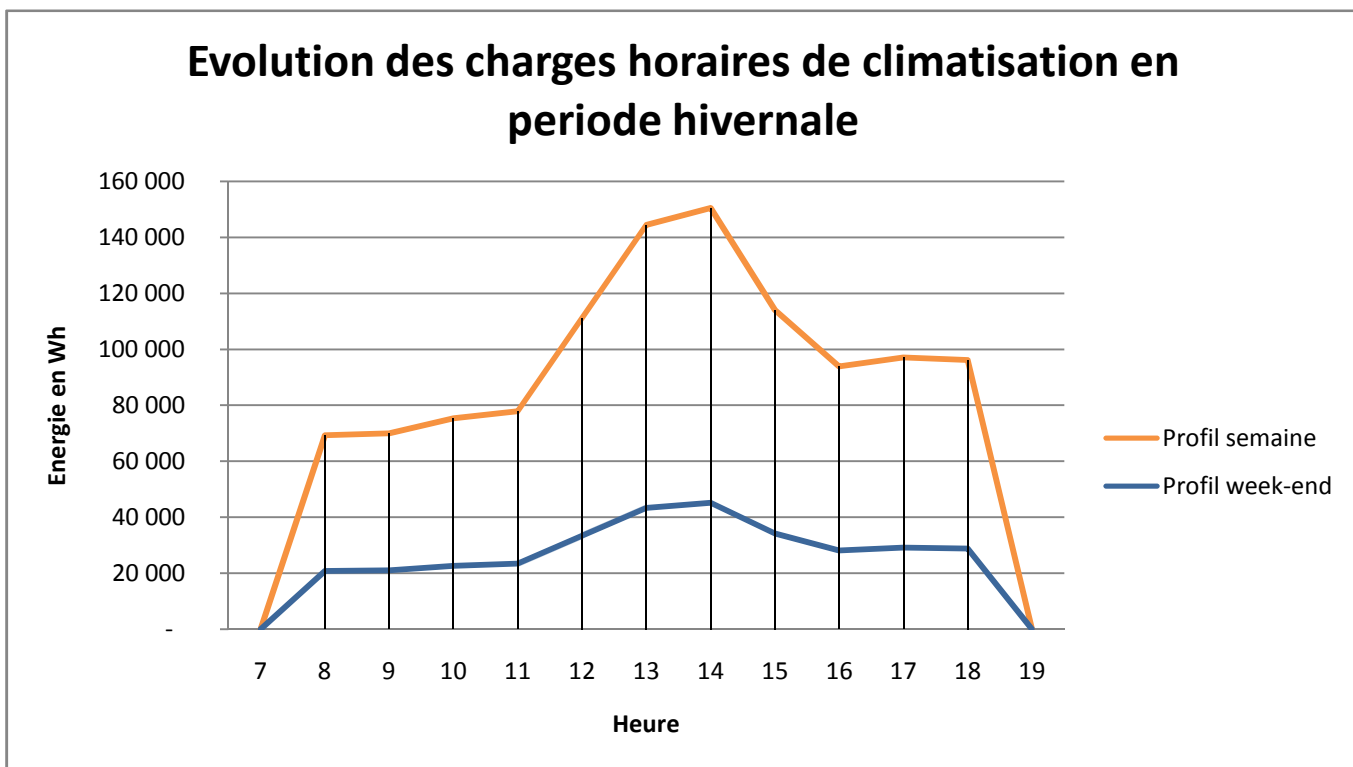
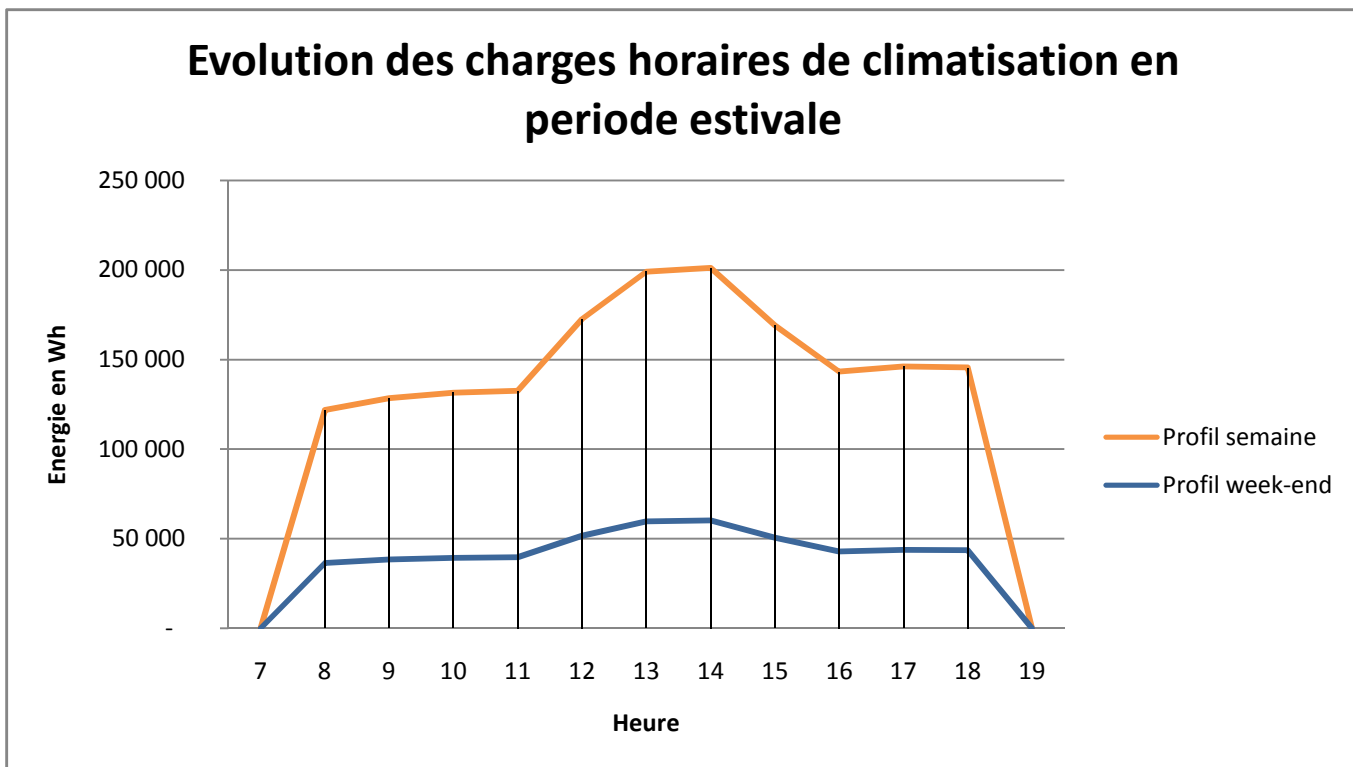


Besoins froid pour la climatisation des bureaux (Wh), pour le week-end



### 3.4 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA SAISONALITE

Les graphes suivants reprennent les résultats de simulation et mettent en avant les besoins de climatisation en fonction des saisons été et hiver.



## 4. DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION

### 4.1 METHODE DE DIMENSIONNEMENT

L'évaluation des besoins froid de la partie précédente (scénario de référence) correspond à une puissance froid de 200kWf.

La machine à absorption sélectionnée peut délivrer une puissance frigorifique maximale de 35kW, dans des conditions de fonctionnement idéales (température capteurs très haute, température de refroidissement basse, température d'eau glacée haute...). Sa puissance froide sera donc inférieure à la demande de froid, et la machine à absorption retenue fonctionnera au maximum de ses capacités, en parallèle du groupe à eau glacée qui sera donc moins sollicité.

La surface de capteurs sera ensuite évaluée en fonction des données dimensionnantes suivantes :

- Irradiation solaire maximale de 1000W/m<sup>2</sup>
- Puissance froid maximale : 35kWf
- Conditions extérieures correspondantes : 32°C / 80% HR
- COP Thermique de la machine à absorption dans ces conditions : 0,67
- Coefficients d'efficacité des capteurs retenus (capteurs plans haute efficacité)
- Conditions de fonctionnement (Température de sortie des capteurs de l'ordre de 90°C (T° moyenne dans les capteurs d'environ 87,5°C).

La refroidisseur évaporatif, sera dimensionné pour pouvoir évacuer toute la chaleur (utilisée par la machine à absorption + prélevée sur le réseau d'eau glacée) dans les conditions extérieures de 32°C / 80% HR.

### 4.2 CHOIX DE LA MACHINE A ABSORPTION

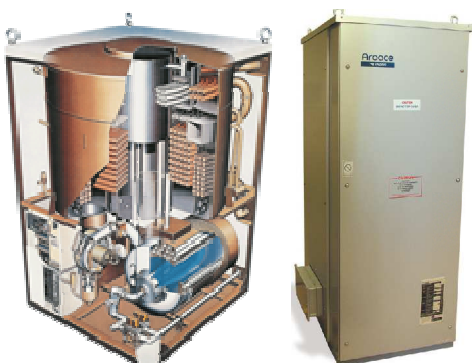
La machine retenue, comme retenu dans le paragraphe précédent, sera d'une puissance de 35 kWf. Le choix de cette puissance est dicté par le fait d'une connaissance poussée d'EDF sur des machines YAZAKI, dont le modèle le moins puissant affiche une puissance nominale de 35 kWf.

Cette puissance semble tout à fait adaptée dans l'optique globale d'utilisation de la totalité de l'énergie produite.

La machine sera de type simple effet, et fonctionnera au Bromure de Lithium.

En fonctionnement, les caractéristiques des fluides seront proches de :

- Régime de température du réseau d'eau glacée : 7-12°C,
- Température de l'eau chaude en entrée de générateur : 85°C (plage de fonctionnement des machines à absorption entre 70 et 95°C)
- Température de retour du circuit de refroidissement : 29°C au maximum





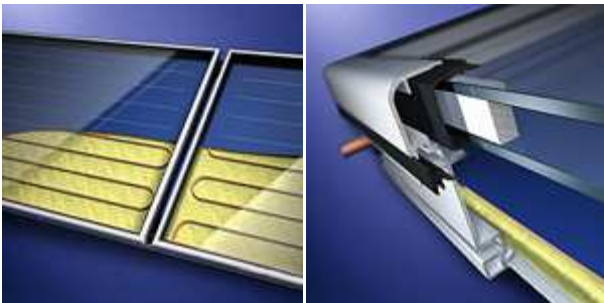
Remarques :

- Il aurait été intéressant éventuellement, pour améliorer la performance de la machine à absorption, d'augmenter le régime de température du réseau d'eau glacée : 8-13°C ou 9-14°C, mais cela nécessiterait de sélectionner des ventilos convecteurs plus puissants (plus de batteries d'échange, de niveaux de ventilation), et donc plus coûteux...
- Plus la température d'eau chaude en entrée de générateur (donc en sortie de capteurs) sera élevée, meilleur sera le rendement de la machine à absorption. Par contre, le rendement de tout capteur solaire diminue avec la température, il faut trouver un bon compromis sur le régime de température côté chaud.
- Moins la température de retour de circuit de refroidissement sera élevée, meilleur sera le rendement de la machine, d'où le choix d'un refroidisseur évaporatif
- Il faudra également impérativement prendre grand soin d'harmoniser le mode de régulation du groupe à eau glacée avec le fonctionnement du groupe à absorption en parallèle
- La fiche technique en Annexe Technique reprend les caractéristiques principales de la machine retenue

**4.3 DIMENSIONNEMENT DE LA SURFACE DE CAPTEURS SOLAIRES**

La surface de capteurs solaires sera dimensionnée en fonction des données spécifiées au paragraphe 4.1, ainsi que des coefficients d'efficacité des capteurs retenus.

Pour cette simulation, nous avons retenu des capteurs SOL U.5 DG de Schüco. Ces derniers sont de type plans vitrés (double vitrages, quadruple revêtement anti-réfléchissants), à haute efficacité, et d'une grande fiabilité. De plus, ils sont conçus pour et ont déjà été mis en œuvre sur un système de climatisation solaire :



Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Coefficients d'efficacité :
  - o Rendement optique :  $\eta_0 = 0.798$
  - o Coefficient de pertes thermiques :  $a_1 = 2.275 \text{ W/m}^2/\text{K}$   
 $a_2 = 0.022 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$
- Surface d'entrée unitaire : 2,5 m<sup>2</sup>

La fiche technique de ces capteurs est donnée en Annexe Technique du présent rapport.

Implantation des capteurs :

Etant donné l'architecture du site, les capteurs seront implantés sur les toitures, sur les pans idéalement orientés (Nord+15°Est), selon la pente de la toiture, également idéalement inclinée par rapport à l'horizontale (10°, ce qui assure des apports importants l'été tout en garantissant un auto-nettoyage efficace des capteurs). Les champs de capteurs seront le plus localisés à proximité immédiate de la machine à absorption, ce qui limitera au maximum les pertes calorifiques des réseaux. Il est à noter plusieurs contraintes à prendre en compte pour le calepinage définitif des capteurs :

- Projet d'installation de modules photovoltaïques
- Ombres portées non négligeables occasionnées par la toiture technique et les équipements qu'elle supportera (groupe d'eau glacée, CTA, machine à absorption, refroidisseur)





Surface de capteurs :

Dans les domaines de fonctionnement de l'installation (entre 85 et 90°C en entrée de machine à absorption, le COP thermique de la machine est estimé à 0,67.

La puissance thermique nécessaire pour assurer une production nominale de 32kWf est donc de :  
Puissance entrée générateur : 48.6 kW.

En considérant une perte thermique entre la sortie des capteurs et l'entrée du générateur de moins de 5%, on en déduit la puissance nécessaire en sortie des capteurs :  
Puissance sortie capteurs : 51.2 kW.

Dans ces conditions de fonctionnement (Puissance incidente G de 1000W/m<sup>2</sup>, T°ext Ta de 30°C, T°moyenne capteurs Tm de 82°C), l'efficacité théorique des capteurs est la suivante :

$$\eta = \eta_0 - a_1/G \times (T_m - T_a) - a_2/G \times (T_m - T_a)^2 = 0.49$$

La surface de capteurs permettant de produire la puissance nécessaire dans ces conditions de fonctionnement est alors de :

**S capteurs : 104 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à 42 capteurs.**

*Le plan d'implantation en annexe technique illustre une implantation possible pour les capteurs.*

#### 4.4 DIMENSIONNEMENT DU REFROIDISSEUR EVAPORATIF ADIABATIQUE

Le refroidisseur évaporatif sera dimensionné pour évacuer la totalité de la puissance thermique maximale apportée à la machine, soit :

- Puissance froid : 32 kW
- Puissance d'entrée générateur : 48,6 kW

Soit une puissance thermique du refroidisseur de 80.6 kW.

En considérant un régime de fonctionnement dans ces conditions de 31°C en sortie de refroidisseur (température humide extérieure de 32°C), on obtient un **débit** nécessaire de **20 m<sup>3</sup>/h**.

Le refroidisseur sera de type adiabatique, qui est une méthode de rafraîchissement d'air basée sur l'évaporation de l'eau, le refroidisseur pourra travailler soit en mode sec, soit en mode adiabatique selon les demandes.

Afin d'améliorer sensiblement ses performances à charge partielle, le ventilateur (principale source de consommation électrique) sera motorisé par un moteur à haute efficacité commandé par variation de vitesse.

Le refroidisseur et sera situé sur la terrasse technique (voir plan d'implantation en Annexe Technique).

Description (ex : refroidisseur JACIR TOPAZ) :

Longueur	3.6 mètres
Largeur	2.5 mètres
Hauteur	2.8 mètres
Poids	3.3 tonnes



#### 4.5 DIMENSIONNEMENT DU REFROIDISSEUR EVAPORATIF TOUR FERMEE (VARIANTE)

En variante, la tour fermée sera également dimensionnée pour évacuer la totalité de la puissance thermique maximale apportée à la machine, soit également une puissance thermique du refroidisseur de 80.6 kW.

En considérant un régime de fonctionnement identique dans ces conditions de 31°C en sortie de refroidisseur (température humide extérieure de 32°C), le **débit** nécessaire est également de **20 m3/h**.

Afin d'améliorer sensiblement ses performances à charge partielle, le ventilateur (principale source de consommation électrique) sera également motorisé par un moteur à haute efficacité commandé par variation de vitesse.

Le refroidisseur et sera situé sur la terrasse technique (voir plan d'implantation variante en Annexe Technique).

Description :

Longueur	2 mètres
Largeur	1,2mètres
Hauteur	2.5 mètres

#### 4.6 EMBLACEMENT DU LOCAL TECHNIQUE

Certains fournisseurs proposent de prééquiper en usine un container avec les principaux équipements (machi à absorption, tampons froid et chaud, accessoires hydrauliques et électriques, automates...) prévu pour la livraison sera utilisé en local technique, il aura été préalablement aménagé pour être conforme à la réglementation (Ventilation haute/basse, éclairage), et sera situé sur la terrasse technique.

Description :

Longueur	6 mètres
Largeur	2.4 mètres
Hauteur	2.6 mètres
Poids	7 tonnes



## 5. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION

---

### 5.1 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION A ABSORPTION

#### 5.1.1 Champs de capteurs

Champ de 42 capteurs positionnés à plat sur la structure métallique porteuse (orientation Nord + 15°Est, inclinaison 10°/horizontale).

Cette structure devra pouvoir supporter les contraintes liées aux capteurs (poids de l'ordre de 76 kg par capteur), une note de calcul de résistance devra impérativement être réalisée en préalable à toute mise en place de capteurs.

Les capteurs seront posés par batteries avec tous les accessoires nécessaires (notamment vannes d'arrêt et d'équilibrage, purgeurs d'air automatiques, flexibles et raccords). Pour les capteurs Sol U.5 DG de marque Schüco, on peut prévoir :

- 7 batteries de 6 capteurs

Ils seront accessibles depuis la terrasse technique pour les opérations de maintenance.

#### 5.1.2 Machine à absorption

La machine à absorption pourra être positionnée à proximité des capteurs dans son local technique, à l'extérieur sur la terrasse technique, sur un socle de supportage en béton

Ses dimensions seront de l'ordre de 0.76m (L) x 0.97m (p) x 1.98m(h).

#### 5.1.3 Réseaux

Le réseau primaire (boucle capteur/générateur) sera réalisé en cuivre écroui, calorifugé par un isolant performant, assez épais (40mm environ), adapté aux hautes températures, de type ISOPIRFLAM+ARMACAL, ou équivalent, en mousse rigide, avec protection mécanique et anti-U.V.

Tous les accessoires nécessaires au bon fonctionnement de l'installation seront mis en place, et notamment les filtres, limiteurs de pression, soupapes de sécurité, vases d'expansion, purgeurs, vannes d'arrêt et d'équilibrage.

### 5.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION RETENUE

La machine à absorption retenue fonctionnera en pré-refroidissement avant le compresseur du groupe d'eau glacée.

Le diagramme de principe de l'installation en Annexe Technique illustre le principe prévu:

- Un circuit solaire composé de batteries de capteurs. Chaque batterie sera équipée d'une vanne d'isolement, d'une vanne d'équilibrage type STAD TA Control, ainsi que d'un purgeur d'air automatique.
- Le circuit en provenance des capteurs, est relié par l'intermédiaire d'une vanne 3 voies à un ballon tampon directement en amont du groupe à adsorption.

La vanne sera régulée par un régulateur différentiel réglé en fonction des températures de l'eau provenant des capteurs et de celle mesurée en bas du ballon tampon, afin d'optimiser le fonctionnement du circuit solaire (circulation dès lors que la différence de température permet d'accumuler de l'énergie calorifique dans le ballon, ou de faire fonctionner la machine en direct).



La machine à absorption, puise dans deux ballons tampon (côté chaud et côté froid) par l'intermédiaire de circulateurs assurant un débit adapté, la machine est connectée au circuit d'eau glacée avec un régime de température de 7-12°C, au circuit d'eau chaude avec un régime de température de 83-88°C, et est refroidie par le circuit de refroidissement adiabatique avec un régime d'eau de 31-35°C

### 5.3 SYSTEME DE TELECONTROLE

De la même façon que les installations solaires de production d'E.C.S. Le système absorption sera muni d'un système de télésuivi, afin de permettre un suivi efficace, il sera indispensable de prévoir une instrumentation conséquente sur l'installation, afin de suivre précisément tous les paramètres de fonctionnement.

Par ailleurs, compte tenu de la spécificité de ces systèmes, l'installation devra également impérativement faire l'objet d'un contrat d'entretien et de suivi par l'entreprise ayant réalisé les travaux.

Un dispositif d'alarmes devra signaler efficacement toute défaillance du système.

Les différents paramètres importants à suivre sont les suivants :

- Retour Marche circulateur solaire
- Retour Marche circulateur générateur
- Retour Marche circulateur évaporateur
- Retour Marche circulateur système de refroidissement
- Retour état de la vanne trois voies du circuit solaire
- Température du départ des capteurs
- Energie solaire récupérée (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur le départ vers les capteurs associé à deux sondes, l'une sur le départ et l'autre sur le retour des capteurs) :
 
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{dép}-T_{ret.})$$
- Energie utilisée au générateur (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur le retour du générateur associé à deux sondes, l'une sur l'entrée et l'autre sur la sortie du générateur) :
 
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{ent.}-T_{sort.})$$
- Energie fournie par l'évaporateur (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur l'arrivée à l'évaporateur associé à deux sondes, l'une sur l'entrée et l'autre sur la sortie de l'évaporateur) :
 
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{ent.}-T_{sort.})$$
- Energie électrique consommée par les équipements de l'installation solaire hors appoint et hors distribution (mesurée par un compteur électrique)
- Energie électrique consommée par l'appoint



## 6. BILANS ENERGETIQUES DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION

### 6.1 BASE DE CALCUL

Etant donné le principe de fonctionnement retenu pour l'installation et le dimensionnement des équipements, on considérera que la totalité de l'énergie solaire produite sera consommée.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- Données météorologiques :

La station météorologique de référence est la station Météo France située à Pamandzi, qui mesure régulièrement le rayonnement solaire avec du matériel de précision. Un fichier horaire a également été réalisé par des universitaires dans le cadre de simulations thermiques dynamiques, mais les moyennes de rayonnement solaire mensuelles sont très différentes des données relevées par Météo France. Nous avons donc décidé pour la présente étude de nous baser sur les données relevées par la station de Pamandzi, et de raisonner en terme de bilan énergétique global sur des journées moyennes pour chaque mois.

Les données sont répertoriées dans le tableau suivant :

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T° ext (°C)	27.4	27.5	27.6	27.5	26.8	25.5	24.5	24.1	24.6	25.8	26.9	27.4
Irradiation (kWh/j/m <sup>2</sup> )	5.029	4.784	5.120	5,573	5.344	5.134	5.241	5.850	6.161	6.264	5.892	5.653

- Données des capteurs :

Comme nous l'avons dit, nous allons étudier la production solaire dans le cas de capteurs Schüco SOL U.5 DG, de caractéristiques suivantes :

Capteurs	$\eta$ retenu *	S entrée unit (m <sup>2</sup> )	Nbre capteurs	S totale (m <sup>2</sup> )
Schüco SOL U.5 DG	0,49	2,47	42	104

\* : dans les conditions de fonctionnement prévues

### 6.2 DEPERDITION CLIMATISATION SOLAIRE

Les déperditions ont été quantifiées selon le fonctionnement du groupe de climatisation, ainsi que les différentes températures d'application des réseaux :

Pertes thermiques sur le réseau d'eau chaude :

Ces pertes sont les pertes thermiques en journée et en nuit sur les canalisations calorifugées et le ballon tampon chaud sur l'ensemble de la journée. Pour l'évaluation, on peut distinguer les pertes de jour et de nuit, qui correspondent à des fonctionnements différents.

Energie en Wh	Dénomination
2 061	Ballon stockage durant arrêt
2 615	Ballon stockage durant fonctionnement
8 318	Pertes thermiques linéaire durant arrêt
8 806	Pertes thermiques linéaire durant fonctionnement
<b>21 800</b>	<b>Pertes thermiques totale durant 24H</b>



Pertes thermiques sur le réseau d'eau froide :

De même, côté froid, l'installation de climatisation solaire engendrera des pertes thermiques au travers des canalisations de raccordement vers le réseau d'eau glacée existant, ainsi qu'au travers du ballon tampon froid, et quelques calories directement apportées par les circulateurs sur la partie eau glacée.

Energie en Wh	Dénomination
1 152	Perte ballon stockage durant 24h
346	Pertes thermiques linéaires
2 565	Echauffement circulateurs
<b>4 063</b>	<b>Pertes thermiques totale durant 24H</b>

**6.3 PRODUCTION CALORIFIQUE SOLAIRE**

L'énergie thermique disponible au niveau du générateur a été évaluée en fonction des données météorologiques, des caractéristiques des capteurs (efficacité, surface unitaire, nombre) et de leur implantation (orientation, inclinaison), ainsi que des pertes journalières précédemment estimées.

Le calcul donne les résultats énergétiques suivants, au niveau de l'énergie fournie au générateur par les capteurs :

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Energie mensuelle (kWh)	7945	6826	8088	8520	8442	7849	8280	9242	9419	9896	9308	8930
Energie journalière (kWh)	256	244	261	284	272	262	267	298	314	319	300	288
Energie journalière avec déperdition (kWh)	234	222	239	262	251	240	245	276	292	297	278	266

**6.4 PRODUCTION FRIGORIFIQUE SOLAIRE**

Etant donné le COP Thermique de la machine à adsorption, que l'on peut prendre égal à 0,64 en été et 0.7 en hiver pour notre installation (température de refroidissement un peu plus basse), la production de froid que l'on peut obtenir peut donc s'estimer comme suit :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
COP générateur Absorption	0,64	0,64	0,64	0,64	0,7	0,7	0,7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Production froid kWh/jour nette	150	142	153	168	175	168	172	177	187	190	178	170
Production froid kWh/jour avec pertes thermiques	146	138	149	164	171	164	168	173	183	186	174	166

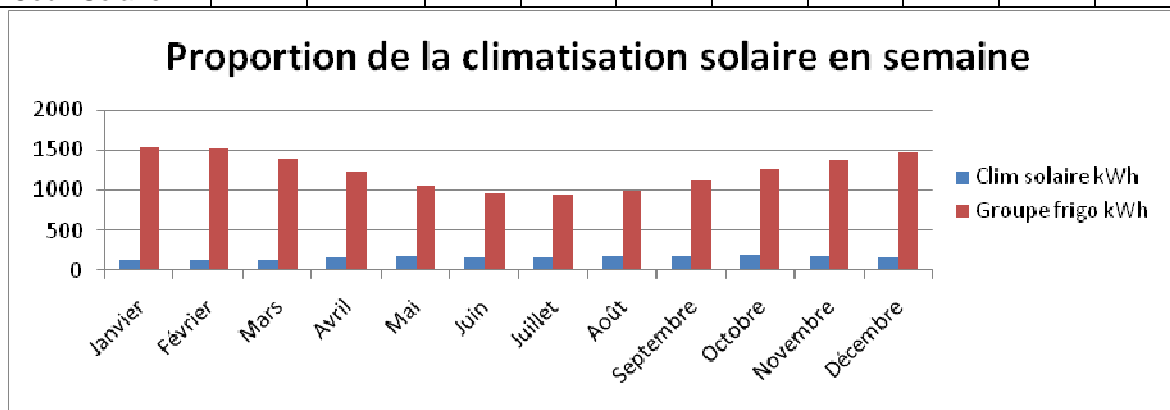


### 6.5 COUVERTURE FRIGORIFIQUE SOLAIRE EN SEMAINE

En comparant les productions frigorifiques solaires mensuelles avec les besoins froid mensuels, on obtient les taux de couverture solaire mensuels en froid apportés par la climatisation solaire durant les périodes de semaine.

Le tableau et le graphique suivants reprennent les résultats journaliers moyens de ces apports :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Besoin froid kWh/j	1 690	1 654	1 555	1 397	1 235	1 115	1 099	1 171	1 303	1 439	1 557	1 639
Couv Solaire	9%	8%	10%	12%	14%	15%	15%	15%	14%	13%	11%	10%



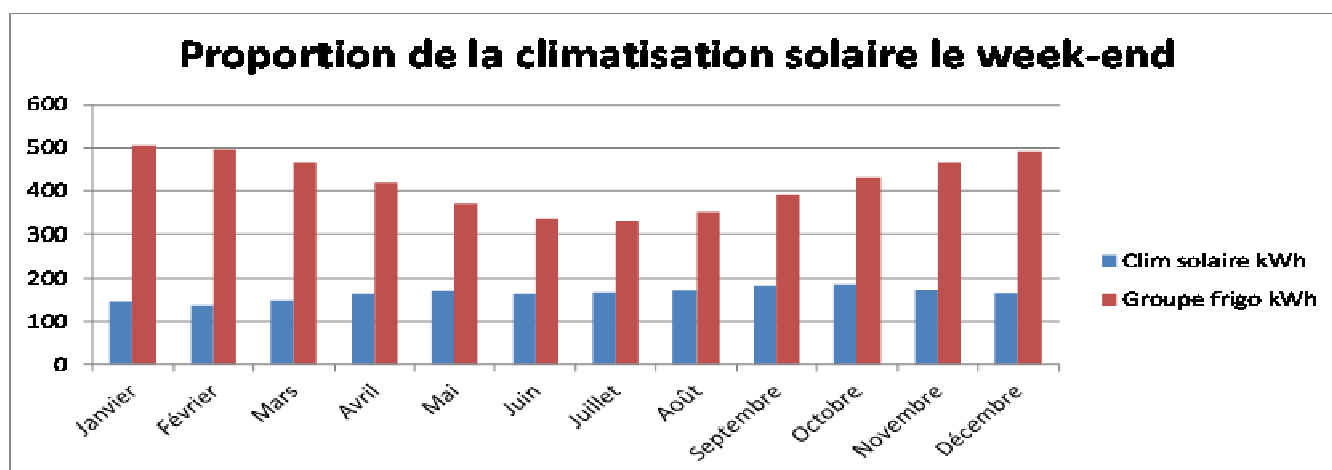
Le taux de couverture théorique moyen sur l'année de la climatisation solaire en semaine est de 12%.

### 6.6 COUVERTURE FRIGORIFIQUE SOLAIRE LE WEEK-END

En comparant les productions frigorifiques solaires mensuelles avec les besoins froid mensuels, on obtient les taux de couverture solaire mensuels en froid apportés par la climatisation solaire durant les périodes de week-end.

Le tableau et le graphique suivants reprennent les résultats journaliers moyens de ces apports :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
besoin froid kWh/j	507	496	466	419	371	335	330	351	391	432	467	492
Couv Solaire	29%	28%	32%	39%	46%	49%	51%	49%	47%	43%	37%	34%



Le taux de couverture théorique moyen sur l'année de la climatisation solaire en weekend est de 40%.



## 6.7 CONSOMMATION ELECTRIQUE CLIMATISATION SOLAIRE

Les diverses consommations électriques des installations de climatisation solaire ont été estimées comme suit :

### Consommation d'énergie journalière des pompes :

Dénomination	Puissance elec nominale en W	Consommation / Jour en kWh
Circuit solaire	650	3.25
Stockage chaud	1260	7.56
Refroidissement	2700	16.2
Stockage froid	825	4.95
Energie journalière totale		32 kWh

Les pompes ont été sélectionnées au plus juste selon les différents débits et pertes de charges à intégrer sur les circuits hydrauliques, et avec des temps de fonctionnement estimés à 6h par jour en moyenne.

### Consommation d'énergie journalière du générateur à absorption :

Marque	Modèle	Puissance électrique W	Conso / Jour en kWh
YAZAKY	WFC SC 10	210	1.7

Le générateur à absorption fonctionnera en moyenne 8h par jour, la puissance prise en compte pour l'étude est celle de la documentation du constructeur donnée en Annexe Technique.

### Consommation d'énergie journalière du refroidisseur adiabatique :

Marque	Modèle	Puissance électrique W	Conso / Jour en kWh
JACIR	TOPAZ T2B10	9 700	34.9

Les consommations énergétiques ont été calculés, selon les préconisations du fabricant, après demande de sélection selon les conditions climatiques de Mayotte. Les conditions climatiques retenues sont de 32°C et 80% HR, pour un régime d'eau de 35°/31°.

Les ventilateurs du refroidisseur adiabatiques sont équipés d'un variateur électronique de vitesse afin de limiter la consommation énergétique.

### Consommation d'énergie journalière de la tour de refroidissement fermée en variante :

Marque	Modèle	Puissance électrique W	Conso / Jour en kWh
EWK	C 441 - 5	7 700	27.7

Les ventilateurs de la tour de refroidissement seront également équipés d'un variateur électronique de vitesse, qui a été pris en compte dans le calcul de la consommation.

### Consommation d'énergie annuelle selon le type de refroidisseur :

Désignation	Consommation annuelle en kWh
Clim solaire avec refroidissement adiabatique	25 024
Clim solaire avec tour de refroidissement fermée	22 396

L'évacuation des calories par l'intermédiaire de la tour de refroidissement fermée, permettrait d'économiser 2 628 kWh soit 230 €/an, cependant l'entretien se révèle nettement plus cher et plus régulier que sur le refroidisseur adiabatique (traitements d'eau et contrôles), de surcroit ce type de refroidisseur nécessite une déclaration à l'inspection des installations classées au sens de la rubrique 2921.





## 6.8 BILAN ENERGETIQUE GLOBAL / COEFFICIENT DE PERFORMANCE ABSORPTION

Afin de présenter un ratio représentatif de l'efficacité de la machine, comparable à celui du groupe d'eau glacée prévu en base, nous avons calculé un coefficient de performance global de l'installation de climatisation solaire, avec également prise en compte du type de refroidisseur.

Le coefficient de performance équivalent correspond au rapport entre l'énergie produite par la climatisation solaire et l'énergie électrique consommée par l'installation (circulateurs, aerorefrigerant...).

### Evolution annuelle du coefficient de performance avec refroidisseur adiabatique :

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Production de froid par jour en kWh	146	138	149	164	171	164	168	173	183	186	174	166
COP équivalent Production de froid	2.12	2	2.16	2.37	2.48	2.37	2.43	2.5	2.65	2.7	2.52	2.41

Le **coefficient de performance** équivalent moyen pour la climatisation solaire équipée d'un refroidisseur adiabatique est de **2,4**.

Si l'on rapporte ce coefficient au COP du groupe d'eau glacée à compression, on est à peu près équivalent, ce qui signifie qu'à productions frigorifiques équivalentes, l'installation de climatisation solaire consommera autant d'électricité que le groupe à compression. Il n'y a donc pas d'intérêt énergétique à faire fonctionner une machine à absorption à Mayotte.

### Evolution annuelle du coefficient de performance avec tour de refroidissement fermée :

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Production de froid par jour en kWh	146	138	149	164	171	164	168	173	183	186	174	166
COP équivalent Production de froid	2.38	2.25	2.43	2.67	2.79	2.67	2.73	2.82	2.98	3.04	2.84	2.71

Le **coefficient de performance** équivalent moyen pour la climatisation solaire équipée d'une tour de refroidissement fermée est de **2.7**.

Le coefficient de performance équivalent est légèrement supérieur comparé la climatisation solaire équipée du refroidisseur adiabatique, cela correspond à la différence d'énergie relevé dans le chapitre « consommation électrique climatisation solaire ». Cette différence est à corrélérer avec le cout de maintenance supplémentaire pour la tour de refroidissement fermée.



## 7. BILAN ECONOMIQUE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ABSORPTION

### 7.1 DETAIL ESTIMATIF DES COUTS DE L'INSTALLATION RETENUE

Le tableau suivant récapitule les coûts estimatifs poste par poste des deux installations étudiées :

Dénomination du poste	Installation solaire avec refroidisseur adiabatique	Installation solaire avec tour de refroidissement fermée
Production solaire	71 989 €	71 989 €
Générateur à absorption	77 730 €	77 730 €
Refroidissement	97 320 €	88624 €
Distribution primaire	19 893 €	19 893 €
Electricité Regul Supervision	30 000 €	30 000 €
Conteneur technique	8 000 €	8 000 €
Divers (études,essais, mise en service...)	32 000 €	32 000 €
<b>TOTAL</b>	<b>336 932 €</b>	<b>328 236 €</b>

### 7.2 EVALUATION DES COUTS D'EXPLOITATION ANNUELS DE L'INSTALLATION

Le coût d'exploitation de l'installation de climatisation solaire sera dû aux consommations électriques des circulateurs, du refroidisseur, la consommation d'eau du refroidisseur ainsi que les frais de maintenance et de provisionnement pour le renouvellement du matériel.

Les coûts d'électricité sont évalués à partir du tarif EDM Vert Moyenne Utilisations.

#### Coût énergétique de l'installation solaire avec tour de refroidissement adiabatique

Comme précisé dans le chapitre « consommation électriques climatisation solaire » le poste à une **consommation électrique** d'environ 25 024 kWh/an, soit environ 2 455 €/an en prenant en compte le coût de contribution au service public de l'électricité (CSPE).

#### Coût énergétique de l'installation solaire avec tour de refroidissement fermée

Comme précisé dans le chapitre « consommation électriques climatisation solaire » le poste à une **consommation électrique** d'environ 22 396 kWh/an, soit environ 2 102 €/an en prenant en compte le coût de contribution au service public de l'électricité (CSPE).

#### Coûts d'exploitation de l'installation :

Concernant la maintenance pure des installations, on peut tabler sur un coût annuel d'environ 5000 euros par an.

A cela, il faut ajouter la consommation d'eau des refroidisseurs, que l'on peut estimer dans un premier temps à environ 2,4 m3/j (6heures par jour entre 0,25 et 0,5 m3/h), ce qui représente une consommation annuelle d'environ 876 m3/an, soit environ 2500€/an. Une solution éventuellement plus respectueuse de l'environnement serait de voir si l'on pourrait récupérer de l'eau de pluie pour assurer une partie de ces besoins, sachant que le coût d'un dispositif de récupération des eaux de pluie sera de toute façon onéreux...

Enfin, dans le cas du refroidisseur par tour fermée, on peut tabler sur un coût annuel de produits de traitement d'eau, contrôles et entretien d'environ 3000 euros par an.



### 7.3 BILAN ECONOMIQUE BRUT DE L'OPERATION

Le tableau suivant résume le bilan économique de l'opération, sans prendre en compte les différentes aides financières envisageables et sans prendre en compte la production d'eau chaude sanitaire :

	<b>Installation solaire refroidisseur adiabatique</b>	<b>Installation solaire tour refroidissement fermée</b>	<b>Solution de référence « 100% compression »</b>
Surcoût d'investissement (€ H.T)	<b>336 932 €</b>	<b>328 236 €</b>	-
Consommation annuelle (kWhe)	25 024	22 396	24 880
Surcoût d'exploitation (€/an)	9 955	12 602	-
Temps de retour brut (ans)	<b>Pas d'intérêt économique</b>	<b>Pas d'intérêt économique</b>	-

Quelle que soit la solution de refroidissement envisagée, la mise en place d'une installation de climatisation solaire sur le siège d'EDM n'a pas d'intérêt économique, car :

- L'investissement est très conséquent
- Les coûts d'exploitation sont nettement plus élevés que sans climatisation solaire, puisqu'il n'y a que peu, voire pas du tout d'économies d'énergie, et par contre à la vue de la complexité technique ainsi que des traitements d'eau le cas échéant, les coûts d'entretien sont très élevés

### 7.4 AIDES ENVISAGEABLES

A la vue de l'intérêt économique non avéré, qui plus est sans réel intérêt énergétique, il est très peu probable qu'une telle installation soit éligible à une quelconque aide à l'investissement.



## 8. DIMENSIONNEMENT DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION

Le présent paragraphe a pour objet de présenter une variante faisant appel à une technologie par AD-sorption, telle qu'actuellement expérimentée par une entreprise de génie climatique et solaire à la Réunion. La machine, au lieu de fonctionner avec une solution liquide (Absorbant), va utiliser un matériau solide appelé Silicagel (Adsorbant).



Groupe adsorption ACS 15

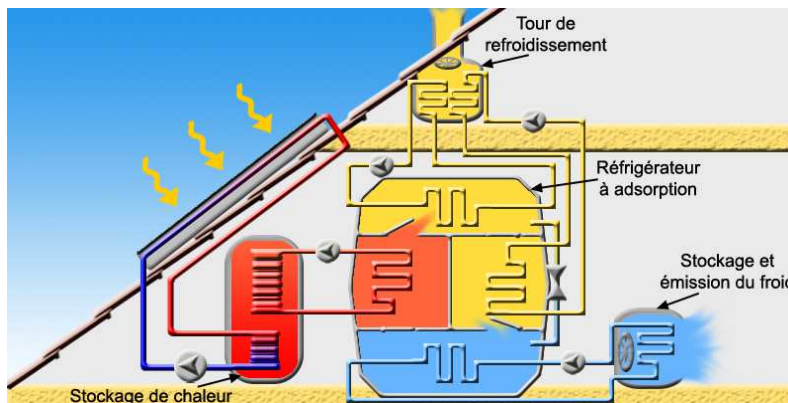


Schéma de principe de fonctionnement simplifié

### 8.1 METHODE DE DIMENSIONNEMENT

L'évaluation des besoins froid (scénario de référence) correspond à une puissance froid de 200kWf, comme pour le dimensionnement précédent.

La machine à adsorption sélectionnée peut délivrer une puissance frigorifique maximale de 23kWf, dans des conditions de fonctionnement idéales (température boucle ballon tampon 72/65°C, température de refroidissement 32/27°C, température de boucle d'eau glacée 10/15°C...). Sa puissance froide sera donc en permanence inférieure à la demande de froid, et la machine à adsorption retenue fonctionnera au maximum de ses capacités, en parallèle du groupe à eau glacée qui sera donc moins sollicité.

La surface de capteurs sera ensuite évaluée en fonction des données suivantes :

- Irradiation solaire maximale de 1000W/m<sup>2</sup>
- Conditions extérieures correspondantes : 29°C / 80% HR
- COP Thermique de la machine à adsorption dans des conditions idéales : 0,65
- Coefficients d'efficacité des capteurs retenus (capteurs plans haute efficacité)
- Conditions de fonctionnement (Température de sortie des capteurs de l'ordre de 85°C (T° moyenne dans les capteurs d'environ 75°C).

Le refroidisseur évaporatif, sera dimensionné pour pouvoir évacuer toute la chaleur (utilisée par la machine à adsorption + prélevée sur le réseau d'eau glacée) dans les conditions les plus défavorables pour le générateur.

### 8.2 CHOIX DE LA MACHINE A ADSORPTION

Le constructeur du groupe à adsorption retenu pour l'étude est SorTech en raison de l'exploitation de machines de cette marque sur l'île de la Réunion avec des retours d'exploitation encourageants (historiquement, cette technologie a été plus étudiée en Allemagne, la France étant plus focalisée sur l'absorption). Comme précisé dans le paragraphe précédent, le groupe sera d'une puissance maximale de 23 kWf la référence constructeur est ACS 15.

Cette puissance semble adaptée dans l'optique d'utiliser la totalité de l'énergie produite.

En fonctionnement, les caractéristiques des fluides seront proches de :

- Régime de température du réseau d'eau glacée : 7-12°C (Température du réseau)
- Température de l'eau chaude en entrée de générateur : 70°C en moyenne
- Température de retour du circuit de refroidissement : 31°C au maximum



Remarques :

- Il aurait été intéressant pour améliorer la performance de la machine à absorption, d'augmenter le régime de température du réseau d'eau glacée : 10-15°C, mais cela nécessiterait de sélectionner des ventilos convecteurs plus puissants (plus de batteries d'échange, de niveaux de ventilation), le coefficient de performance thermique est donc réduit de 15% pour avoir le même régime de température que sur le réseau d'eau glacée (7-12°C).
- Plus la température d'eau chaude en entrée de générateur sera proche des 65-70°C et meilleur sera le rendement thermique de la machine à adsorption (adsorption « basse température »).
- Moins la température de retour de circuit de refroidissement sera élevée, meilleur sera le rendement de la machine, d'où le choix d'un refroidisseur évaporatif comme le met en avant le tableau ci-dessous :

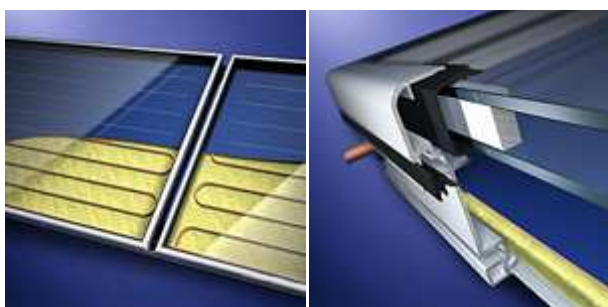
Temp Sortie Refroidisseur	Puissance générateur	COP thermique (Régime d'eau 10-15°C)
26°C	23 kW	0.65
31°C	17 kW	0.55
36°C	2 kW	0.28

- Il faudra également impérativement prendre grand soin d'harmoniser le mode de régulation du groupe à eau glacée avec le fonctionnement du groupe à adsorption en parallèle
- La fiche technique en Annexe Technique reprend les caractéristiques principales de la machine retenue

### 8.3 DIMENSIONNEMENT DE LA SURFACE DE CAPTEURS SOLAIRES

La surface de capteurs solaires sera dimensionnée en fonction des données spécifiées au paragraphe 8.1 avec un coefficient de performance thermique de 0.65 afin que les capteurs puissent capter l'énergie nécessaire pour le générateur même dans le cas où le régime de température de la boucle d'eau glacée serait augmentée à 10-15°C, nous utiliserons également les coefficients d'efficacité des capteurs retenus.

Pour cette simulation, tout comme la simulation avec la technologie à absorption nous avons retenu des capteurs SOL U.5 DG de Schüco. Ces derniers sont de type plans vitrés (double vitrages, quadruple revêtement anti-réfléchissants), à haute efficacité, et d'une grande fiabilité. De plus, ils sont conçus pour et ont déjà été mis en œuvre sur un système de climatisation solaire :



Leurs caractéristiques sont les suivants :

- Coefficients d'efficacité :
  - o Rendement optique :  $\eta_0 = 0.798$
  - o Coefficient de pertes thermiques :  $a1 = 2.275 \text{ W/m}^2/\text{K}$   
 $a2 = 0.022 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$
- Surface d'entrée unitaire : 2,5 m<sup>2</sup>

La fiche technique de ces capteurs est donnée en Annexe Technique du présent rapport.

### Implantation des capteurs :

Etant donné l'architecture du site, les capteurs seront implantés sur les toitures, sur les pans idéalement orientés (Nord+15°Est), selon la pente de la toiture, également idéalement inclinée par rapport à l'horizontale (10°, ce qui assure des apports importants l'été tout en garantissant un auto-nettoyage efficace des capteurs). Les champs de capteurs seront qui plus est localisés à proximité immédiate de la machine à absorption, ce qui limitera au maximum les pertes calorifiques des réseaux. Il est à noter plusieurs contraintes à prendre en compte pour le calepinage définitif des capteurs :

- Projet d'installation de modules photovoltaïques
- Ombres portées non négligeables occasionnées par la toiture technique et les équipements qu'elle supportera (groupe d'eau glacée, CTA, machine à adsorption, refroidisseur)

### Surface de capteurs :

Le COP thermique de la machine pris en compte pour le dimensionnement des capteurs est de 0.65. Cela correspond à un fonctionnement optimal de l'installation avec une température extérieure avoisinant les 27°C ce qui est souvent le cas sur l'île.

La puissance thermique nécessaire pour assurer une production nominale de 23kWf est donc de :  
Puissance entrée générateur : 35.4 kW.

En considérant une perte thermique entre la sortie des capteurs et l'entrée du générateur de moins de 5%, on en déduit la puissance nécessaire en sortie des capteurs :  
Puissance sortie capteurs : 37.2 kW.

Dans ces conditions de fonctionnement (Puissance incidente G de 1000W/m<sup>2</sup>, T°ext Ta de 30°C, T°moyenne capteurs Tm de 75°C), l'efficacité théorique des capteurs est la suivante :

$$\eta = \eta_0 - a1/G \times (Tm-Ta) - a2/G \times (Tm-Ta)^2 = 0.65$$

La surface de capteurs permettant de produire la puissance nécessaire dans ces conditions de fonctionnement est alors de :

**S capteurs : 57 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à 23 capteurs.**

## **8.4 DIMENSIONNEMENT DU REFROIDISSEUR EVAPORATIF ADIABATIQUE**

Le refroidisseur évaporatif sera dimensionné pour évacuer la totalité de la puissance thermique maximale apportée à la machine, soit :

- Puissance froid : 23 kW
- Puissance d'entrée générateur : 35.4 kW

Soit une puissance thermique du refroidisseur de 58.4 kW.

En considérant un régime de fonctionnement dans ces conditions de 31°C en sortie de refroidisseur (température humide extérieure de 32°C), on obtient un **débit** nécessaire de **14 m<sup>3</sup>/h**.

Le refroidisseur sera de type adiabatique, qui est une méthode de rafraîchissement d'air basée sur l'évaporation de l'eau, le refroidisseur pourra travailler soit en mode sec, soit en mode adiabatique selon les demandes.

Afin d'améliorer sensiblement ses performances à charge partielle, le ventilateur (principale source de consommation électrique) sera motorisé par un moteur à haute efficacité commandé par variation de vitesse.

Le refroidisseur et sera situé sur la terrasse technique (voir plan d'implantation en Annexe Technique).



Description (ex : refroidisseur JACIR TOPAZ) :

Longueur	3.6 mètres
Largeur	2.5 mètres
Hauteur	2 mètres
Poids	2.5 tonnes

## 8.5 EMPLACEMENT DU LOCAL TECHNIQUE

Certains fournisseurs proposent de prééquiper en usine un container avec les principaux équipements (machine à adsorption, tampons froid et chaud, accessoires hydrauliques et électriques, automates...) prévu pour la livraison sera utilisé en local technique, il aura été préalablement aménagé pour être conforme à la réglementation (Ventilation haute/basse, éclairage), et sera situé sur la terrasse technique.

Description :

Longueur	6 mètres
Largeur	2.4 mètres
Hauteur	2.6 mètres
Poids	7 tonnes





## 9. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION

---

### 9.1 DESCRIPTION DE L'INSTALLATIONS RETENUE

#### 9.1.1 Champs de capteurs

Champ de 23 capteurs positionnés à plat sur la structure métallique porteuse (orientation Nord + 15°Est, inclinaison 10°/horizontale).

Cette structure devra pouvoir supporter les contraintes liées aux capteurs (poids de l'ordre de 76 kg par capteur), une note de calcul de résistance devra impérativement être réalisée en préalable à toute mise en place de capteurs.

Les capteurs seront posés par batteries avec tous les accessoires nécessaires (notamment vannes d'arrêt et d'équilibrage, purgeurs d'air automatiques, flexibles et raccords). Pour les capteurs Sol U.5 DG de marque Schüco, on peut prévoir :

- 3 batteries de 5 capteurs
- 2 batteries de 4 capteurs

Ils seront accessibles depuis la terrasse technique pour les opérations de maintenance.

#### 9.1.2 Machine à adsorption

La machine à adsorption pourra être positionnée à proximité des capteurs dans son local technique, à l'extérieur sur la terrasse technique, sur un socle de supportage en béton.

Ses dimensions seront de l'ordre de 0.79m (L) x 1.34m (p) x 1.39m (h).

#### 9.1.3 Réseaux

Le réseau primaire (boucle capteur/générateur) sera réalisé en cuivre écroui, calorifugé par un isolant performant, assez épais (40mm environ), adapté aux hautes températures, de type ISOPIRFLAM+ARMACAL, ou équivalent, en mousse rigide, avec protection mécanique et anti-U.V.

Tous les accessoires nécessaires au bon fonctionnement de l'installation seront mis en place, et notamment les filtres, limiteurs de pression, soupapes de sécurité, vases d'expansion, purgeurs, vannes d'arrêt et d'équilibrage.

### 9.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION RETENUE

La machine à adsorption retenue fonctionnera en pré-refroidissement avant le compresseur du groupe d'eau glacée.

Le diagramme de principe de l'installation en Annexe Technique illustre le principe prévu :

- Un circuit solaire composé de batteries de capteurs. Chaque batterie sera équipée d'une vanne d'isolement, d'une vanne d'équilibrage type STAD TA Control, ainsi que d'un purgeur d'air automatique.
- Le circuit en provenance des capteurs, est relié par l'intermédiaire d'une vanne 3 voies à un ballon tampon directement en amont du groupe à adsorption.

La vanne sera régulée par un régulateur différentiel réglé en fonction des températures de l'eau provenant des capteurs et de celle mesurée en bas du ballon tampon, afin d'optimiser le fonctionnement du circuit solaire (circulation dès lors que la différence de température permet d'accumuler de l'énergie calorifique dans le ballon, ou de faire fonctionner la machine en direct).





La machine à adsorption, puise dans deux ballons tampon (côté chaud et côté froid) par l'intermédiaire de circulateurs assurant un débit adapté, la machine est connectée au circuit d'eau glacée avec un régime de température de 7-12°C, au circuit d'eau chaude avec un régime de température avoisinant les 70°C, et est refroidie par le circuit de refroidissement adiabatique avec un régime d'eau fluctuant entre 26 et 31°C suivant les conditions climatiques.

### 9.3 SYSTEME DE TELECONTROLE

De la même façon que les installations solaires de production d'E.C.S. Le système absorption sera muni d'un système de télésuivi, afin de permettre un suivi efficace, il sera indispensable de prévoir une instrumentation conséquente sur l'installation, afin de suivre précisément tous les paramètres de fonctionnement.

Par ailleurs, compte tenu de la spécificité de ces systèmes, l'installation devra également impérativement faire l'objet d'un contrat d'entretien et de suivi par l'entreprise ayant réalisé les travaux.

Un dispositif d'alarmes devra signaler efficacement toute défaillance du système.

Les différents paramètres importants à suivre sont les suivants :

- Retour Marche circulateur solaire
- Retour Marche circulateur générateur
- Retour Marche circulateur évaporateur
- Retour Marche circulateur système de refroidissement
- Retour état de la vanne trois voies du circuit solaire
- Température du départ des capteurs
- Energie solaire récupérée (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur le départ vers les capteurs associé à deux sondes, l'une sur le départ et l'autre sur le retour des capteurs) :  
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{\text{dép}}-T_{\text{ret}}.)$$
- Energie utilisée au générateur (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur le retour du générateur associé à deux sondes, l'une sur l'entrée et l'autre sur la sortie du générateur) :  
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{\text{ent}}-T_{\text{sort}}.)$$
- Energie fournie par l'évaporateur (mesurée par un compteur volumétrique à émetteur d'impulsions sur l'arrivée à l'évaporateur associé à deux sondes, l'une sur l'entrée et l'autre sur la sortie de l'évaporateur) :  
$$E = \sum \Delta t.1,16.Q(L/h).(T_{\text{ent}}-T_{\text{sort}}.)$$
- Energie électrique consommée par les équipements de l'installation solaire hors appoint et hors distribution (mesurée par un compteur électrique)
- Energie électrique consommée par l'appoint



## 10. BILANS ENERGETIQUES DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION

### 10.1 BASE DE CALCUL

Etant donné le principe de fonctionnement retenu pour l'installation et le dimensionnement des équipements, on considérera que la totalité de l'énergie solaire produite sera consommée.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- Données météorologiques :

La station météorologique de référence est la station Météo France située à Pamandzi, qui mesure régulièrement le rayonnement solaire avec du matériel de précision. Un fichier horaire a également été réalisé par des universitaires dans le cadre de simulations thermiques dynamiques, mais les moyennes de rayonnement solaire mensuelles sont très différentes des données relevées par Météo France. Nous avons donc décidé pour la présente étude de nous baser sur les données relevées par la station de Pamandzi, et de raisonner en terme de bilan énergétique global sur des journées moyennes pour chaque mois.

Les données sont répertoriées dans le tableau suivant :

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T° ext (°C)	27.4	27.5	27.6	27.5	26.8	25.5	24.5	24.1	24.6	25.8	26.9	27.4
Irradiation (kWh/j/m <sup>2</sup> )	5.029	4.784	5.120	5,573	5.344	5.134	5.241	5.850	6.161	6.264	5.892	5.653

- Données des capteurs :

Comme nous l'avons dit, nous allons étudier la production solaire dans le cas de capteurs Schüco SOL U.5 DG, de caractéristiques suivantes :

Capteurs	$\eta$ retenu *	S entrée unit (m <sup>2</sup> )	Nbre capteurs	S totale (m <sup>2</sup> )
Schüco SOL U.5 DG	0,65	2,47	23	57

\* : dans les conditions de fonctionnement prévues

### 10.2 DEPERDITION CLIMATISATION SOLAIRE

Les déperditions ont été quantifiées selon le fonctionnement du groupe de climatisation, ainsi que les différentes températures d'application des réseaux :

Pertes thermiques sur le réseau d'eau chaude :

Ces pertes sont les pertes thermiques en journée et en nuit sur les canalisations calorifugées et le ballon tampon chaud sur l'ensemble de la journée. Pour l'évaluation, on peut distinguer les pertes de jour et de nuit, qui correspondent à des fonctionnements différents.

Energie en Wh	Dénomination
1030	Ballon stockage durant arrêt
1453	Ballon stockage durant fonctionnement
5204	Pertes thermiques linéaire durant arrêt
7338	Pertes thermiques linéaire durant fonctionnement
<b>15025</b>	<b>Pertes thermiques totale durant 24H</b>



Pertes thermiques sur le réseau d'eau froide :

De même, que pour le côté froid, l'installation de climatisation solaire engendrera des pertes thermiques au travers des canalisations de raccordement vers le réseau d'eau glacée existant, ainsi qu'au travers du ballon tampon froid, et quelques calories directement apportées par les circulateurs sur la partie eau glacée.

Energie en Wh	Dénomination
960	Pertes ballon stockage
288	Pertes thermiques linéaires
2007	Echauffement circulateurs
<b>3255</b>	<b>Pertes thermiques totale durant 24H</b>

**10.3 PRODUCTION CALORIFIQUE SOLAIRE**

L'énergie thermique disponible au niveau du générateur a été évaluée en fonction des données météorologiques, des caractéristiques des capteurs (efficacité, surface unitaire, nombre) et de leur implantation (orientation, inclinaison), ainsi que des pertes journalières précédemment estimées.

Le calcul donne les résultats énergétiques suivants, au niveau de l'énergie fournie au générateur par les capteurs :

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Energie mensuelle (kWh)	5590	5495	5691	6401	6138	5897	6020	6719	6848	7195	6549	6493
Energie journalière (kWh)	186	177	190	206	198	190	194	217	228	232	218	209
Energie journalière avec déperdition (kWh)	171	162	175	191	183	175	179	202	213	217	203	194

**10.4 PRODUCTION FRIGORIFIQUE SOLAIRE**

Etant donné le COP thermique de la machine à adsorption, que l'on peut prendre égal à 0,4 en été et 0.5 en hiver pour notre installation (température de refroidissement un peu plus basse), la production de froid que l'on peut obtenir peut donc s'estimer comme suit :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
COP générateur Absorption	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Production froid kWh/jour nette	69	65	70	96	91	88	90	101	85	87	81	78
Production froid kWh/jour avec pertes thermiques	65	62	67	93	88	84	86	98	82	84	78	75

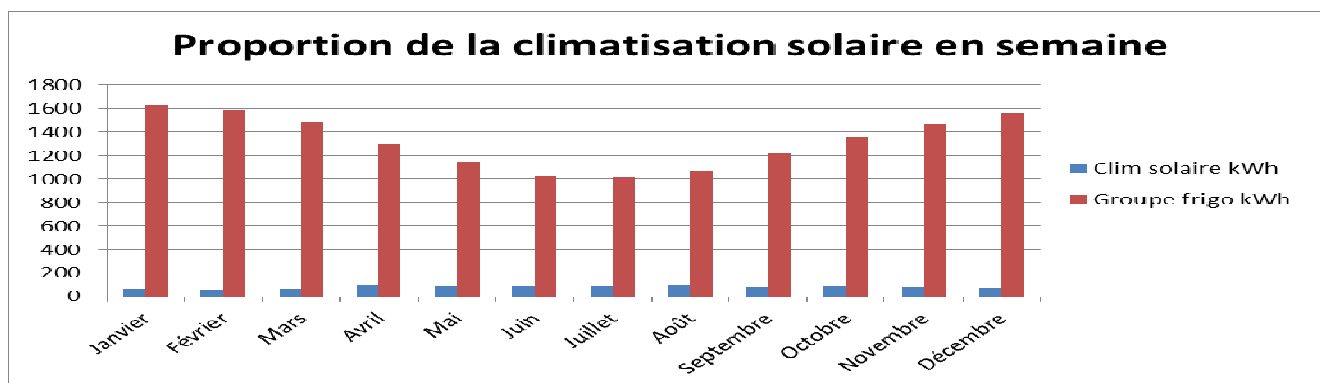


### 10.5 COUVERTURE FRIGORIFIQUE SOLAIRE EN SEMAINE

En comparant les productions frigorifiques solaires mensuelles avec les besoins de froid mensuels, on obtient les taux de couverture solaire mensuels en froid apportés par la climatisation solaire durant les périodes de semaine.

Le tableau et le graphique suivants reprennent les résultats journaliers moyens de ces apports :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Besoin froid kWh/j	1 690	1 654	1 555	1 397	1 235	1 115	1 099	1 171	1 303	1 439	1 557	1 639
Couv Solaire	4%	4%	4%	7%	7%	8%	8%	8%	6%	6%	5%	5%



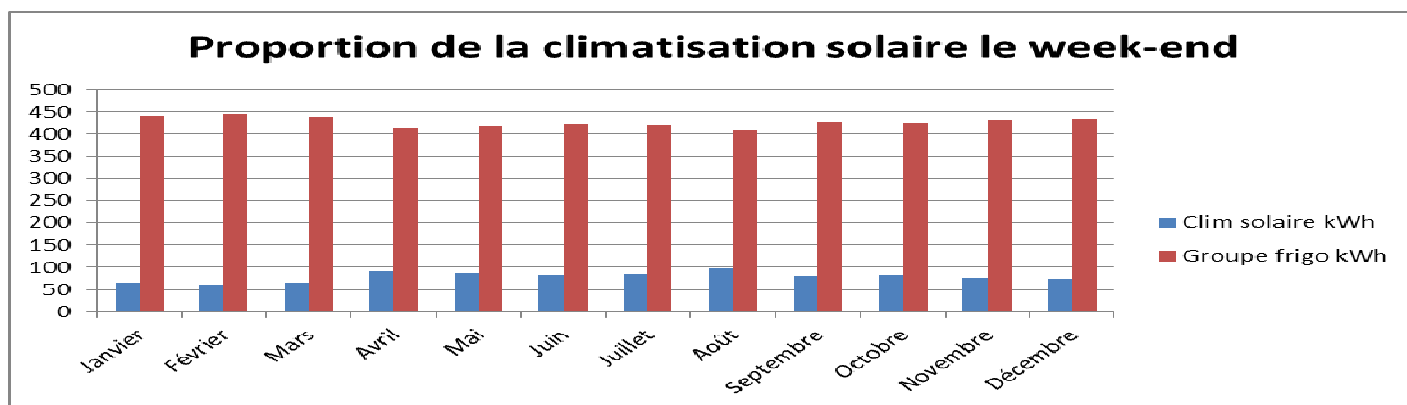
Le taux de couverture théorique moyen sur l'année de la climatisation solaire en semaine est de 6%.

### 10.6 COUVERTURE FRIGORIFIQUE SOLAIRE LE WEEK-END

En comparant les productions frigorifiques solaires mensuelles avec les besoins de froid mensuels, on obtient les taux de couverture solaire mensuels en froid apportés par la climatisation solaire durant les périodes de week-end.

Le tableau et le graphique suivants reprennent les résultats journaliers moyens de ces apports :

Energie mensuelle	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
besoin froid kWh/j	507	496	466	419	371	335	330	351	391	432	467	492
Couv Solaire	13%	12%	14%	22%	24%	25%	26%	28%	21%	19%	17%	15%



Le taux de couverture théorique moyen sur l'année de la climatisation solaire en weekend est de 20%.



## 10.7 CONSOMMATION ELECTRIQUE CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION

Les diverses consommations électriques des installations de climatisation solaire ont été estimées comme suit :

### Consommation d'énergie journalière des pompes :

Dénomination	Puissance elec nominale en W	Consommation / Jour en kWh
Circuit solaire	40	0,2
Stockage chaud	300	1,8
Refroidissement	750	4,5
Stockage froid	300	1,8
Energie journalière totale		8.3 kWh

### Consommation d'énergie journalière du générateur à adsorption :

Marque	Modèle	Puissance électrique W	Conso / Jour en kWh
SorTech	ACS 15	14	0.1

Le générateur à adsorption fonctionnera en moyenne 8h par jour, la puissance prise en compte pour l'étude est celle de la documentation du constructeur donnée en Annexe Technique.

### Consommation d'énergie journalière du refroidisseur adiabatique :

Marque	Modèle	Puissance électrique W	Conso / Jour en kWh
JACIR	-	7 500	27

Les consommations énergétiques ont été calculées, par analogie avec la sélection du refroidisseur adiabatique pour la climatisation par absorption.

Les conditions climatiques retenues sont de 32°C et 80% HR, pour un régime d'eau de 35°/31°.

Les ventilateurs du refroidisseur adiabatiques sont équipés d'un variateur électronique de vitesse afin de limiter la consommation énergétique.

### Consommation d'énergie annuelle refroidisseur adiabatique:

Désignation	Consommation annuelle en kWh
Clim solaire avec refroidissement adiabatique	12 925

*Il est à noter que le refroidisseur adiabatique est le plus gros poste consommateur d'énergie électrique pour la climatisation solaire, cette énergie consommée pénalise fortement le coefficient de performance de la machine étant donné les conditions climatiques, particulièrement humides et chaudes à Mayotte.*



## 10.8 BILAN ENERGETIQUE GLOBAL / COEFFICIENT DE PERFORMANCE

Afin de présenter un ratio représentatif de l'efficacité de la machine, comparable à celui du groupe d'eau glacée prévu en base, nous avons calculé un coefficient de performance global de l'installation de climatisation solaire.

Le coefficient de performance équivalent correspond au rapport entre l'énergie produite par la climatisation solaire et l'énergie électrique consommée par l'installation (circulateurs, aerorefrigerant...).

### Evolution annuelle du coefficient de performance avec refroidisseur adiabatique :

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Production de froid par jour en kWh	65	62	67	93	88	84	86	98	82	84	78	75
COP équivalent Production de froid	1,87	1,76	1,91	2,64	2,52	2,41	2,47	2,79	2,35	2,39	2,23	2,13

Le **coefficient de performance** équivalent moyen pour la climatisation solaire par adsorption équipée d'un refroidisseur adiabatique est de **2,3**.

Si l'on rapporte ce coefficient au COP du groupe d'eau glacée à compression, on est à peu près équivalent, ce qui signifie qu'à productions frigorifiques équivalentes, l'installation de climatisation solaire consommera autant d'électricité que le groupe à compression. Il n'y a donc pas d'intérêt énergétique à faire fonctionner une machine à adsorption à Mayotte.



## 11. BILAN ECONOMIQUE DE LA CLIMATISATION SOLAIRE PAR ADSORPTION

### 11.1 DETAIL ESTIMATIF DES COUTS DE L'INSTALLATION RETENUE

Le tableau suivant récapitule les coûts estimatifs poste par poste des deux installations étudiées, par analogie avec les éléments communiqués lors de l'étude sur la variante ab-sorption.:

Dénomination du poste	Installation solaire avec refroidisseur adiabatique
Production solaire	30 696 €
Générateur à adsorption	34 200 €
Aerorefrigerant Adiabatique	74 936 €
Distribution primaire	15 310 €
Electricité Regul Supervision	23 100 €
Conteneur technique	8 000 €
Divers (études,essais, mise en service...)	32 000 €
<b>TOTAL</b>	<b>218 242 €</b>

*Il faut noter pour information que des prix nettement plus intéressants peuvent être obtenus à la Réunion, où, avec un climat plus favorable, et avec la solution proposée par l'entreprise développant cette filière, un intérêt énergétique et économique peut être envisagé...*

### 11.2 EVALUATION DES COUTS D'EXPLOITATION ANNUELS DE L'INSTALLATION

Le coût d'exploitation de l'installation de climatisation solaire sera dû aux consommations électriques des circulateurs, du refroidisseur, la consommation d'eau du refroidisseur ainsi que les frais de maintenance et de provisionnement pour le renouvellement du matériel.

Les coûts d'électricité sont évalués à partir du tarif EDM Vert Moyenne Utilisations.

#### Coût énergétique de l'installation solaire avec tour de refroidissement adiabatique

Comme précisé dans le chapitre « consommation électriques climatisation solaire » le poste à une **consommation électrique** d'environ 12 925 kWh/an, soit environ **1 551 €/an** en prenant en compte le coût de contribution au service public de l'électricité (CSPE).

#### Coûts d'exploitation de l'installation :

Concernant la maintenance pure des installations, on peut tabler sur un coût annuel d'environ 3850 euros par an.

A cela, il faut ajouter la consommation d'eau du refroidisseur, que l'on peut estimer dans un premier temps à environ 2,4 m<sup>3</sup>/j (6 heures par jour entre 0,25 et 0,5 m<sup>3</sup>/h), ce qui représente une consommation annuelle d'environ 876 m<sup>3</sup>/an, soit environ 2500 €/an. Une solution éventuellement plus respectueuse de l'environnement serait de voir si l'on pourrait récupérer de l'eau de pluie pour assurer une partie de ces besoins, sachant que le coût d'un dispositif de récupération des eaux de pluie sera de toute façon onéreux...



### 11.3 BILAN ECONOMIQUE BRUT DE L'OPERATION

Le tableau suivant résume le bilan économique de l'opération, sans prendre en compte les différentes aides financières envisageables et sans prendre en compte la production d'eau chaude sanitaire :

	<b>Installation solaire refroidisseur adiabatique</b>	<b>Solution de référence « 100% compression »</b>
Surcoût d'investissement (€ H.T)	<b>218 242 €</b>	-
Consommation annuelle (kWhe)	12 925	11 947
Surcoût d'exploitation (€/an)	7 901	-
Temps de retour brut (ans)	<b>Pas d'intérêt économique</b>	-

La mise en place d'une installation de climatisation solaire sur le siège d'EDM n'a pas d'intérêt économique, car :

- L'investissement est très conséquent
- Les coûts d'exploitation sont nettement plus élevés que sans climatisation solaire, puisqu'il n'y a que peu, voire pas du tout d'économies d'énergie, et par contre à la vue de la complexité technique ainsi que des traitements d'eau le cas échéant, les coûts d'entretien sont très élevés

### 11.4 AIDES ENVISAGEABLES

A la vue de l'intérêt énergétique non avéré, il est très peu probable qu'une telle installation soit éligible à une quelconque aide à l'investissement.

## 12. IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

---

Dans le cas présent, à production frigorifique égale, la solution solaire consommera autant, voire à peine moins d'électricité que la solution de base à compression, il n'y aura donc pas d'impact positif en terme d'émissions de CO2 économisés indirectement par la réduction des consommations électriques.

Par contre, le bilan carbone de l'opération serait négatif.

Globalement, il n'y a pas non plus d'intérêt environnemental à mettre en place une climatisation solaire à Mayotte.





### 13. INTERET DES SOLUTIONS DE CLIMATISATION SOLAIRE, CONCLUSION

---

La présente étude a été réalisée suivant des hypothèses de fonctionnement plutôt favorables (machine de faible puissance en regard des besoins, donc utilisation de toute l'énergie récupérable, fonctionnement de l'installation 7j/7 tous les jours de l'année, coûts d'investissement optimisés), et cependant le bilan énergétique est tout juste équivalent à celui d'un groupe d'eau glacée à compression performant, tel que celui prévu en base.

La mise en place de climatisation solaire semble donc peu adapté à Mayotte, du moins en l'état actuel des technologies.

Les raisons sont multiples :

- Très forte hygrométrie de l'air et température ambiante élevée toute l'année, ce qui conduit à devoir énormément surdimensionner les refroidisseurs, qui consommeront plus...
- ... et refroidiront moins, d'où également une moins bonne efficacité.
- Régime de température d'eau glacée faible, qui engendre une baisse significative du COP thermique
- Coûts d'installation très élevés à Mayotte
- Coûts d'entretien et contraintes des tours rédhibitoires
- Amélioration des performances des groupes à compression, auxquels sont comparés la solution solaire, qui du coup perd de son intérêt

Enfin, on ne trouve pas sur l'île d'entreprise spécialisée ayant de l'expérience sur ce type d'installations en milieu tropical, qui, rappelons-le, sont encore une technologie en phase de développement, et nécessite un savoir faire à proximité...



## 14. ANNEXE TECHNIQUE

---

