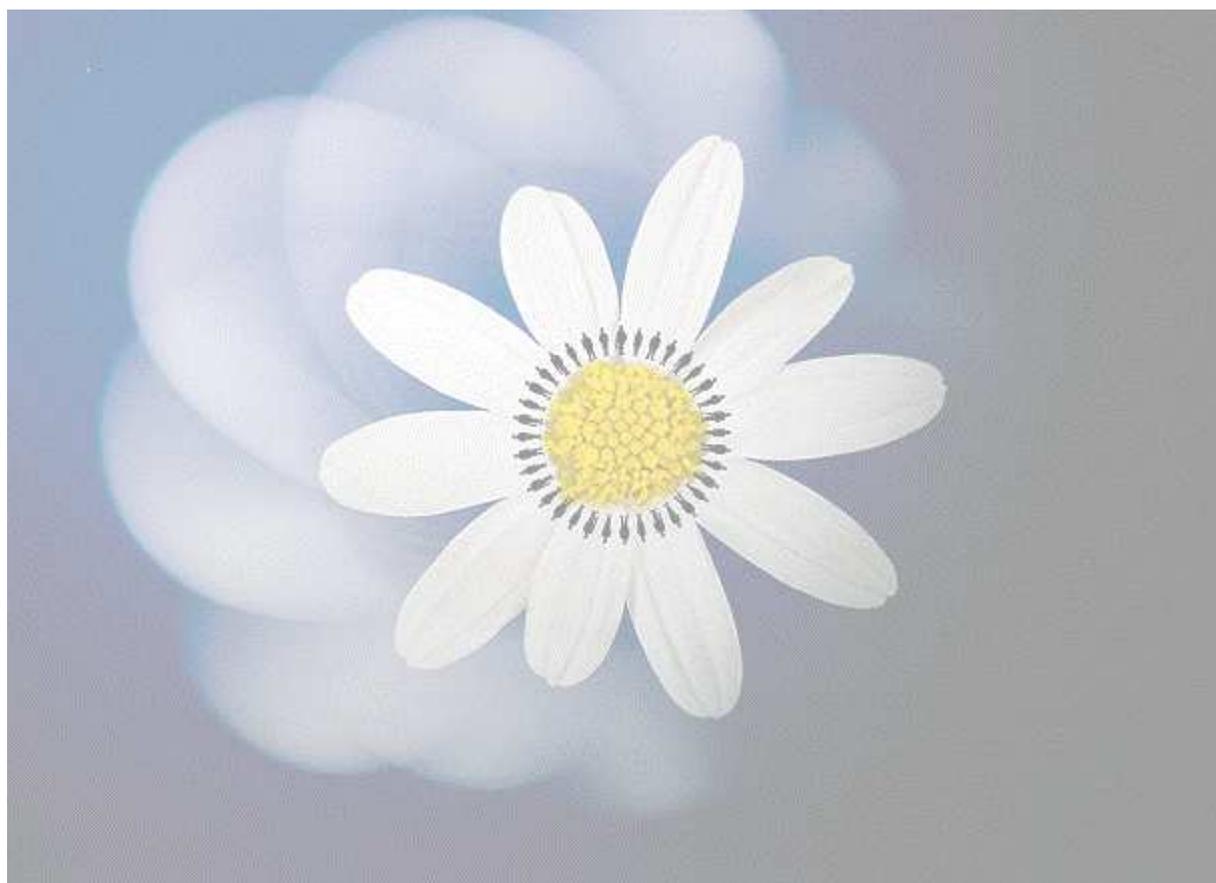


## **CITE ADMINISTRATIVE DE MÂCON**



## **RAPPORT DE PHASE E2**

Votre interlocuteur :

W.SCHROEDER

Téléphone :

06.14.37.68.60

Référence :

30708840-2

Révision n°:

3

Date :

mars 2010

## Sommaire

<b>1.</b>	<b><u>RENSEIGNEMENT GENERAUX</u></b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b><u>SIMULATION DU COMPORTEMENT DU BATIMENT</u></b>	<b>5</b>
2.1.	HYPOTHESES RETENUES	5
2.2.	SIMULATION EN CONDITION REELLE	13
<b>3.</b>	<b><u>ANALYSE CRITIQUE DE LA SITUATION</u></b>	<b>20</b>
3.1.	ANALYSE DES CONTRATS D'ENTRETIEN	20
3.2.	ANALYSE CONTRAT ABONNEMENT RESEAU DE CHALEUR	21
3.3.	ANALYSE DES CONDITIONS TARIFAIRES D'ACHAT DE L'ELECTRICITE	22
3.4.	ANALYSE DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE	24
3.5.	ANALYSE DU SYSTEME DE CLIMATISATION	26
3.6.	ANALYSE DU SYSTEME DE VENTILATION	42
3.7.	REMARQUES COMPLEMENTAIRES	46
3.8.	ANALYSE DE LA GESTION TECHNIQUE DU BATIMENT	53
3.9.	TEMPERATURES EFFECTIVES DES LOCAUX	54
<b>4.</b>	<b><u>SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE</u></b>	<b>55</b>
4.1.	REMARQUES ISSUES DE LA PHASE E1 / THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE	55
4.2.	HYPOTHESES	55
4.3.	APPORTS SOLAIRES	60
4.4.	REPLACEMENT DES MENUISERIES EXTERIEURES	65
4.5.	ISOLATION DES PAROIS OPAQUES	72
4.6.	SYNTHESE AVEC LES DIFFERENTES VARIANTES	87
4.7.	SYNTHESE GENERALE	91
<b>5.</b>	<b><u>PROPOSITIONS D'ACTIONS COMPLEMENTAIRES NON PRISE EN COMPTE PAR LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE</u></b>	<b>94</b>
5.1.	ECLAIRAGE	94
5.2.	INFORMATIQUE	98
5.3.	RECUPERATION DE CHALEUR	100
5.4.	VARIATION DE VITESSE	102
5.5.	CONSOMMATION D'EAU FROIDE	103
<b>6.</b>	<b><u>ANALYSE COMPORTEMENTALE</u></b>	<b>105</b>
6.1.	ANALYSE CRITIQUE COMPORTEMENTALE	105
6.2.	QUELQUES EXEMPLES IDENTIFIES LORS DE NOS VISITE	106
6.3.	UNE PISTE D'AMELIORATION	108
6.4.	ASPECT RELATIF AUX EQUIPEMENTS RAPPORTES	109
<b>7.</b>	<b><u>ETUDE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE</u></b>	<b>111</b>

<b>7.1. SYSTEME PRESENTI</b>	<b>111</b>
<b>7.2. VARIANTES NON RETENUES</b>	<b>114</b>
<b>7.3. VARIANTES ENVISAGEABLES</b>	<b>115</b>
<b>8. <u>ANNEXE</u></b>	<b><u>123</u></b>

---

**1. RENSEIGNEMENT GENERAUX**

Adresse
Cité Administrative de Mâcon 24 Boulevard Henry Dunant 71000 MÂCON
Visité du 23 au 25 novembre 2009

Tableau 1 Liste des intervenants

Contacts		Nom	Tél	Mail
Responsable	Préfecture	Mme CAMUS	03.85.21.81.30	<a href="mailto:jacqueline.camus@saone-et-loire.pref.gouv.fr">jacqueline.camus@saone-et-loire.pref.gouv.fr</a>
	DDE – Resp. Développement Durable	Mme GOUBY	03.85.21.16.06	<a href="mailto:catherine.gouby@developpement-durable.gouv.fr">catherine.gouby@developpement-durable.gouv.fr</a>
	DDE	M.DELONG	03.85.21.16.08	<a href="mailto:franck.delong@developpement-durable.gouv.fr">franck.delong@developpement-durable.gouv.fr</a>
	CETE DDE – Expert Energie/eco-quartier	M.TASCEDDA	06.74.56.76.16	<a href="mailto:marc.tascedda@developpement-durable.gouv.fr">marc.tascedda@developpement-durable.gouv.fr</a>
	Cité Administrative – Régisseur	M.FAYARD	03.85.22.56.36	<a href="mailto:marc.fayard@dgfip.finances.gouv.fr">marc.fayard@dgfip.finances.gouv.fr</a>
	Cité Administrative – Adjoint régisseur	M.LIODENOT		
	Trésorerie Générale	Mme BAUDOIN	03.85.39.65.30	
	APAVE – Chef de Projet APAVE	M.LACRESSE	03.80.78.74.60	<a href="mailto:david.lacresse@apave.com">david.lacresse@apave.com</a>
Auditeur	APAVE - Energéticien	M.HETTIET	06.15.01.49.46	<a href="mailto:julien.hettiet@apave.com">julien.hettiet@apave.com</a>
Auditeur	APAVE - Energéticien	M.SCHROEDER	06.14.37.68.60	<a href="mailto:william.schroeder@apave.com">william.schroeder@apave.com</a>
Exploitant	COFELY	M.MICHELIN	06.84.31.25.13	

## 2. SIMULATION DU COMPORTEMENT DU BATIMENT

### 2.1. Hypothèses retenues

#### Détermination du coefficient $U_{bât}$

Les déperditions thermiques par transmission à travers les parois et les baies sont caractérisées par le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment, appelé  $U_{bât}$ , exprimé en  $W / m^2.K$

Le coefficient  $U_{bât}$  s'obtient en appliquant la formule suivante:

$$U_{bât} = \text{Somme des déperditions} / A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7$$

Avec :

<b>A1:</b>	Surface des parois verticales opaques, y compris les parois verticales des combles aménagés et les surfaces projetées des coffres de volets roulants non intégrés dans la baie, à l'exception des surfaces opaques prises en compte dans A5, A6 et A7
<b>A2:</b>	Surface des planchers hauts et toitures autres que ceux pris en compte en A3
<b>A3:</b>	Surface des planchers hauts donnant sur l'extérieur en béton ou en maçonnerie pour tout bâtiment, et surface des planchers hauts à base de tôles métalliques nervurées des bâtiments non résidentiels.
<b>A4:</b>	Surface des planchers bas
<b>A5:</b>	Surface des portes, exception faite des portes entièrement vitrées
<b>A6:</b>	Surface des fenêtres, des portes entièrement vitrées, des portes-fenêtres ou des parois transparentes ou translucides des bâtiments non résidentiels
<b>A7:</b>	Surface des fenêtres, des portes entièrement vitrées, des portes-fenêtres ou des parois transparentes ou translucides des bâtiments résidentiels
<b>L8:</b>	Linéaire de la liaison périphérique des planchers bas avec un mur
<b>L9:</b>	Linéaire de la liaison périphérique des planchers intermédiaires ou sous comble aménageable avec un mur
<b>L10:</b>	Linéaire de la liaison périphérique avec un mur des planchers hauts en béton, en maçonnerie ou à base de tôles métalliques nervurées

Ainsi, nous pouvons établir pour la Cité Administrative :

CALCUL U bât	Surfaces	U	U*Ai
A1	2772	3	8316
A2			
A3	3506	0,3	1051,80
A4	3150	0,9	2835
A5	58	5	290
A6	2267	2,7	6120,9
A7			0
L8	320	0,25	80
L9	5760	0,25	1440
L10	320	0,5	160

Et en appliquant la formule ci dessus, le coefficient  $U_{bât}$  vaut :

$$U_{bât} = 1,58 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$$

Cette valeur de  $U_{bât}$  est élevée. Elle s'explique par le fait que le bâtiment et les parois opaques plus précisément ne sont pas isolées, que les menuiseries sont de qualités médiocres par rapport aux nouveaux produits (présence de rupteur de ponts thermiques, glaces de haut rendement...).

Afin de situer la Cité Administrative, nous vous proposons cette échelle des valeurs :  
 $U_{bât} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$  bâtiment conforme à la RT en vigueur (construit après le 2 juin 2001 mais bon nombre de logements antérieurs à cette date étaient déjà conformes à la RT en vigueur).

$U_{bât} < 0,90 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$  bâtiment très bien isolée.

$U_{bât} = 1 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$  bâtiment bien isolée.

$U_{bât} > 1,2 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$  bâtiment mal isolée.

$U_{bât} > 1,4 \text{ W}/(\text{m}^3.\text{K})$  bâtiment non isolée.

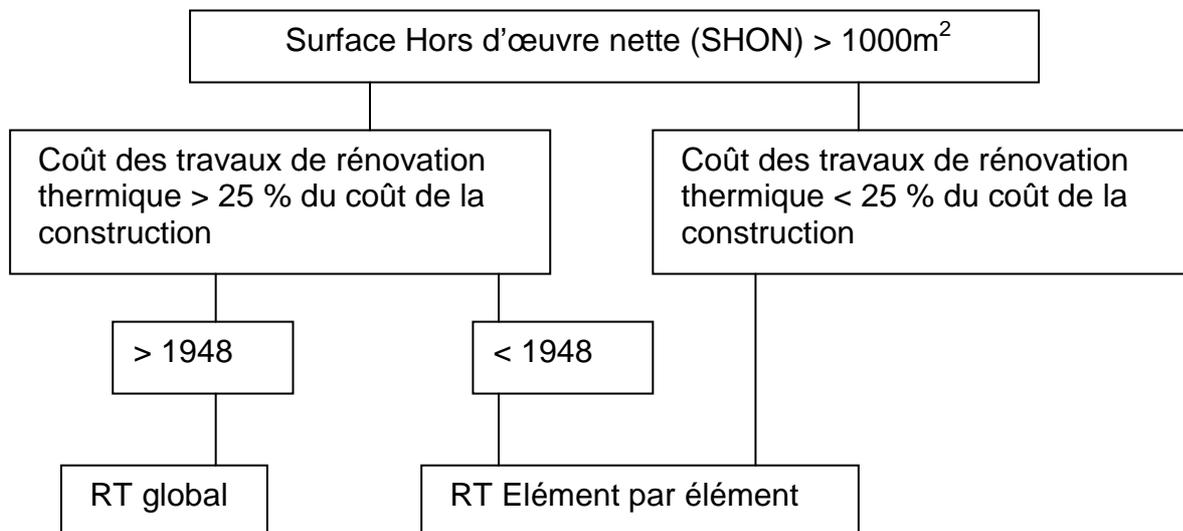
## Rappel réglementaire des exigences minimales

Rappel réglementaire au titre de l'Arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1 000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants

PAROIS	COEFFICIENT U MAXIMAL
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol	0,45
Murs en contact avec un volume non chauffé	0,45/b
Planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking collectif	0,36
Planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou sur un volume non chauffé	0,40
Planchers haut en béton ou en maçonnerie, et toitures en tôles métalliques étanchées	0,34
Planchers hauts en couverture en tôles métalliques	0,41
Autres planchers hauts	0,28
Fenêtres et portes-fenêtres prises nues donnant sur l'extérieur	2,60
Façades-rideaux	2,60
Coffres de volets roulants	3,0

Approche effectuée

Rappel



Le coût de la construction est fixé par l'arrêté du 20 décembre 2007 fixe à 1100 € HT / m<sup>2</sup> pour les bâtiments non résidentiel, soit un montant total de 18480000 € HT soit pour 25% un total de 4620000 €. Notre démarche se veut avant tout pragmatique et les sujétions d'améliorations et les préconisations que nous allons détailler seront basées sur des hypothèses de coût et de « bon sens » qui au regard de la réglementation et du montant du coût de la construction nous laisse présager que notre approche sera effectuée par la réglementation thermique élément par élément.

## Caractéristiques du bâtiment pour la simulation thermique dynamique

	Base
Désignation (teintes : béton et vitrages teintés)	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur ( $U = 3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) - Plancher bas : dalle béton + chape béton ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton ( $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> ( $U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h

### Domaine de validité du logiciel Pléiade + Comfie version 2.9.7.6

Le logiciel prend en compte des valeurs moyennes au niveau de l'ensemble du bâtiment et ne peut modéliser le bâtiment que dans son ensemble. Les valeurs moyennes sont le résultat de l'intégration de l'ensemble des températures de chaque local recueilli en phase E1.

### Apports internes

Le logiciel utilisé Pléiade + Comfie version 2.9.7.6 utilise le ratio de 150 W/pers et est pondéré par le temps de présence des usagés de la Cité Administrative (voir § 2.1.4).

En ce qui concerne le reste des apports internes (informatique, appareils dégageant de la chaleur), nous les trouverons sous le nom de puissance dissipée. La puissance dissipée est égale à la somme de tous les apports liés au matériel employé dans le bâtiment. Cette somme est calculée sur la base des éléments issus du rapport de phase E1 (quantitatif et puissance).

Sur le tableau ci dessous, nous pouvons apprécier les valeurs de puissance estimée pendant les phases d'occupation et d'inoccupation.

*copie d'écran représentant les apports internes*

W	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
1 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
8 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
9 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
10 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
11 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
12 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
13 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
14 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
15 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
16 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
17 H	40000	40000	40000	40000	40000	10000	10000
18 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
19 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
20 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
21 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
22 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
23 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
24 H	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

- bleu : puissance en W, veille présumée
- orange : puissance en W quant occupation normale en période de fonctionnement

## Occupations des locaux

Pour la Cité Administrative, nous avons simulé des occupations du bâtiment du lundi au vendredi avec des taux d'occupation compris entre 25% et 100%, suivant le tableau ci dessous.

*Copie d'écran représentant les taux d'occupations*

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	25	25	25	25	25	0	0
8 H	100	100	100	100	100	0	0
9 H	100	100	100	100	100	0	0
10 H	100	100	100	100	100	0	0
11 H	100	100	100	100	100	0	0
12 H	100	100	100	100	100	0	0
13 H	100	100	100	100	100	0	0
14 H	100	100	100	100	100	0	0
15 H	100	100	100	100	100	0	0
16 H	100	100	100	100	100	0	0
17 H	100	100	100	100	100	0	0
18 H	100	100	100	100	100	0	0
19 H	25	25	25	25	25	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0

## Températures

### Températures prises en compte pour la simulation thermique

Le niveau de chauffage : pour une température extérieure de base de  $-11^{\circ}\text{C}$

Différentiation interne : ayant une zone thermique homogène à l'intérieur du bâtiment, les plateaux ayant la même température de consigne, nous avons traité le bâtiment comme une seule zone thermique, ce qui implique que les parois internes n'ont pas d'influence dans la simulation thermique dynamique.

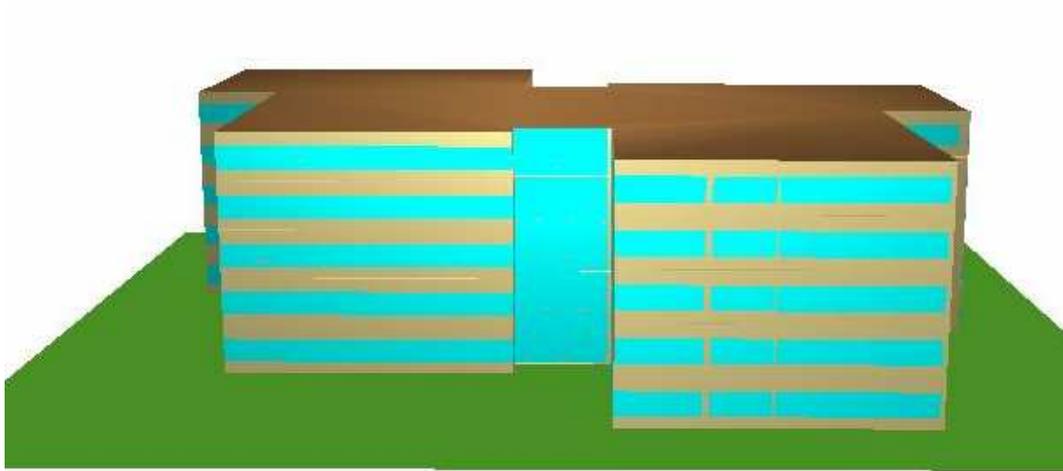
### Locaux chauffés

Au titre de l'arrêté du 24 mai 2006 concernant la Réglementation Thermique 2005, relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments, un local est dit chauffé lorsque sa température normale en période d'occupation est supérieure à  $12^{\circ}\text{C}$ .

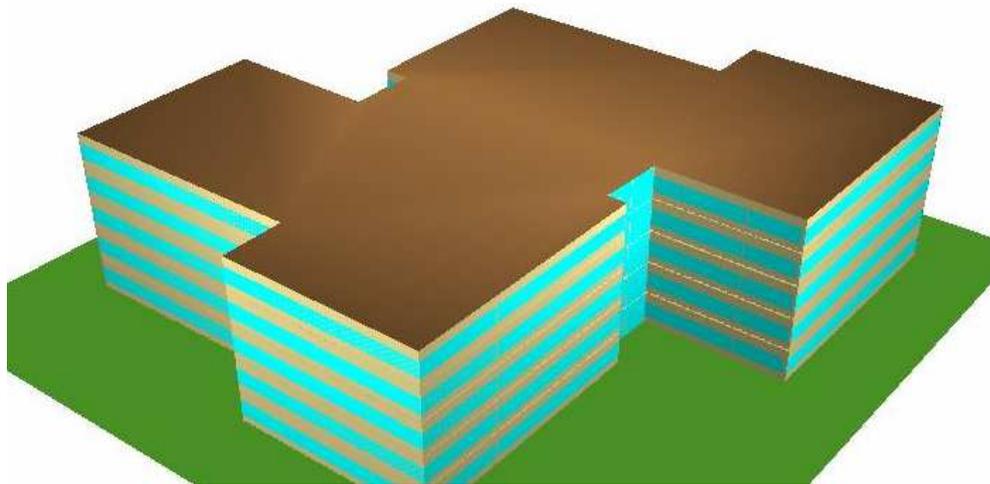
C'est pourquoi nous avons considéré l'ensemble de la Cité Administrative comme un local chauffé lors de la STD.

## 2.2. Simulation en condition réelle

### Modélisation 3D



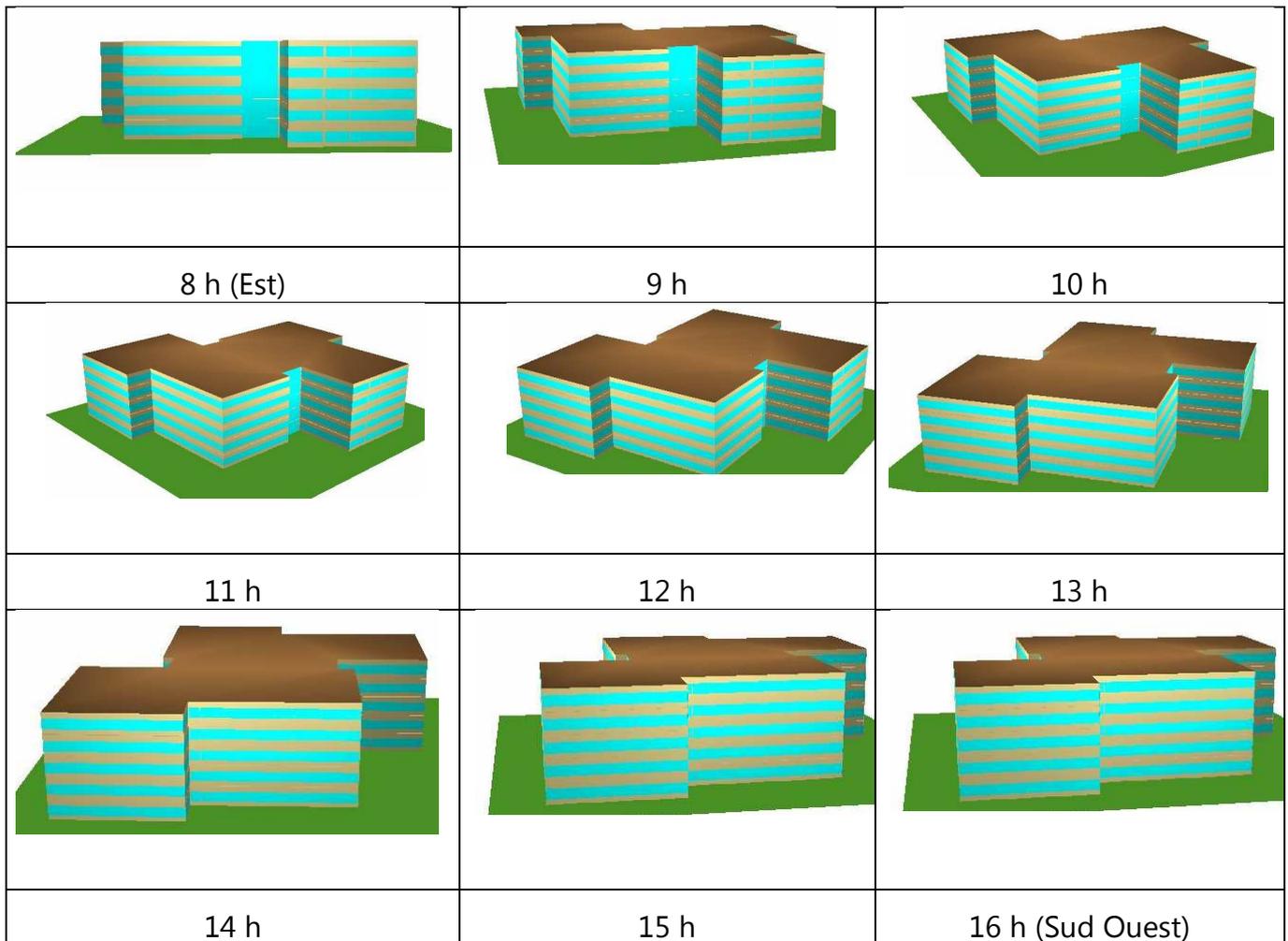
(Vue de la façade Est)



(Vue de trois quarts)

### Course du soleil

Par rapport au site météorologique pris en compte lors de la simulation, voici comment le rayonnement solaire évolue autour du bâtiment :



Les surfaces de façades ensoleillées sont les suivantes :

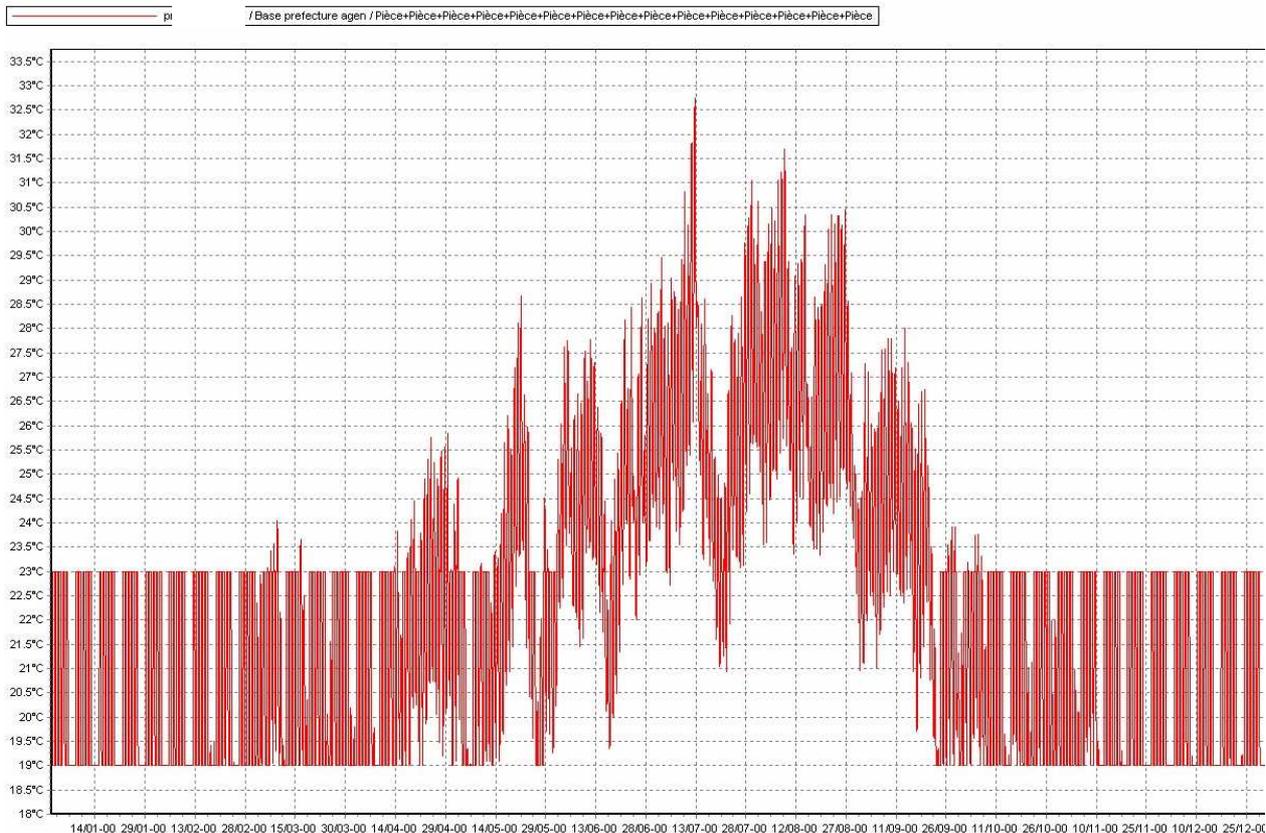
Façades Est : 1190 m<sup>2</sup>

Façades Sud : 1501 m<sup>2</sup>

Le reste des façades est considéré à l'ombre.

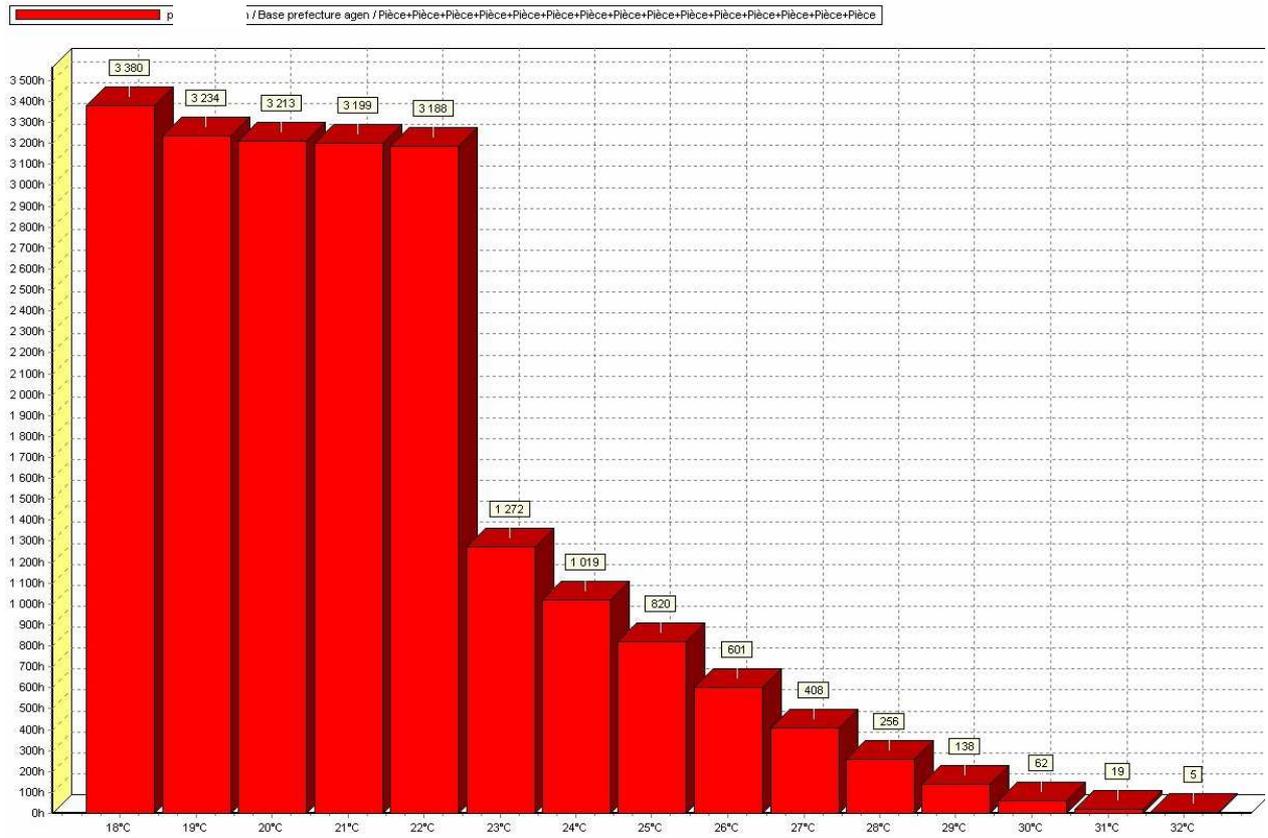


Le graphique ci-dessous représente les variations de la température des locaux sur une année (calculées par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :



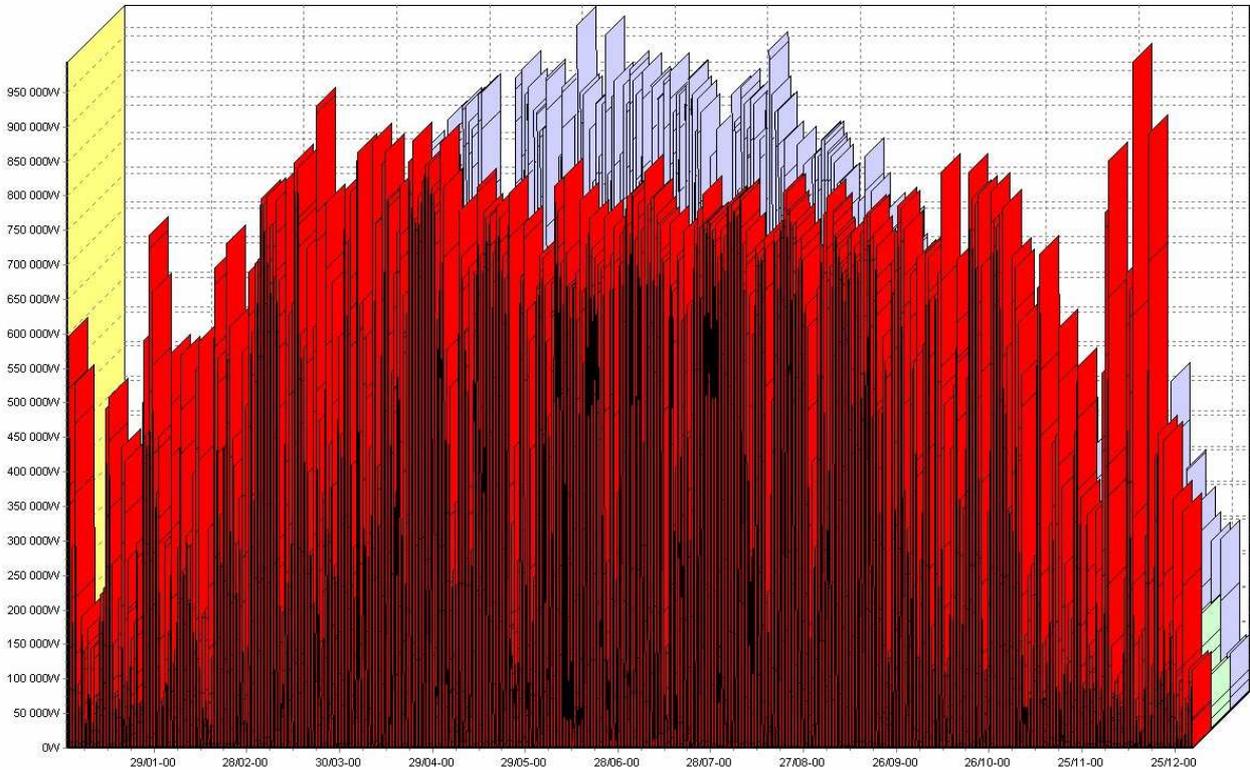
Par le biais de ce graphique, on constate que la température des locaux sera comprise entre 19 °C (la nuit) et 23 °C (le jour), ce qui correspond aux réglages des consignes de régulation.

En été, on peut noter des variations de températures dans les locaux en période estivale, du 29/05 au 25/09. La température maximale est de 32,5 °C, la température moyenne sur l'année est de 24,8 °C.



Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.

Voici la courbe correspondante aux différents apports solaires reçus par le site :



Les apports solaires permettent sur l'année une récupération d'énergie de 1 491 550 kWh/an.

**Conclusions**

Désignation	
Besoins (kWh/an)	1 242 170
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8

Les résultats obtenus par la simulation thermique dynamique nous paraissent cohérents avec nos différents relevés et constatations effectuées en phase E1.

### 3. ANALYSE CRITIQUE DE LA SITUATION

#### 3.1. Analyse des contrats d'entretien

La maintenance des installations est confiée à la société COFELY depuis 2006.  
Le contrat de maintenance prend en compte :

- Contrat de conduite et de petit entretien : l'exploitation, la conduite et la maintenance préventive systématique (dépannages et réparation selon conditions) des installations, ainsi que la gestion et l'assistance technique au MOA.

Aucun intéressement n'est pris en compte dans le contrat de maintenance.

Nous n'avons pas eu accès aux livrets de maintenance.

Le suivi de la maintenance est assuré par Mr le Régisseur et le technicien de maintenance. L'archivage est géré mutuellement et le suivi est consigné manuellement.

Installations prises en compte dans le contrat:

- ❑ Chauffage
- ❑ Ventilation,
- ❑ Climatisation,
- ❑ Clapet coupe-feu,
- ❑ Production ECS,
- ❑ Traitement d'eau,
- ❑ Pompe eau chaude-eau froide,
- ❑ Robinetteries et vannes des réseaux hydrauliques,
- ❑ Optimiseur,
- ❑ Groupe électrogène.

Nous signalons qu'il serait judicieux d'ajouter la clause de nettoyage des réseaux et des bouches d'extraction, de la ventilation sur le contrat de maintenance. Cela diminuerait les pertes de charges qui n'ont pas été prises en comptes lors du dimensionnement des ventilateurs, afin de les rendre plus pérennes dans le temps.

De plus, il nous paraît important de mettre une clause d'intéressement sur le contrat de maintenance, car le prestataire sera ainsi plus enclin à optimiser les installations énergétiques.

Enfin, il faudra s'assurer du bon suivi de la maintenance (comme stipulé au point 3.4 du CCTP Maintenance des installations chauffage, climatisation à la CITE ADMINISTRATIVE) et vérifier la traçabilité des fiches types émises par le régisseur afin d'analyser les résultats obtenus et ainsi inclure au marché un intéressement sur les économies engendrées dans la gestion des installations, notamment en ce qui concerne les consommations d'énergie, de matériels, de produits. Nous rappelons que contractuellement, la société assurant la maintenance doit rédiger à la fin de chaque trimestre un compte rendu où sont mentionnés les problèmes, remarques ou suggestions concernant la maintenance, l'état des installations... Un compte rendu plus complet de synthèse annuelle comprendra également une liste chiffrée des interventions de gros entretien programmé ou de remplacement de matériel à réaliser au cours de l'exercice suivant.

### 3.2. Analyse contrat abonnement réseau de chaleur

La fourniture de calories est assurée par la Société Mâconnaise d'Assainissement de Distribution d'Eau et de Chaleur.

Caractéristique sous station :

Puissance installée : 3023 kW

Puissance souscrite : 1511 kW

Mode de production de la chaleur : Réseau Urbain

Utilisation : Chauffage

Régime de facturation : Compteur.

Les installations dites primaires qui relèvent de la responsabilité du CONCESSIONNAIRE comprennent (selon police d'abonnement 05 P 508):

- Un raccordement composé de deux canalisations acier de diamètre 89 mm,
- Les dispositifs de sectionnement et de sécurité,
- Un échangeur SOFICA type EPAD 50-31 de 3023 kW,
- Un ensemble de régulation LANDIS type RWF + 2 SKC 61 VVF 61-80,
- Un compteur d'énergie SCHLUMBERGER type WST CF 30 de diamètre 80 mm.

La période de fourniture correspond au début de la saison de chauffage : 1<sup>er</sup> octobre et à la fin de la saison de chauffage fixé au 15 mai.

Nous constatons à la lecture de la police d'abonnement N5P508, la souscription d'une puissance souscrite de 1511 kW sur le réseau urbain. Cette souscription nous paraît judicieuse compte tenu des calculs effectués lors de la phase E1 pour la Cité Administrative et le RESCAM. L'échangeur de chaleur, bien que surdimensionné par rapport aux besoins actuels, n'altère pas les performances du réseau de chaleur. Par contre, il est rappelé que si la Cité Administrative engage des actions visant à la réduction d'énergie (baisse des températures de consignes, remplacement des vitrages, réaménagement) un essai contradictoire peut être réalisé. Par l'abonné, s'il estime ne pas disposer de la puissance souscrite ou s'il effectue des travaux de nature à économiser l'énergie.

Pour les vérifications à la demande de l'abonné, nous rappelons que si la puissance souscrite est conforme ou supérieure à celle fixée à la police d'abonnement, les frais entraînés sont à la charge de l'abonné et il lui appartient, s'il le désire, soit de modifier l'équipement de son poste de livraison, soit de modifier sa puissance souscrite. Dans le cas contraire, les frais entraînés sont à la charge du concessionnaire qui doit rendre la livraison conforme. De même, l'abonné a la faculté de demander la révision de son abonnement à la suite de la réalisation de travaux visant à économiser l'énergie. Dans ce cas, un essai contradictoire est effectué et les frais de cet essai sont à la charge de l'abonné.

### 3.3. Analyse des conditions tarifaires d'achat de l'électricité

Tarif vert A5 longues utilisations

Contrat seuil standard

Puissance réduite souscrite : 597,3 kW jusqu'au 01/08/09 et 606,7 kW à partir du 01/09/09.

Energie active et réactive facturées.

Nous pouvons noter sur les 3 dernières années des dépassements récurrents pendant la période estivale et notamment pour Heure Pleine Ete (HPE). Lorsque la puissance appelée par l'installation dépasse la puissance souscrite, l'énergie supplémentaire dont vous avez besoin est immédiatement disponible, sans opérations, ni demandes particulières. Mais cela donne lieu à une majoration de la prime fixe par une facturation des dépassements de puissance.

Année 2007 :

Du 01/06/07 au 01/07/07 : dépassement Amplitude QUADRA\* 39 kW

Année 2008 :

Du 01/06/08 au 01/07/08 : dépassement Amplitude QUADRA 213 kW

Du 01/07/08 au 01/08/08 : dépassement Amplitude QUADRA 115 kW

Du 01/10/08 au 01/11/08 : dépassement Amplitude QUADRA 17 kW

Année 2009 :

Du 01/05/09 au 01/06/09 : dépassement Amplitude QUADRA 26 kW

Du 01/06/09 au 01/07/09 : dépassement Amplitude QUADRA 236 kW

Du 01/07/09 au 01/08/09 : dépassement Amplitude QUADRA 93 kW

Il est normal de dépasser de temps en temps la puissance souscrite, mais si cela arrive fréquemment, il est souhaitable d'augmenter un peu cette puissance de façon à limiter les dépassements.

De part la récurrence des dépassements, nous conseillons aux responsables de la Cité Administrative de se rapprocher de leur fournisseur d'électricité afin d'analyser ces dépassements et souscrire une puissance adéquat.

Concernant le reste des factures, les consommations et différents relevés sont sans observations hormis les puissances souscrites pendant les Heures Creuses Hiver (HCH : 600kW) et Eté (HCE : 710) où les relevés sont bien inférieurs aux puissances souscrites. Des réajustements peuvent éventuellement être effectués et nous

conseillons aux responsables de la Cité Administrative de se rapprocher de leur fournisseur d'électricité afin de voir la possibilité d'optimisation des puissances souscrites.

*\* Dépassement amplitude quadra : Il y a dépassement lorsque la puissance atteinte est supérieure à la puissance souscrite. Si l'on nomme  $P$  ce dépassement, l'amplitude quadratique est égale à la racine carrée de la somme des carrés des dépassements. Le calcul est fourni directement par le compteur électronique.*

### 3.4. Analyse des systèmes de chauffage

Matériel installé :

- Echangeur SOFICA type EPAD 50-31 de 3023 kW
- Ensemble de régulation LANDIS type RWF + 2 SKC 61 VVF 61-80
- Compteur d'énergie SCHLUMBERGER type WST CF 30

#### Analyse

Le chauffage est assuré par le réseau de chauffage urbain vers un échangeur tubulaire dans le local technique de la Cité Administrative. Cet échangeur dessert également au secondaire le RESCAM. Le réseau de chauffage urbain véhicule au primaire de l'eau surchauffée d'une température maximale de 184°C et d'une pression de 25 bar. L'eau nécessaire est mise à disposition à la sortie de l'échangeur à une température maximale de 90°C et une pression maximale de 4 bar.

L'état général de la sous station est satisfaisant. Les calorifuges sont présents et présentent un bon état général.

L'échangeur de chaleur est surdimensionné par rapport au besoin de la Cité Administrative (3 MW pour 1,5 MW de puissance souscrite) mais cela n'altère pas les performances de celui-ci.

A noter la présence d'une chaudière fioul de 965 kW qui n'est pas ou peu en fonctionnement. (POLICE D'ABONNEMENT N°05 P507)

Matériel installé :

Chaudière DE DIETRICH type PFD 620

Brûleur CUENOD type PCS 175

Cet équipement sert uniquement en cas de secours (maintenance préventive, curative...)

Ce matériel est jugé vétuste.

## Synthèse

<b>Production</b>	
Type d'énergie	calories
Puissance installée	3 023 kW
Age de l'installation	Non fournie
Performance de la source:	satisfaisante
<b>Distribution</b>	
Type de distribution	Centrale de traitement d'air
Performance de la distribution	satisfaisante
<b>Emission</b>	
Type d'émetteur	Bouche de soufflage linéaire
Performance de l'émetteur	Plus adaptée aux nouvelles configurations des plateaux
<b>Régulation</b>	
Régulation existante	Excel Honeywell / thermostats pneumatiques,
Type de régulation	Pneumatique JOHNSON
<b>Gestion</b>	
Type de gestion	centralisé
Qualité du contrat	satisfaisant
Qualité de la gestion	Satisfaisante techniquement / Suivi trimestriel non mis en place A mettre en place

### Nota :

A noter la possibilité pour le concessionnaire (SMADEC) de changer sa source de combustible prochainement (chaufferie biomasse). Au quel cas, les préconisations effectués au paragraphe 7 étude en approvisionnement énergétique serait à revoir car la valeur du bilan CO<sub>2</sub> de 0,313 kg de CO<sub>2</sub> / kWh baisserait fortement et le prix des calories pourraient être revue à la baisse. Nous préconisons aussi aux responsables de la Cité Administrative de se rapprocher de leur concessionnaire afin de s'informer de la politique d'approvisionnement en énergie à brève échéance de la SMADEC.

### 3.5. Analyse du système de climatisation

Matériel installé :

1 groupe frigorifique – Marque TRANE – 523 kW – Type CGWD 214 E

Fluide frigorigène R 22 (108 kg)

1 groupe frigorifique – Marque TRANE – 1100000 fg/h Type CVGE 30

Fluide frigorigène R 134a

2 tours aéroréfrigérantes WESPER BPC 60

#### Rappel réglementaire

Le règlement du 29 juin 2000 (n° 2037/2000/CE) relatif aux substances appauvrissant la couche d'ozone révisé en profondeur ce précédent règlement. En effet, la disponibilité plus précoce que prévu de technologies de substitution permet d'interdire progressivement la mise sur le marché et l'utilisation de substances (CFC, CFC entièrement halogénés, tétrachlorure de carbone, halons...), dont seule la production avait été interdite par le règlement du 15 décembre 1994. Ces interdictions concernent aussi les produits et équipements contenant ce type de substances. Le nouveau règlement fixe le gel de la production de HCFC et limite la mise sur le marché et l'utilisation des HCFC et des produits qui en contiennent.

Directement applicable depuis le 1er octobre 2000, ce règlement européen a établi un calendrier d'élimination :

*le 1er octobre 2000*, obligation de récupérer et de détruire les CFC contenus dans tout équipement de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur (sauf réfrigérateurs et congélateurs ménagers) ; interdiction d'utiliser des HCFC dans les réfrigérateurs et congélateurs ménagers, les systèmes de conditionnement d'air pour véhicules à moteur, l'obligation de récupérer les HCFC contenus dans tous les équipements puissants de réfrigération et de conditionnement d'air ; l'obligation de contrôler chaque année les fuites de substances réglementées...

*le 1er janvier 2001*, interdiction d'utiliser des CFC aux fins de maintenance et d'entretien des équipements de réfrigération et de conditionnement d'air ainsi que l'interdiction d'utiliser des HCFC pour la production de tout équipement neuf de froid ou de conditionnement d'air, sauf quelques exceptions...

*le 1er janvier 2002*, obligation de récupérer et de détruire les CFC contenus dans les réfrigérateurs et congélateurs ménagers et l'interdiction d'utiliser des HCFC dans tous les usages de solvants, excepté pour le nettoyage de précision de composants dans les applications aérospatiales et aéronautiques...

*le 1er juillet 2002*, interdiction d'utiliser des HCFC pour la production de tous les systèmes fixes de conditionnement d'air...

*le 1er janvier 2004*, interdiction d'utiliser des HCFC pour la production de tout équipement de froid ou de conditionnement d'air...

*le 1er janvier 2008*, obligation de réduire de 75 % la mise sur le marché de HCFC (de la base calculée en 2001),

*le 1er janvier 2009*, interdiction d'utiliser des HCFC dans tous les usages de solvants...

*le 1er janvier 2015*, interdiction d'utiliser des HCFC pour la maintenance et l'entretien de tout équipement.

En France, le décret du 7 décembre 1992, modifié par le décret du 30 juin 1998, rend obligatoire et intégrale la récupération des fluides frigorigènes dans les équipements frigorifiques et climatiques dont la charge en fluide frigorigène est supérieure à 2 kg.

La récupération intervient lors de l'installation, de l'entretien, de la réparation et de la mise au rebut des équipements. Ces décrets imposent, lors de ces opérations, la rédaction par l'opérateur d'une fiche d'intervention précisant l'opération réalisée. Cette fiche, cosignée par l'opérateur et par l'exploitant, doit être conservée par ce dernier pendant trois ans. Ces décrets rendent également obligatoire l'inscription en préfecture des entreprises intervenant sur les équipements frigorifiques et climatiques. Cette inscription est délivrée selon des critères de capacités professionnelles et de détention du matériel approprié à la récupération (conforme à la norme NFE 35-421).

## **Analyse**

Le système de climatisation présent à la Cité Administrative est satisfaisant au regard de la technologie mis en place. C'est le groupe frigorifique (527 kW) fonctionnant au R22 qui fonctionne en demi saison et lorsque les charges thermiques à combattre augmentent, c'est le groupe centrifuge (1,27 MW) qui prend le relais. Mais de nos jours, avec les technologies récentes (technologie INVERTER) un seul et unique groupe de production de froid pourrait être mis en œuvre. De plus, avec les COefficient de Performance (COP), des économies d'énergie seront envisageables. Le remplacement des deux groupes frigorifiques est envisageable mais des frais important de transformation seront à prévoir, et ne ce justifie pas compte tenu de l'état du groupe frigorifique fonctionnant au R 134a.

Suite au décret JORF n°158 du 10 Juillet 2007 concernant le R22 et sa disparition, la Cité Administrative doit envisager, d'ici 2012, de remplacer sa production frigorifique fonctionnant au R22.

Il est possible de changer uniquement le fluide frigorigène mais le nettoyage du compresseur est complexe, de plus on aurait une baisse d'efficacité de l'ordre de 30 % de la puissance frigorifique.

Nous vous préconisons le remplacement du groupe frigorifique TRANE type CGWD 214 E contenant 108kg de R22 d'une puissance de 527 kW par groupe frigorifique de marque CARRIER d'une puissance 540 kW.

#### 4 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET ÉLECTRIQUES DES UNITÉS 30HXC

##### 4.1 - Caractéristiques physiques 30HXC

30HXC		080	090	100	110	120	130	140	155	175	190	200	230	260	285	310	345	375	
Puissance frigorifique*	kW	286	312	348	374	412	449	509	541	598	651	699	812	897	985	1106	1204	1300	
Poids en fonctionnement	kg	2274	2279	2302	2343	2615	2617	2702	2712	3083	3179	3873	4602	4656	4776	5477	5553	5721	
Fluide frigorigène**		HFC-134a																	
Circuit A	kg	33	33	32	31	49	51	48	54	54	70	92	115	117	132	109	96	119	
Circuit B	kg	34	34	30	35	52	47	48	57	50	70	68	63	75	80	106	109	137	
Huile ***		Huile polyolesther CARRIER SPEC: PP 47-32																	
Circuit A/B	l	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	17/17	30/17	30/17	30/17	30/17	34/34	34/34	34/34	
Compresseurs †		Bi-vis semi-hermétique Power *																	
Circuit A†	Taille	39	46	46	56	56	66	80	80	80	80+	66/56	80/56	80/80	80+/80+	80/66	80/80	80+/80+	
Circuit B†	Taille	39	39	46	46	56	56	66	66	80	80+	66	80	80	80+	80/66	80/80	80+/80+	
Régulation		PRO-DIALOG Plus																	
Nombre d'étages de puissance		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	10	10	10	
Puissance minimum	%	19	19	21	19	21	19	17	19	21	21	14	14	14	14	10	10	10	
Évaporateur		Évaporateur tubulaire avec tubes en cuivre ailetés intérieurement																	
Volume d'eau net	l	50	50	58	69	65	65	75	75	88	88	126	155	170	170	191	208	208	
Connexions d'eau		Raccordement Victaulic																	
Entrée et sortie	pouces	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	8	8	8	
Vidange d'eau et purge d'air	pouces	3/8 NPT																	
Pression max. de service côté eau	kPa	1000																	
Condenseurs		Condenseur tubulaire avec tubes en cuivre ailetés intérieurement																	
Volume d'eau net	l	48	48	48	48	78	78	90	90	108	108	141	190	190	190	255	255	255	
Connexions d'eau		Raccordement Victaulic																	
Entrée et sortie	pouces	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	8	8	8	8	8	8	
Vidange d'eau et purge d'air	pouces	3/8 NPT																	
Pression max de service côté eau	kPa	1000																	

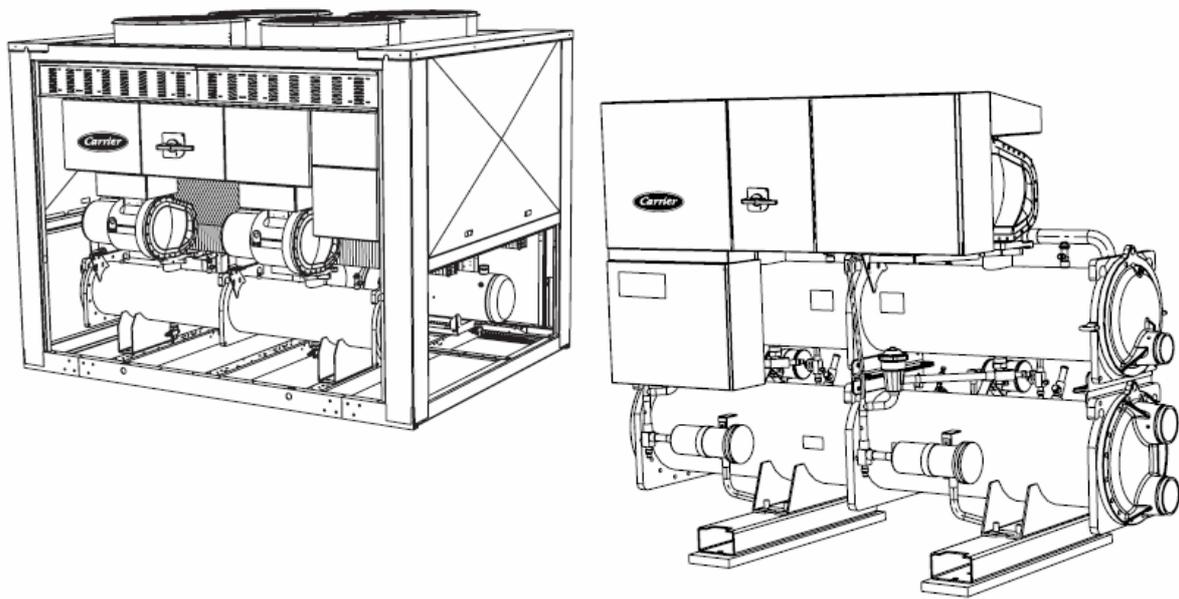
\* Conditions Eurovent normalisées: entrée-sortie eau évaporateur = 12°C/7°C, température d'entrée et de sortie d'eau du condenseur = 30°C/35°C.

Coefficient d'encrassement à l'évaporateur et au condenseur = 0,000044m<sup>2</sup> K/W

\*\* Poids donnés à titre indicatif. Pour connaître la charge de fluide de l'unité, se référer à la plaque signalétique de l'unité.

\*\*\* Pour les options 150 et 150A, les unités sont livrées avec 3 litres d'huile supplémentaires par compresseur.

† Taille nominale par compresseur. La taille du compresseur est égale à sa puissance frigorifique nominale exprimée en ton (1 Ton = 3,517 kW).



Source CARRIER

**Analyse de la préconisation :**

- Consommation de climatisation assurée par les groupes à eau glacée (hors pompe condenseurs et évaporateurs) : 32760 kWh/an
- Facteur d'économie énergétique : 40 % (différence de COP moyen :  $4,2 - 3 = 1,2$ , soit une augmentation d'efficacité de 40 %).
- Economie énergétique : 13104 kWh/an
- Tarif électricité : 0,075 € TTC/kWh
- Economie financière : 983 € TTC/an
- Investissement estimé à : 80000 € TTC (fourniture et main d'œuvre).
- Temps de retour : >80 ans.
- Temps de retour actualisé : > 100 ans

**Synthèse**

<b>Production</b>	<b>TRANE Type CGWD 214E</b>
Type d'énergie	électrique
Puissance installée	523 kW
Age de l'installation	Non déterminé
Performance de la source:	Satisfaisante / mais HCFC interdit à partir de 2012
<b>Production</b>	<b>TRANE Type CVGE 30</b>
Type d'énergie	électrique
Puissance installée	1,27 MW
Age de l'installation	Non déterminé
Performance de la source:	Satisfaisante
<b>Distribution</b>	
Type de distribution	Batteries froides sur CTA
Performance de la distribution	Satisfaisante
<b>Emission</b>	
Type d'émetteur	boite de détente mélangeuse Type ANEMOTHERM HUUTW48
Performance de l'émetteur	Satisfaisant mais vétuste
<b>Régulation</b>	
Régulation existante	Pneumatique
Type de régulation	Thermostats pneumatiques
<b>Gestion</b>	
Type de gestion	Centralisé
Qualité du contrat	Satisfaisant
Qualité de la gestion	Suivi trimestriel à mettre en place

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Remplacement TRANE Type CGWD 214E	80000	0,78	0,14	983	>80	>100	E

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

Chiffrage réalisé en partenariat avec la société CARRIER

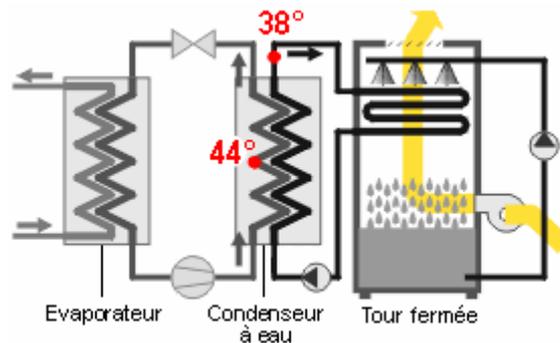
### • Autres préconisations

- Nettoyer les condenseurs à eau économise de 15 à 25 % de la consommation de la machine frigorifique

Détartrer les condenseurs à eau avec tour ouverte :

La mesure de l'écart entre la T°condensation et la T°eau à la sortie du condenseur est un autre indice d'encrassement du condenseur. Il doit être de l'ordre de 6 à 10 K.

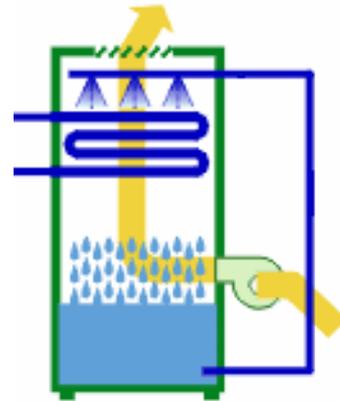
Si le condenseur est encrassé, le détartre par voie chimique. Par la suite, contrôler régulièrement le fonctionnement de l'installation d'adoucissement.



Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Détartrage réseau	1000	8,6	1,55	4210	<1	<1	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

- Modifier la régulation de la tour de refroidissement en arrêtant prioritairement les ventilateurs.



La puissance d'un ventilateur est proportionnelle au cube de sa vitesse. Aussi, réduire la vitesse du ventilateur de moitié, c'est diviser sa consommation par 8 !

Vérifier que la régulation de l'installation fonctionne normalement : elle doit agir

1. en priorité sur le nombre et la vitesse des ventilateurs (si ventilateur à 2 vitesses, par exemple; mais idéalement, choisir un ventilateur à vitesse variable.),
2. pour ensuite affiner en modulant la position de la vanne diviseuse (vanne de recyclage).

Toute l'installation de climatisation, et donc la tour de refroidissement, est dimensionnée pour les jours de canicule (par exemple : 30°C, 50% HR).

- On risque, les autres jours, de trop refroidir le condenseur et d'avoir une pression de condensation trop faible pour un bon fonctionnement du détendeur thermostatique.

Pour éviter ce problème, on rencontre deux types de régulation qui agissent sur :

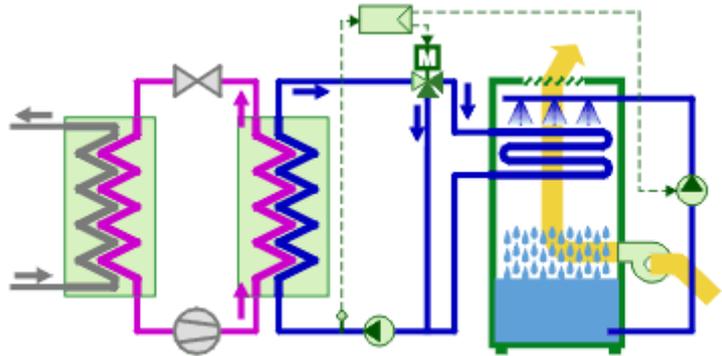
- Les ventilateurs de la tour de refroidissement,
- La vanne trois voies diviseuse.

## Diminuer la consommation des ventilateurs de la tour de refroidissement

La vanne trois voies diviseuse reste toujours ouverte à 100% lorsque les ventilateurs fonctionnent.

Si la température au condenseur est trop basse, les ventilateurs sont arrêtés progressivement, en cascade.

Si les ventilateurs sont arrêtés et que la température au condenseur reste trop basse, la vanne trois voies diviseuse recycle une partie de l'eau provenant directement du condenseur et la mélange avec celle de la tour de refroidissement.



Régulation en priorité sur la vanne trois voies

Cette régulation est à éviter !

La température de l'eau de sortie de la tour est systématiquement mélangée à l'eau venant du condenseur. Ceci est peu efficace : les ventilateurs tournent en permanence quels que soient les besoins de refroidissement. En dehors du gaspillage d'énergie, le coût de fonctionnement des ventilateurs est loin d'être négligeable

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhép/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Variation vitesse ventilateur tour aéroréfrigérante	2400	2,17	0,15	1060	>2	>3	G

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

- **Rehausser la température d'évaporation :**

Vérifier la qualité de l'échange thermique au niveau de l'évaporateur

Utiliser de l'eau glacée moins froide lorsque les besoins du bâtiment le permettent

Augmenter la température d'évaporation de 1°C génère en moyenne 3% d'économie :

- 2 % pour les compresseurs à piston,
- 3 % pour les compresseurs centrifuges,
- 4 % par degré pour les compresseurs à vis.

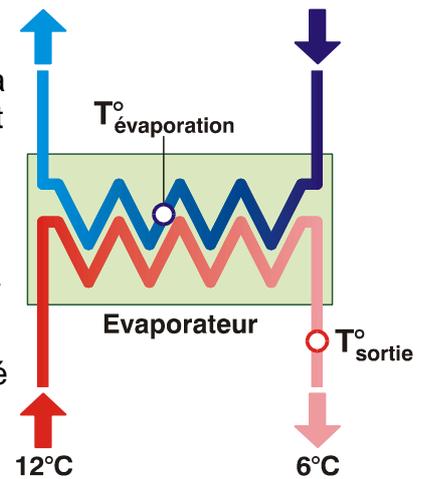
S'ils sont fortement encrassés, le nettoyage des évaporateurs permet d'économiser jusqu'à 15% de la consommation de la machine frigorifique.

Contrôler les évaporateurs

Il est utile de suivre l'écart entre la  $T^{\circ}$  évaporation et la  $T^{\circ}$  eau glacée en sortie d'évaporateur. En général, l'écart entre les deux doit rester inférieur à 6 à 10°C.

Si ce n'est pas le cas, inspecter l'évaporateur :

- Soit il est encrassé, ce qui entraîne une chute de rendement. Il convient alors de le détartrer chimiquement (acides forts).
- Soit la surface d'échange de l'évaporateur a été réduite (par exemple, en bouchant des tubes qui auraient éclaté sous l'effet du gel, suite à un fonctionnement de la machine frigo avec une irrigation en eau insuffisante).



Pour connaître la température d'évaporation à partir de la mesure de la basse pression, voici une table de correspondance entre la température et la pression relative (par rapport à la pression atmosphérique au moment de la lecture) lue sur le manomètre à l'aspiration de la machine frigorifique pour quelques fluides frigorigènes :

Température [°C]	Pression relative [bar]			Température [°C]	Pression relative [bar]		
	R22	R134A	R407c		R22	R134A	R407c
-20	1,43	0,31	1,79	10	5,78	3,12	6,77
-18	1,62	0,43	2,02	12	6,20	3,40	7,25
-16	1,83	0,56	2,25	14	6,64	3,70	7,75
-14	2,05	0,69	2,50	16	7,10	4,01	8,27
-12	2,28	0,84	2,77	18	7,58	4,34	8,81
-10	2,52	0,99	3,05	20	8,08	4,68	9,38
-8	2,78	1,15	3,34	25	9,42	5,61	10,91
-6	3,05	1,33	3,65	30	10,91	6,66	12,60
-4	3,33	1,51	3,98	35	12,55	7,82	14,46
-2	3,63	1,71	4,32	40	14,35	9,11	16,50
0	3,95	1,91	4,68	45	16,33	10,53	18,75
2	4,28	2,13	5,06	50	18,49	12,10	21,20
4	4,63	2,36	5,46	55	20,84	13,83	23,87
6	5,00	2,60	5,88	60	23,40	15,73	26,78
8	5,38	2,85	6,31	65	26,17	17,80	29,94

Utiliser de l'eau glacée moins froide à certains moments de l'année

Réaliser une température glissante sur le départ de l'évaporateur.

Par exemple, adopter les températures de départ d'eau suivantes : 6°C en été, 9°C en mi-saison, 12°C en hiver.



Les machines frigorifiques sont commandées par la température de départ de l'eau glacée, mais souvent aussi par la température de retour ! D'où parfois une

confusion qui fait que la température de départ de l'eau glacée (la seule importante) est trop haute ou trop basse.

Pour que cette solution convienne, il faut :

- Que la consommation en froid du bâtiment soit liée à l'évolution de la température extérieure. C'est le cas lorsque les besoins de réfrigération proviennent du traitement de l'air neuf et de l'ensoleillement de façades orientées à l'est ou à l'ouest, plutôt que des apports internes (informatique, l'éclairage, personnes, etc.) qui sont constants, ou de l'ensoleillement de façades orientées au sud (l'ensoleillement y est plus important en mi-saison qu'en été, et n'est donc pas du tout lié à la température extérieure).

### Encrassement des évaporateurs

Si les évaporateurs s'encrassent, l'échange de chaleur entre la machine frigorifique et le circuit d'eau glacée s'effectue moins bien, la température d'évaporation diminue, le compresseur travaille d'avantage, et...le rendement de la machine frigo diminue.

### Diminution de la température moyenne de l'eau glacée

Le bureau d'études a dimensionné l'installation afin d'assurer la puissance nécessaire en période de canicule (+/- 32°C, ciel serein). Par exemple, il a prévu pour la boucle d'eau glacée le régime : départ 7°C - retour 12°C. Or, il n'est pas nécessaire de refroidir l'eau glacée à cette température toute l'année !

Augmenter la température de l'eau glacée lorsque c'est possible permet de diminuer le travail du compresseur et d'augmenter l'efficacité de la machine frigorifique.

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh/ep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
Augmentation température eau évaporateur groupe centrifuge	0	1,1	0,07	558	immédiat	immédiat	G
Augmentation température eau évaporateur groupe piston	0	0,1	0,01	50	immédiat	immédiat	G
Détartrage groupe centrifuge	1000	3,8	2,6	1860	>1	>1	G
Détartrage groupe piston	1000	0,5	0,04	246	>1	>1	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

- **Améliorer la régulation de la machine frigorifique**

limiter les heures de fonctionnement

N'enclencher le groupe de froid que sous un certain seuil de température extérieure

Veiller à l'emplacement correct de la sonde extérieure

Couper l'alimentation du chauffage des carters pendant la période d'arrêt de la réfrigération

Toutes ces mesures sont directement rentables puisqu'elle ne demande aucun investissement

Sauf besoin de froid particulier en-dehors des heures d'occupation, arrêter la production d'eau glacée la nuit et le week-end.

Attention : l'horloge ne doit pas redémarrer l'installation pendant les heures pleines été pour limiter le coût, on peut envisager d'anticiper la période de démarrage ("pré-refroidir" le bâtiment avant l'arrivée des occupants) pour profiter du prix du courant de nuit. Cette mesure n'est intéressante que si elle permet de retarder l'enclenchement de la machine frigo en journée

Un moyen pour diminuer les besoins de froid en été est d'organiser un free cooling mécanique ce qui est déjà le cas à la Cité Administrative.

Sauf besoin de froid spécifique non lié à la température extérieure (zones internes, locaux particuliers comme une salle informatique,...), n'enclencher le groupe de froid que pour un seuil de température extérieure minimal suffisant (par exemple 13°C).

Si les besoins de froid d'hiver sont limités à un local ou un ensemble déterminé de locaux et si une installation de refroidissement locale de secours existe (splits, par exemple), utiliser ce système indépendant en hiver afin d'arrêter le système de refroidissement principal, c'est lui qui sera le secours en cas de défaillance des splits.

Si le groupe de froid n'est enclenché qu'au dessus d'un seuil de température, veiller à l'emplacement correct de la sonde extérieure : pas en plein soleil ni au-dessus d'un appareil dégageant de la chaleur.

Couper l'alimentation du chauffage des carters pendant la période d'arrêt de la réfrigération (hiver).



Une période de chauffage du carter de 24 h est nécessaire avant le démarrage du compresseur

limiter les heures de fonctionnement

A l'aide d'une horloge, il est utile de minimiser le temps de marche du système de réfrigération en fonction des périodes d'occupation du bâtiment et de la charge de refroidissement.

En été, l'intérêt d'arrêter ou non l'installation la nuit dépend de l'inertie du bâtiment :

Si le bâtiment est très peu inerte (faux-plafonds, sols recouverts de tapis plain, cloisons internes en plâtre,...), l'installation doit être stoppée la nuit.

Par contre, un bâtiment très inerte (éléments de structure lourds apparents comme plafond en béton, carrelage, cloisons internes en béton ou en briques,...) accumulera dans ses parois une quantité importante de chaleur. Un free cooling de nuit mécanique, ou éventuellement, un fonctionnement nocturne de la climatisation (à bas prix du kWh électrique) permettra de le décharger de la chaleur excédentaire avant le début de la journée suivante. A défaut, la chaleur devra être évacuée au matin, entraînant une puissance appelée supplémentaire.

Si l'on dispose d'un système de régulation numérique, l'horaire de fonctionnement peut être dépendant de la température extérieure. Par période de forte chaleur, on pourra alors laisser fonctionner les équipements 24h/24.

Seuil de fonctionnement selon la température extérieure

Il est possible de n'enclencher le groupe de froid que pour un seuil de température extérieure minimal suffisant. Par exemple, la machine frigorifique ne peut s'enclencher que si la  $T_{ext}$  dépasse 25°C. Ce verrouillage par un thermostat peut bloquer l'enclenchement en période de mi-saison, s'il est remarqué que la surchauffe intérieure est passagère et sera traduite en économie de chauffage une fois le soleil reparti.

Coupure de l'alimentation des carters des compresseurs à pistons

Lorsque le compresseur n'est pas en service, un réchauffage du carter est réalisé. En effet, par faibles températures ambiantes, l'huile absorbe de la vapeur du fluide frigorigène. Comme cette huile se trouve principalement dans la cuvette du carter, il y aura à cet endroit une concentration importante d'agent frigorigène dans l'huile. Lorsque l'installation est mise en service, une très rapide chute de pression apparaît, l'agent frigorigène tente de se vaporiser et de se séparer de l'huile. Celle-ci commence à mousser, ce qui peut provoquer des coups de liquide et un manque d'huile dans le compresseur. Afin d'empêcher l'huile d'absorber du fluide frigorigène, la cuvette du carter est classiquement, lors du déclenchement de l'installation, chauffée en permanence à l'aide d'une résistance électrique.

Malgré que cela ne représente qu'une résistance de 100 à 200 Watts, son fonctionnement permanent justifie l'intérêt de couper l'alimentation du chauffage des carters pendant la période d'arrêt de la réfrigération (hiver).

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Amélioration de la régulation	0	2,1	0,15	1000	immédiat	immédiat	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

## ▪ Réduire le débit d'eau glacée dans l'installation

Sélectionner une vitesse inférieure sur les pompes avec sélecteur

Lors du remplacement des pompes, revoir leur dimensionnement

Si le débit de l'installation est 2x supérieur au débit nécessaire, les pompes consomment environ 6x trop!

*Comment savoir si le débit est adéquat ?*

Premier indice : évaluer le débit à travers la pompe

Si on dispose de la courbe de fonctionnement de la pompe :

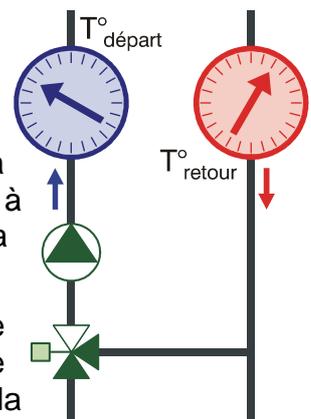
- Mesurer la différence de pression aux bornes de la pompe, et en déduire le débit sur la courbe caractéristique de la pompe,
- Vérifier en mesurant le courant absorbé.

Cette mesure n'a de sens que si on dispose également des schémas techniques reprenant les débits nominaux prévus lors du dimensionnement de l'installation.

Deuxième indice : la température de l'eau de retour

L'installation de refroidissement est généralement dimensionnée pour fonctionner avec un régime d'eau 6°C-12°C, ou 5°C-11°C.

- Mesurer la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur lorsque la machine frigo fonctionne à pleine charge. Si cette valeur est inférieure à 5 ou 6°C, la pompe du circuit primaire est surdimensionnée
- Par temps très chaud, mesurer la différence de température entre le départ et le retour de chaque circuit secondaire. De la même façon, si une valeur est inférieure à 5 ou 6°C, la pompe de ce circuit est surdimensionnée



Exemple : si en plein été, le régime de fonctionnement du circuit est 7°C-9°C, le débit est deux fois trop important, et la consommation, du circulateur 8 fois trop importante .

*Comment diminuer un débit trop important ?*

- Si les pompes possèdent différentes vitesses commutables (pompes à 2 ou 3 vitesses avec sélecteur ou couvercle de bornier pouvant être monté en diverses positions), réduire la vitesse manuellement, soit de façon permanente, soit en fonction de la saison.

Cette amélioration ne coûte rien et peut être faite à l'essai. Si des plaintes apparaissent la situation d'origine peut facilement être rétablie.



Attention! Sur le circuit primaire, le débit ne peut être réduit en dessous d'un certain seuil. En effet, s'il est trop faible dans l'évaporateur, il y a risque de gel! Il convient donc d'être prudent : connaître le débit nominal de dimensionnement et le débit réel, ou faire appel à la société produisant la machine frigo.

- Si la réduction de vitesse n'est pas possible, on peut envisager de remplacer le circulateur surdimensionné.
- Si le circulateur n'est pas remplacé dans l'immédiat, éviter à tout prix que, lors du remplacement forcé, la sélection du nouvel équipement se limite à choisir un circulateur présentant les mêmes dimensions afin de pouvoir s'insérer sans difficulté dans l'emplacement libéré par l'appareil défectueux. Idéalement, on choisira un circulateur avec variateur de vitesse : en le plaçant, il sera possible de diminuer progressivement la vitesse (sans modifier la température de l'eau), jusqu'à atteindre celle qui assurera une distribution uniforme.

Les pompes de circulation des groupes froids sont souvent surdimensionnées.

En mi-saison, quand la demande de froid est faible, le régime 7°C -12°C tourne, par exemple, en 7°C - 9°C. Ceci signifie que le débit est plus important que nécessaire. Il en résulte :

- une diminution du rendement du circulateur
- une surconsommation électrique
- une transmission de chaleur vers l'eau glacée plus importante que nécessaire
- parfois des problèmes hydrauliques

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Réduire le débit d'eau glacée dans l'installation	0	0,07	0,04	35	immédiat	immédiat	G

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

- **Augmenter la température du réseau d'eau glacée**

Utiliser de l'eau glacée moins froide

Lorsque les besoins du bâtiment diminuent, en mi-saison et en hiver,  
Toute l'année si les unités terminales sont surdimensionnées.

La diminution des pertes du réseau peut être diminuée de 40% si la température moyenne de l'eau passe de 8°C à 14°C, dans une ambiance à 22°C.

Au niveau des batteries froides, l'augmentation de la température de l'eau glacée permet d'économiser de l'ordre de 30% en limitant la déshumidification.

3 possibilités pour diminuer la température de l'eau glacée :

- réguler la température de départ d'eau
- moduler la température d'eau des circuits
- limiter le débit d'eau utilisé

si les unités terminales sont surdimensionnées (si elles ont été largement surdimensionnée au départ, ou si les charges internes ont diminué suite au remplacement des écrans d'ordinateurs traditionnels par des écrans à cristaux liquide, par exemple), il est possible que la régulation de la température d'eau de la mi-saison soit encore suffisante en été. Attendre donc les premières plaintes de manque de refroidissement pour modifier la température de consigne sur un circuit...

Le bureau d'études a dimensionné l'installation afin d'assurer la puissance nécessaire en cas de canicule (+/- 30 ou 32°C, 50% HR, ciel serein). Par exemple, il a prévu pour la boucle d'eau glacée le régime : départ 6° - retour 12°. Il n'est pas nécessaire de maintenir l'eau glacée à cette température toute l'année !

Augmenter la température de l'eau glacée lorsque c'est possible permet de :

- Diminuer les pertes de la boucle d'eau glacée

Les pertes dépendent de la différence de température entre le bâtiment (22°...24°C) et la température de l'eau. En rehaussant la température de départ de l'eau, on diminue ce Delta T° et donc les pertes.

- Limiter la déshumidification de l'air

L'air ambiant condense en dessous de 12°C environ. De l'ordre de 25 à 30% de l'énergie du compresseur est donc consacrée à déshumidifier l'air dans les échangeurs, déshumidification qui souvent n'est pas nécessaire. Faire travailler l'eau glacée au régime 12° - 17° est beaucoup plus efficace. .

- Augmenter le confort des occupants

Plus la température de l'eau glacée est haute, plus le confort des occupants augmente (température d'air plus haute).

- Diminuer le travail du compresseur (uniquement lorsqu'on rehausse la température d'évaporation).

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
Augmenter la température du réseau d'eau glacée	0	13	0,9	6300	immédiat	immédiat	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

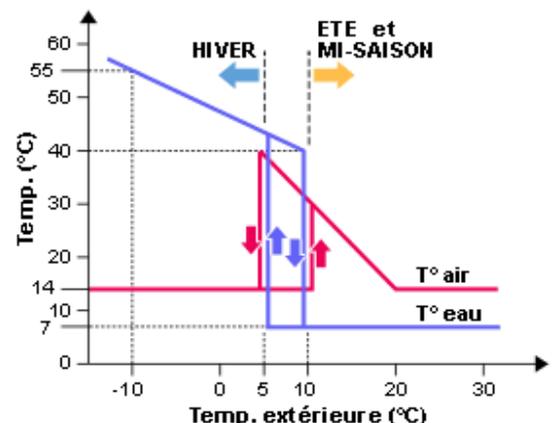
- **Améliorer l'efficacité des ventilo-convecteurs**



L'économie potentielle de ces mesures dépend de nombreux facteurs comme la puissance des ventilo-convecteurs, l'état de la situation initiale, les besoins en chaud et en froid des différents locaux. Mais elles demandent pas ou très peu d'investissement et sont donc directement rentables.

- Nettoyer les filtres tous les 6 mois
- Si les ventilo-convecteurs sont de type "3 tubes", favoriser le fonctionnement 2 tubes (tout chaud ou tout froid), avec une régulation organisant le "change over" avec souplesse :
  - en hiver, alimenter les ventilo-convecteurs en eau chaude uniquement,
  - en été, alimenter les ventilo-convecteurs en eau froide uniquement.

Pour faciliter ce type de fonctionnement, on peut envisager un schéma de régulation similaire à celui repris ci-contre : une seule température d'eau est envoyée dans le réseau qui fonctionne comme une installation 2 tubes,



mais la température de l'air pulsé dans les locaux est adaptée à la température extérieure.

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Améliorer l'efficacité des ventilo convecteurs	0	0,43	0,03	210	immédiat	immédiat	G

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

### 3.6. Analyse du système de ventilation

#### Caractéristiques :

Le système de ventilation est assuré par 3 centrales de traitement d'air.

- 1 centrale basse pression / débit 88730 m<sup>3</sup>/h
- 1 centrale haute pression / débit 145715 m<sup>3</sup>/h
- 1 centrale Salle de réunion / débit 13200 m<sup>3</sup>/h
- 1 centrale restaurant air repris/ débit 17500 m<sup>3</sup>/h
- 3 tourelles d'extraction / débits cumulés 31000 m<sup>3</sup>/h
- 3 ventilateurs d'extraction archives / débits cumulés 12900 m<sup>3</sup>/h
- 1 ventilateur axial de reprise 77000 m<sup>3</sup>/h
- 1 ventilateur axial d'extraction salle de réunion 11750 m<sup>3</sup>/h
- 1 ventilateur axial d'extraction groupe électrogène 23000 m<sup>3</sup>/h
  
- 1 grille de prise en terrasse
- 6 registres motorisés
- 4 caissons de mélange
- 4 batteries chaudes
- 3 batteries froides
- 2 humidificateurs d'air avec pompes et pares gouttelettes
- 6 ventilateurs dont 2 de 75 kW
- 1 piège à son

#### Analyse

Nous n'avons pas pu réaliser de mesures de débit d'air significatives et nous partons sur des hypothèses de débit d'air tirées notamment du synoptique « schéma de principe CLIM N°70 ».

Le système est en bon état de fonctionnement et la maintenance est assurée avec soin.

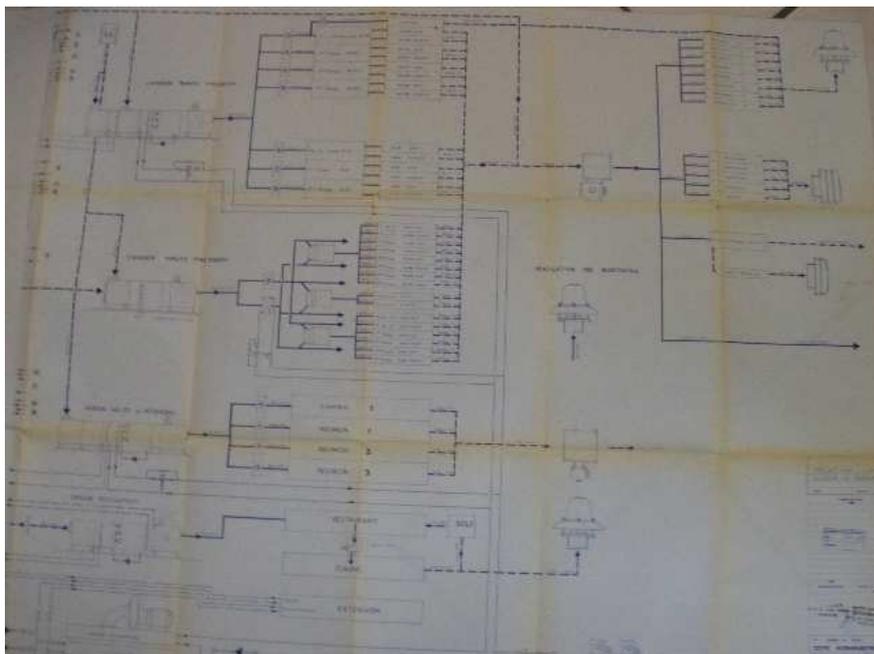
Nous avons pu relevé lors de notre visite des défauts d'étanchéités au niveau des caissons constituant la CTA HP. Effectivement, la dalle basse sur laquelle est posée cette CTA, est en train de légèrement s'affaisser provoquant un jeu au niveau de la liaison des différents caissons. L'étanchéité a été reprise grâce à de la patte mais cette anomalie est à surveiller (cf phase G gros entretien)

Défaut d'étanchéité



Le matériel de marque AIR TREATMENT est en fonctionnement depuis la mise en service du bâtiment. Son efficacité est satisfaisante compte tenu de sa technologie.

Le renouvellement d'air est assuré par des caissons de reprise et d'air neuf. Ce renouvellement se fait en fonction de consignes de température et d'humidité et non par des détecteurs de CO. Lors de la phase E1 et des documents mis à notre disposition, nous avons estimé le renouvellement d'air à 1 vol/h soit 58000 m<sup>3</sup>/h. Sur les synoptiques mise à notre disposition, nous obtenons une valeur d'air extrait d'environ 82000 m<sup>3</sup>/h. Ce renouvellement d'air constitue un poste très important des déperditions du bâtiment (cf rapport phase E1). Il n'y a pas de récupération de chaleur sur l'extraction.



*Synoptique des réseaux de distribution*

A l'origine, le système a été dimensionné pour satisfaire la présence d'un nombre beaucoup plus important de salarié, de l'ordre de 750 personnes en 1975. Le système est calibré en fonction des données initiales. Mais nous avons noté une baisse des effectifs de l'ordre de 47% en la date de mise en service du bâtiment et aujourd'hui.

Si nous appliquons la réglementation actuelle, le renouvellement d'air hygiénique imposé serait de l'ordre de 12000 m<sup>3</sup>/h soit 8 fois moins. A l'époque de construction du bâtiment, les préoccupations énergétiques n'étaient pas ou peu prise en compte.

Avec le matériel installé actuellement et la régulation mise en place, peu de moyens d'actions peuvent être mise en œuvre pour diminuer ces renouvellements d'air. C'est tout le système qui est à revoir aussi bien la distribution que l'émission et les reprises. Seul une étude particulière de faisabilité permettra aux responsables de la Cité Administrative de statuer sur la possibilité de changer le système ou de l'optimiser.

Limiter le taux d'air neuf diminue les besoins de chauffage ainsi que la consommation électrique du ventilateur de rotation. Les économies peuvent donc être importantes.

Une étude spécifique et une étude de faisabilité est recommandée pour validée ce point.

Les débits réglementaires de renouvellement d'air donnés par l'arrêté du 15 avril 1988 sont pour les bureaux de 18 m<sup>3</sup>/h par occupant.

Nous avons environ 400 personnes travaillant sur le site de la Cité soit 7200 m<sup>3</sup>/h sans prendre en compte les usages des sanitaires et des archives. Le tout cumulé, nous arrivons à des débits de 12150 m<sup>3</sup>/h

Les débits actuellement mis en place à la Cité sont pour l'air neuf 93000 m<sup>3</sup>/h et pour l'extraction de l'ordre de 82000 m<sup>3</sup>/h.

Le système a été dimensionné sans prendre en compte la réglementation actuelle, ce qui, de part les débits mis en jeu, constitue un point de disfonctionnement notable.

Par contre, il est difficile d'estimer les économies d'énergie dans la mesure où nous ne connaissons pas les taux de reprise et d'air neuf pendant les différentes périodes d'exploitation des CTA.

Toutefois, nous pouvons partir sur certaines hypothèses nous permettant d'apprécier les économies de chauffage et de ventilation pour une diminution des débits d'air :

Débit d'extraction actuel : 82000 m<sup>3</sup>/h soit environ 1,8 vol/h (référence issue des archives et du synoptique « schéma de principe CLIM N°70 »)

Consommation année 2008 des calories provenant du réseau de chaleur ; 1243170 kWh

Situation de départ pour 1,8 vol/h

Débit d'air : 82000 m<sup>3</sup>/h

Vitesse du ventilateur : 2 000 tr/min

Puissance absorbée par les ventilateurs : 161 kW

Consommation du ventilateur : 161 kW x 3 200 h = 515200 kWh

Consommation réchauffage de l'air : 0,34 Wh/m<sup>3</sup>.°C x 82000 m<sup>3</sup>/h x (21 – 7) °C x 3 200 h  
= 1249024 kWh ( valeur proche de la réalité)

Les effectifs étant fluctuants nous partons sur l'hypothèse d'un renouvellement d'un volume par heure sachant que le débit réglementaire pour 400 personnes s'élève à environ 12000m<sup>3</sup>/h

Situation pour 1 vol/h

Débit d'air : 45555 m<sup>3</sup>/h

Vitesse du ventilateur : 1111 tr/min

Puissance absorbée par les ventilateurs : (1 111 / 2 000)<sup>3</sup> x 161 = 27,6 kW

Consommation du ventilateur : 27,6 kW x 3 200 h = 88320 kWh

**Economie en électricité : 515200 – 88320 = 426880 kWh  
soit 83 %**

Consommation réchauffage de l'air : 0,34 Wh/m<sup>3</sup>.°C x 44100 m<sup>3</sup>/h x (21 – 7) °C x 3 200 h  
= 671731 kWh

**Economie en chauffage : 1249024 – 671731 = 577293 kWh  
soit 46 %**

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhép/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Diminution des débits de renouvellement d'air	négligeable	100	15,3	87000	immédiat	immédiat	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

Cette préconisation met en évidence la priorité de prendre en compte les débits d'air mis en jeu dans les CTA.

## Synthèse

Type du système de ventilation	
Naturelle	non
Mécanique	oui
Hybride (puits canadien, ...)	non
Pour les systèmes mécaniques	
Puissance des ventilateurs	240 Kw
Débits d'extraction cumulés (m3/h)	82000
Durée de fonctionnement	Compris entre 8760 et 3520 h
Gestion	
Type de gestion	centralisé
Qualité du contrat	satisfaisant
Qualité de la gestion	satisfaisante au regard de la technologie

### 3.7. Remarques complémentaires

La Cité Administrative a été conçue à l'origine pour abriter des plateaux « ouvert » et « paysagé ». Nous avons constaté lors des relevés de la phase E1 un cloisonnement très important : 6 plateaux sur 7. Visiblement, ce cloisonnement a été effectué sans prendre en compte la distribution du système de ventilation. A titre d'exemple, nous avons constaté dans des bureaux, la présence de linéaires de soufflage mais sans dispositifs extraction et, au contraire des dispositifs d'extraction sans amenée d'air soufflé. Ces linéaires n'ont à l'origine pas été dimensionnés pour satisfaire le bon débit du nouveau local. Il en résulte un inconfort notable et l'occupant, subissant cet effet « douche froide ou chaude » n'a qu'une seule alternative ne pouvant diminuer le débit de soufflage, qui consiste à condamner cette bouche le plus souvent par du scotch. Le débit ne passant plus, celui-ci est reporté vers un autre diffuseur. Il en résulte un inconfort plus important sur le local sur lequel le réseau est pris ( bruit amplifié, débit encore plus important...).

Le système de ventilation est bien conçu d'un point de vue thermique, les débits cohérents, mais le réaménagement des plateaux fait qu'il n'est plus adéquat pour l'utilisation faite à ce jour.

2 alternatives s'offrent à la Cité Administrative :

- Réaménagement des plateaux avec la priorité faite au système de ventilation pour garantir un confort acceptable aux usagers (Etude VOXOA - entretien téléphonique du 25 mars et prise en compte de ce point dans la phase GROS ENTRETIEN- G2)
- Reprise du système de ventilation en fonction des nouvelles implantations des bureaux, impliquant une modification en profondeur

du système de chauffage/rafraîchissement. A ce jour, seul une étude de faisabilité complète réalisée par un bureau d'étude fluide permettra de juger de la faisabilité de la modification du système. Le passage des gaines des réseaux HP, BP et reprise peut entraîner des modifications de la structure du bâtiment.

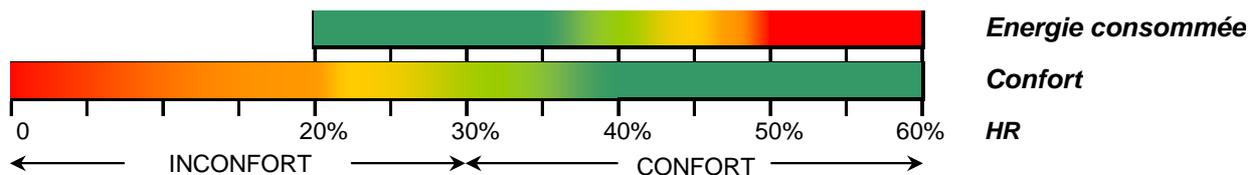
Concernant la prise de nos mesures, elle s'est révélée infructueuse car les réseaux de diffusions sont totalement déséquilibrés. De plus, la configuration actuelle des CTA, ne nous a pas permis de réaliser des mesures efficaces et cohérentes à l'anémomètre à fil chaud. Nous nous sommes ainsi reportés aux informations se trouvant sur les différents synoptiques mis à notre disposition.

▪ Autres préconisations

**Abaisser la consigne d'humidification à 40%**

Passer d'une consigne de 50% HR à 40%HR permet d'économiser plus de 50% du coût annuel de l'humidification de l'air. Et ça ne coûte que le temps nécessaire pour changer la consigne !!

Un occupant est peu sensible au taux d'humidité : il peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau !



L'inconfort n'apparaît que lorsque l'humidité relative descend en dessous de 30 % : augmentation de l'électricité statique, gêne et irritation de la gorge,...

L'humidification coûte cher en énergie. Pour un confort optimal (à une température de l'air aux environs de 22°C), on peut fixer la consigne d'humidification à 40 %. Maintenir une humidité relative de 50%, comme on le rencontre couramment, n'est pas nécessaire.

Imposer un niveau d'humidité fixe n'est nécessaire que pour des cas particuliers :

- salle d'opération ou de réanimation en milieu hospitalier,
- production industrielle (imprimerie, textile,...), musées...

Dans des bureaux et salles de réunion, laisser "flotter" le niveau de consigne entre, par exemple, 40 et 60 %, n'atténue aucunement le confort.

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Abaisser la consigne d'humidification à 40%	0	0,34	0,02	436	immédiat	immédiat	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

- **Organiser un free cooling mécanique**

Vérifier que la régulation de l'installation permet de valoriser l'air neuf :

- en journée quand l'air extérieur est plus frais que l'ambiance,
- la nuit pour rafraîchir la structure du bâtiment

L'économie est obtenue par la diminution ou l'arrêt de la machine frigorifique, remplacée par l'effet refroidissant de l'air neuf extérieur. L'économie est très importante mais difficilement chiffrable. On peut parler d'un ordre de grandeur de 30% d'économie sur la consommation de froid, si au départ la régulation de l'installation ne valorise pas l'air neuf.

Attention, ce n'est pas "tout bénéfique" : une consommation supplémentaire du ventilateur peut en résulter, si bien que l'on sera attentif à ne pas enclencher le ventilateur tant que la température extérieure n'est pas 6 à 8 K plus froide que l'ambiance, surtout si le réseau présente des pertes de charge élevées.

La société COFELY procède déjà au free-cooling, mais celui ci pourrait être optimisé.

Le principe du free-cooling diurne consiste à valoriser au maximum l'air frais extérieur disponible, lorsque le bâtiment est en demande de froid, avant d'utiliser la machine frigorifique.

Le principe du free-cooling nocturne est d'emmagasiner la chaleur de la journée dans la masse du bâtiment (murs, plancher, ...) et de l'évacuer durant la nuit au moyen d'une ventilation intensive. Cela permet de diminuer la demande de froid pendant la journée

Une installation "tout air" est particulièrement bien adaptée pour une utilisation optimale des énergies gratuites par free-cooling, encore faut-il que sa régulation permette de valoriser effectivement l'air froid extérieur gratuit.

- En hiver et en mi-saison, adapter la régulation pour que les registres d'air neuf s'ouvrent à 100 % lorsque la température extérieure est inférieure à la consigne ambiante et que les locaux sont en demande de froid

Les zones à rafraîchir seront alimentées avec de l'air frais sans nécessiter l'enclenchement des groupes frigorifiques. Le régulateur de température doit organiser l'ouverture du registre d'air neuf, en comparant la température de l'air repris et de l'air neuf.

- En été, si le bâtiment a une certaine inertie, une ventilation nocturne peut décharger le bâtiment de la chaleur accumulée en journée.

La ventilation nocturne sera commandée en fonction :

- d'un horaire :

La ventilation mécanique nocturne permet de refroidir le bâtiment à peu de frais (grâce au tarif électrique de nuit) puisqu'elle ne nécessite pas le fonctionnement de la machine frigo. Néanmoins, elle n'est pas totalement gratuite, car les ventilateurs tournent. Il convient donc de limiter la durée du

free-cooling aux quelques heures les plus efficaces, en fin de nuit, par exemple, à partir de 3h00.

- de la température extérieure maximale la journée précédente :

On n'enclenchera le free-cooling de nuit que si la journée a été très chaude, par exemple, si la température a dépassé 25°C.

- de la température extérieure :

Pour que le free-cooling soit efficace (compte tenu de la consommation des ventilateurs), il faut que l'air extérieur ait au moins 6°C à 8°C de moins que l'ambiance.

- de la température intérieure d'un local témoin :

La ventilation doit être arrêtée si la température intérieure devient trop basse. La température dans les locaux à l'arrivée des occupants ne doit pas être inférieure à 20°C. La ventilation sera dès lors arrêtée à 19°C, au minimum 1 à 2 heures avant l'arrivée des occupants afin que la température ambiante remonte à 20°C par restitution de la chaleur des murs.

Remarque : les chiffres (températures, heure de début de ventilation) proposés ci-dessus peuvent être choisis dans un premier temps. Ils devront ensuite être adaptés, par essais et erreurs, au bâtiment et à l'éventuelle réaction des occupants.

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhép/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
Optimisation du free-cooling	0	1,47	0,1	720	immédiat	immédiat	G

15 % du fonctionnement des ventilateurs CTA en plus

30 % du fonctionnement des groupes frigorifiques en moins

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

## ▪ Équilibrer le réseau

A défaut d'organes de réglage aux bouches de pulsion et en tête des branches, insérer des diaphragmes de réglage dans les conduits

Équilibrer les débits d'air pulsés

La rentabilité de l'opération dépend fortement de la situation : elle peut permettre soit une amélioration de confort, soit une diminution des débits traités d'où d'importantes économies présumées d'énergie.

Une étude de faisabilité est nécessaire dans ce cas.

Il existe dans le bâtiment des problèmes de confort dus à la pulsion d'air, il est nécessaire de revoir l'équilibrage du réseau.

Mode opératoire :

L'équilibrage est réalisé dans les conditions normales de fonctionnement, soit :

- avec portes et fenêtres extérieures fermées,
- avec portes intérieures fermées, sauf si elles sont habituellement ouvertes,
- avec l'extraction en fonctionnement dans le cas d'un système double flux.

1. Connaître les débits nominaux qui doivent être respectés à chaque bouche :

Soit ils sont repris sur un plan ou un schéma datant de l'installation du système, soit il sera nécessaire de les recalculer.



2. S'il n'existe pas d'organes de réglage des débits aux bouches et en tête des branches, des diaphragmes de réglage peuvent être insérés dans les conduits.

3. Ouvrir tous les organes d'équilibrage du réseau (bouches, têtes des branches). Maintenir le registre du ventilateur à une position proche de la fermeture pour ne pas dépasser la limite de charge du ventilateur (à contrôler par la mesure du courant absorbé par le moteur à l'aide d'une pince ampère métrique sur le câble d'alimentation). Dans les réseaux à débit variable, placer les points de consigne des régulateurs de débit à leur valeur maximale. Réaliser un premier ajustement des débits : régler approximativement le ventilateur pour que son débit soit légèrement supérieur (10 %) à sa valeur nominale, approcher l'équilibrage en tête des branches par un premier réglage grossier. Cette opération permet d'arriver plus facilement au bon résultat. Équilibrer les débits sur une branche, de préférence la branche la plus défavorisée.

4. Repérer la bouche la plus défavorisée\*, mesurer son débit, laisser son réglage ouvert à 100 %, puis régler le débit de toutes les autres bouches de la branche à un débit proportionnel à celui de la bouche la plus défavorisée. Tous les débits obtenus seront incorrects en valeur mais corrects dans les proportions entre eux. \* On entend par "bouche la plus défavorisée", celle qui est soumise à la plus faible pression différentielle pour des débits réglés à leur valeur nominale : c'est souvent la bouche la plus éloignée, parce que le trajet le plus long entraîne les pertes de charges les plus élevées. Mais cela peut être parfois l'avant-dernière bouche qui aurait un débit plus élevé et donc également des pertes de charges plus importantes.

Chaque fois qu'on modifie le réglage d'une des bouches, le débit des autres bouches est modifié. Il faut travailler à deux, l'un restant à la dernière bouche durant tout le réglage de la branche et communiquant à son collègue l'évolution du débit...



Procéder de même pour chaque branche.

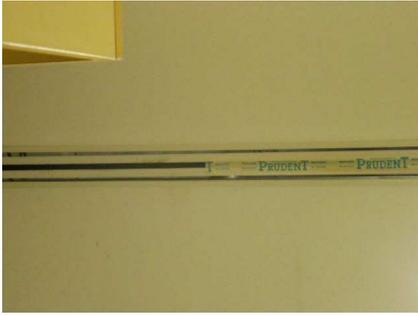
5. Régler les registres des têtes de branches de la même manière : les proportions entre branches doivent être correctes, le registre restant ouvert sur la branche la plus défavorisée.
6. Enfin régler le débit du ventilateur à la valeur totale souhaitée. Normalement, si le ventilateur a été correctement dimensionné ou s'il dispose d'un régulateur de débit, le registre du ventilateur devrait rester ouvert à 100 %. Freiner après le ventilateur, c'est appuyer en même temps sur l'accélérateur et le frein d'une voiture...

A la fin de l'équilibrage, il est utile de consigner par écrit les valeurs réglées : débits des bouches, pressions en amont des registres, tension, intensité et vitesse du ventilateur, température du réseau lors de l'opération,...

Equilibrer une installation, c'est assurer dans chaque local le débit d'air nécessaire. Ni plus, ni moins. Par souci de confort et d'économie d'énergie.

Le mauvais équilibrage peut entraîner différents comportements :

- Dans les locaux où le débit est trop important, l'occupant va ressentir un courant d'air, et risque de boucher sa grille de ventilation (feuille de papier ou de carton collée, etc.). Résultat, le débit va augmenter dans le local voisin, dont l'occupant risque, à son tour, de se plaindre de courants d'air, ...



*C'est le cas à la Cité !*

Si le débit est trop faible dans certains locaux, des plaintes peuvent entraîner une augmentation du débit global de ventilation, du chauffage ou du refroidissement de l'air avec pour conséquence, des surconsommations d'énergie.

### 3.8. Analyse de la Gestion Technique du Bâtiment

La Gestion Technique du Bâtiment est situé au niveau -1 et est géré par le technicien de maintenance COFELY. La GTB est sous environnement EXCEL HONEYWELL

Les fonctionnalités sont les suivantes :

- Lecture de l'état d'un point
- Modification de l'état d'un point
- Modification de la valeur d'un point
- Annonce et lecture de l'état d'alarme d'un point
- Vérification de la présence de chaque point supervisé. Si un point ne répond pas, une alarme est générée
- Vérification de la présence du bus et de chaque équipement supervisés. Si un bus ou équipement ne répond pas, une alarme est générée.

La GTB en place permet d'agir sur les débits d'air neufs et de reprise ( on ne peut pas jouer sur les débits d'extraction) et sur la position des vannes trois vannes des batteries chaudes et froides des CTA. L'ensemble du bâtiment est géré par différence de température sur des valeurs moyennes entre le plateau considéré le plus « froid » et le plateau considéré le plus « chaud » pour maintenir une température moyenne de 22°C. Des reports d'alarmes sont également présent pour signifier tout dysfonctionnement d'ordre hydraulique et ou fluide.

Nous considérons que la GTB actuellement en place est vétuste compte tenu des GTB que nous trouvons actuellement sur le marché. Mais, il serait réducteur de limiter la GTB à l'écran d'affichage, le clavier et le logiciel de gestion. La régulation associé est très importante également. La régulation de la Cité Administrative est une technologie pneumatique qui présente l'avantage de disposer d'organes simples, rapides et puissant. Mais, l'inconvénient majeur provient de la nécessité de disposer d'air comprimé de bonne qualité (sec et déshuilé) qui contribue à d'importante consommation énergétique à comparer au système de régulation électronique.

L'objectif de la gestion technique des équipements des bâtiments : la meilleure qualité de service au moindre coût. Cette GTB ne gère que l'aspect confort des occupants du bâtiment, alors que maintenant, nous pouvons intégrer le risque incendie, effraction, vol....

Une étude approfondie de faisabilité est vivement recommandée pour vérifier la possibilité de changer la GTB actuellement en place afin de la remplacer par une GTB plus performante permettant la gestion plateau par plateau (et non de gérer l'ensemble du bâtiment comme un tout). Mais, il faudra également prévoir le remplacement du système de régulation que nous jugeons énergivore actuellement en place pour privilégier une régulation électronique. Dans l'état actuel, nous ne pouvons pas réaliser de chiffrage de réhabilitation car nous ne pouvons estimer la faisabilité de communication des équipements en place avec un système de régulation électronique. En tout état de cause, la mise en place de sondes de températures, de CO, divers capteurs devront être étudié afin d'améliorer le système actuel. Des économies d'énergie peuvent être largement envisagées.

### 3.9. Températures effectives des locaux

#### Rappels réglementaires

- Article R\*131-20

Modifié par [Décret n°2007-363 du 19 mars 2007 - art. 2 JORF 21 mars 2007](#)

Dans les locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de bureaux ou recevant du public et dans tous autres locaux, à l'exception de ceux qui sont indiqués aux articles R. 131-22 et R. 131-23, les limites supérieures de température de chauffage sont, en dehors des périodes d'inoccupation définies à l'article R. 131-20, fixées en moyenne à 19°C :

- pour l'ensemble des pièces d'un logement ;
- pour l'ensemble des locaux affectés à un usage autre que l'habitation et compris dans un même bâtiment.

- Article R131-29

Créé par [Décret n°2007-363 du 19 mars 2007 - art. 2 JORF 21 mars 2007 en vigueur le 1er juillet 2007](#)

Dans les locaux dans lesquels est installé un système de refroidissement, celui-ci ne doit être mis ou maintenu en fonctionnement que lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26 °C.

Un arrêté des ministres chargés de la construction et de l'énergie définit les conditions de régulation des systèmes de refroidissement.

## 4. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

### 4.1. Remarques issues de la phase E1 / thermographie infra-rouge

A l'issue de la phase E1 et des clichés pris avec la caméra thermique, nous avons pu identifier des pistes d'améliorations notoires. Certaines peuvent être simulées à partir du logiciel Pléïade + Comfie 2.9.6.7 comme :

- Un niveau de température fixé sur la base réglementaire (Variante 1)
- La prise en compte des apports solaires (Variante 2)
- L'isolation des parois opaques (Variante 3)
- Le remplacement des menuiseries extérieures (Variante 4)

Par contre d'autres pistes d'améliorations ne peuvent pas être prises en compte à partir du logiciel et feront l'objet d'un développement particulier au § 5.

### 4.2. Hypothèses

Variante 1
- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - <b>Consigne : 19 °C + réduit de nuit de 15                      °C</b> - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h

### Simulation thermique dynamique avec consignes réglementaires: Régulation à 19 °C + réduit de nuit à 15 °C

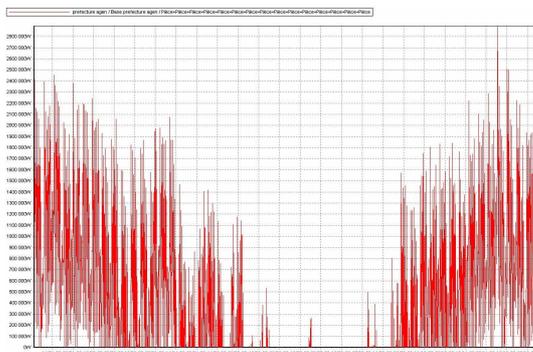
D'après le logiciel Pléiade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 844 675kWh/an, soit 50,3 kWh/m<sup>2</sup>/an soit une puissance maximale atteinte de 2300 kW.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissance chauffage sur une année (calculés par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :

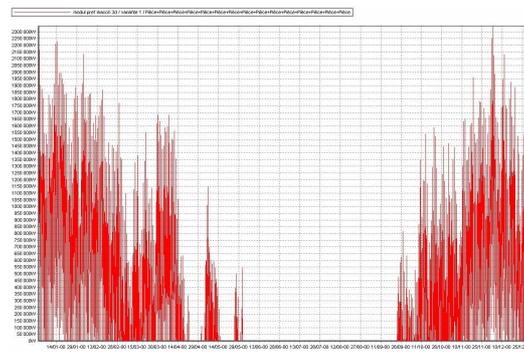
Base

Variante 1

2800 kW



2300 kW



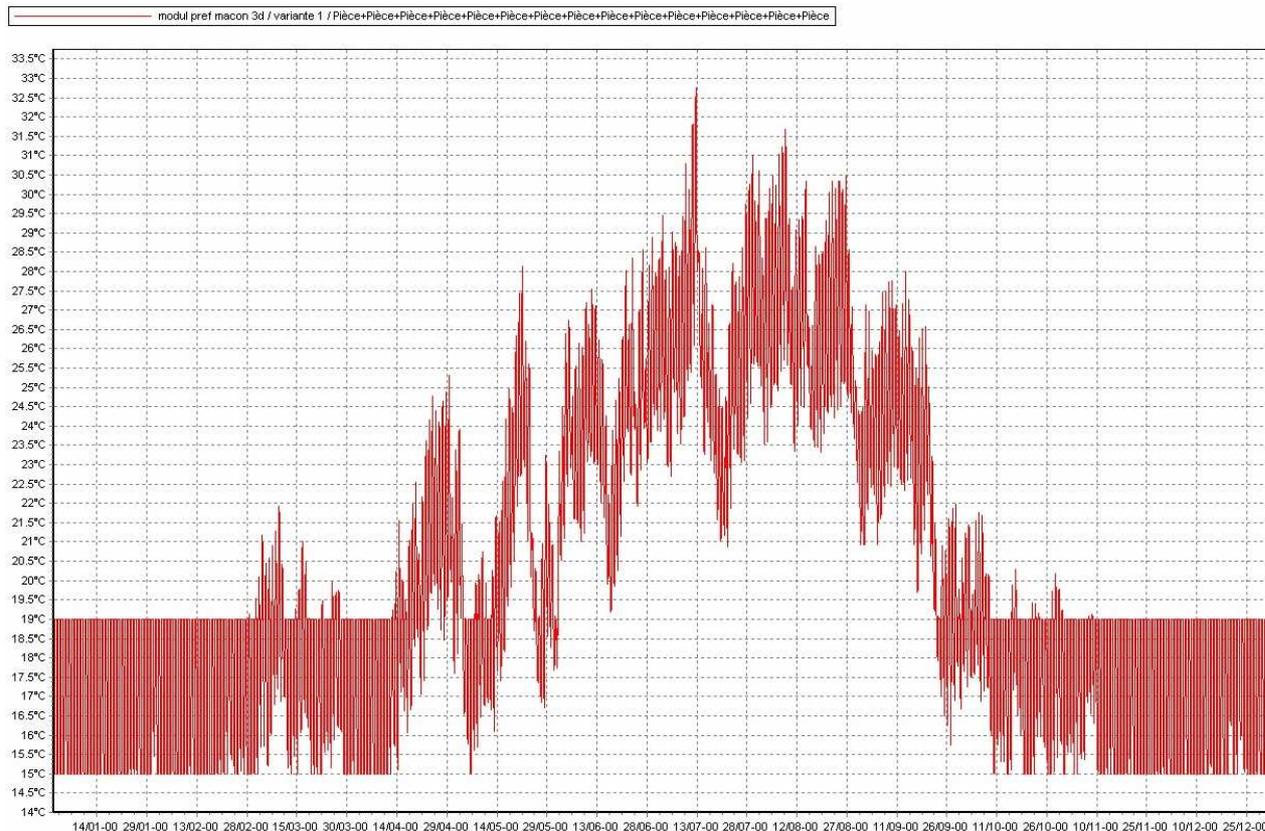
Sur ces graphiques, nous constatons que la production de chauffage se fera de début janvier à mi mars (14/05) et de mi octobre (11/10) à fin décembre.

On voit, sur le graphique représentant la variante 1, la puissance de chauffage sera davantage modulée.

La puissance appelée est donc moindre, ce qui permet une meilleure régulation du chauffage, et préserve le matériel et ses organes d'usures prématurées.

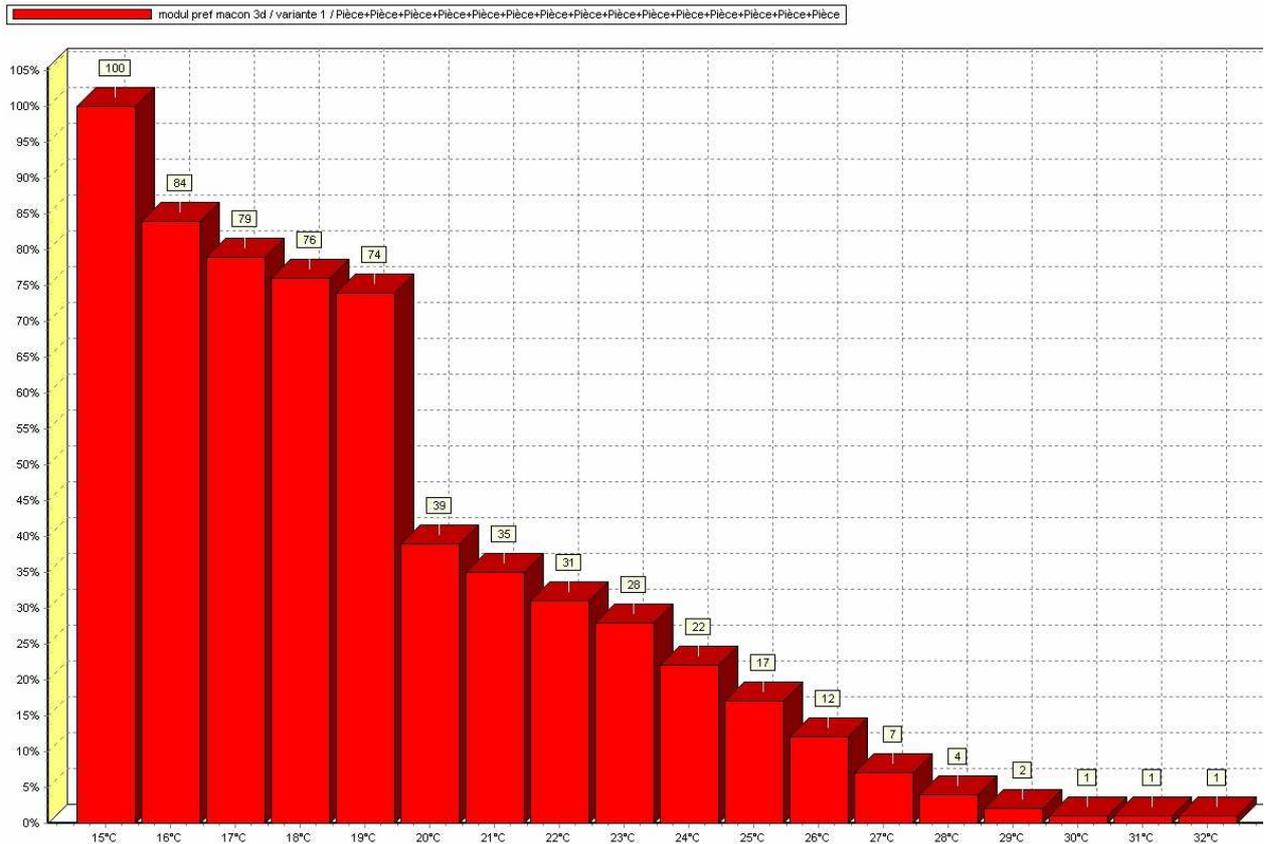
Ce scénario conduit à une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 32 % par rapport à la base.

Le graphique ci-dessous représente la variation de température des locaux sur une année (calculées par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :



Par le biais de ce graphique, on constate que la température des locaux sera comprise entre 15 °C (la nuit) et 19 °C (le jour), ce qui correspond aux réglages des consignes de régulation après variante.

En été, on peut noter des variations de températures dans les locaux en période estivale, du 29/05 au 25/09. La température maximale est de 32,5 °C, la température moyenne sur l'année est de 24,8 °C.



Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.

## Synthèse

Désignation	Base	Variante 1	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	844 675	32 %
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1 491 550	(pas de variation des apports solaires)
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	11,6	4 %, le confort va légèrement être accru
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	24,8	Quasiment aucune variation des données météorologiques

**Bilan**

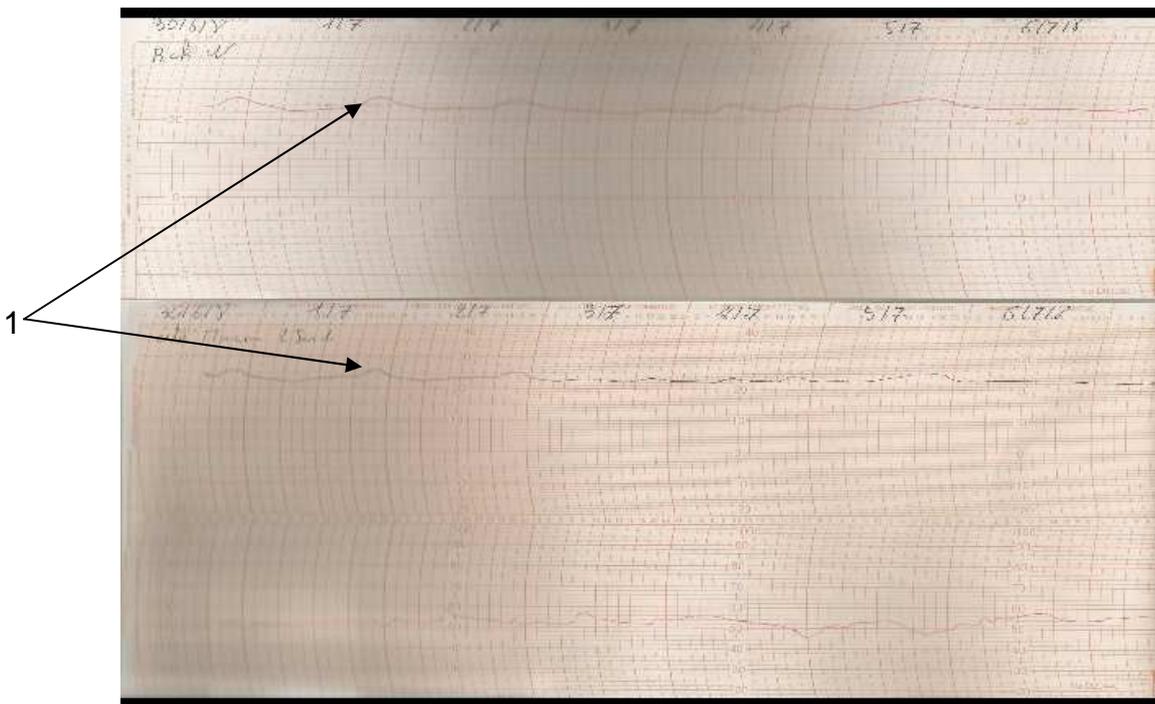
<b>Production</b>	
Type d'énergie	Calorie
Puissance installée	3 MW
Age de l'installation	-
Performance de la source:	Correct
<b>Distribution</b>	
Type de distribution	CTA + réseau ventilation calorifugé
Performance de la distribution	Correct
<b>Emission</b>	
Type d'émetteur	Diffuseur linéaire
Performance de l'émetteur	Correct
<b>Régulation</b>	
Régulation existante	pneumatique
Type de régulation	Optimisable
<b>Gestion</b>	
Type de gestion	GTC + régulateur de zone
Qualité du contrat	-
Qualité de la gestion	Optimisable

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Baisse des consignes de températures pour débit d'air à 82000 m3/h	0	23,7	7,4	38160	immédiat	immédiat	G
Baisse des consignes de températures pour débit d'air à 45555 m3/h	0	46	14,4	74200	immédiat	immédiat	G

### 4.3. Apports solaires

#### Enregistrement société COFELY/constatations

*Enregistrement de température pour le Rez de chaussée nord et le 2<sup>nd</sup> étage sud*



Grâce aux enregistrements réalisés par la société COFELY, nous constatons qu'il existe, en période estivale (enregistrement du 30 juin au 6 juillet 2008) un écart de température important entre les plateaux situés au RdC du bâtiment nord et le plateau situé au 2<sup>nd</sup> étage du bâtiment sud.

Nous constatons par exemple en 1 pour la date du 1/07/08 pour l'enregistreur situé au RdC nord une température de 23°C à 20h (le système de climatisation se coupe à 18h) et pour le 2<sup>nd</sup> étage du bâtiment sud, une température de 26°C soit un écart de 3°C.

Si nous analysons maintenant la semaine complète, nous pouvons nous apercevoir qu'il existe en moyenne un écart de température d'environ 1,7°C entre le plateau soumis à un fort ensoleillement (le 2<sup>nd</sup> étage du bâtiment sud) et l'autre dont les apports solaires sont beaucoup plus faible ( cf. courses du soleil).

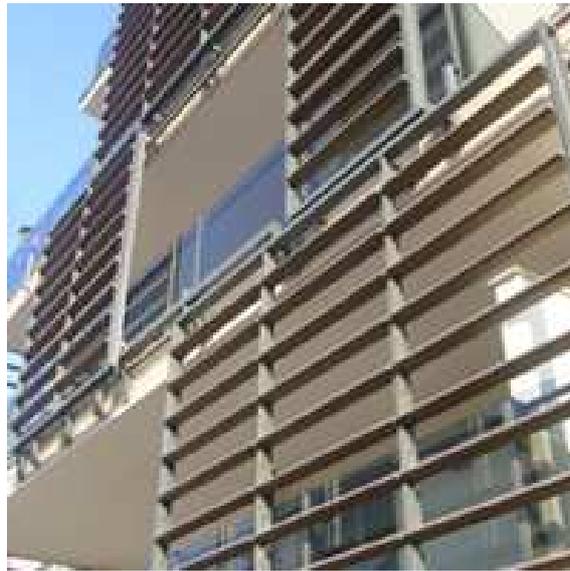
La consigne de température étant la même pour l'ensemble des bâtiments de la Cité Administrative, nous pouvons ainsi mettre en évidence de manière significative les apports solaires liés aux baies vitrées et c'est la raison pour laquelle nous avons simulé la mise en place de casquettes solaires sur la façade Sud.

## Hypothèses

Variante 2
- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur ( $U = 3 \text{ W/m}^2\text{C}$ )
- Plancher bas : dalle béton + chape béton ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{C}$ )
- Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton ( $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{C}$ )
- Ouvrants avec casquettes solaires au Sud :
• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques
• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall
( $U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{C}$ )
- Consigne : 23 °C sans réduit
- Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h

## Mise en œuvre de casquettes solaires

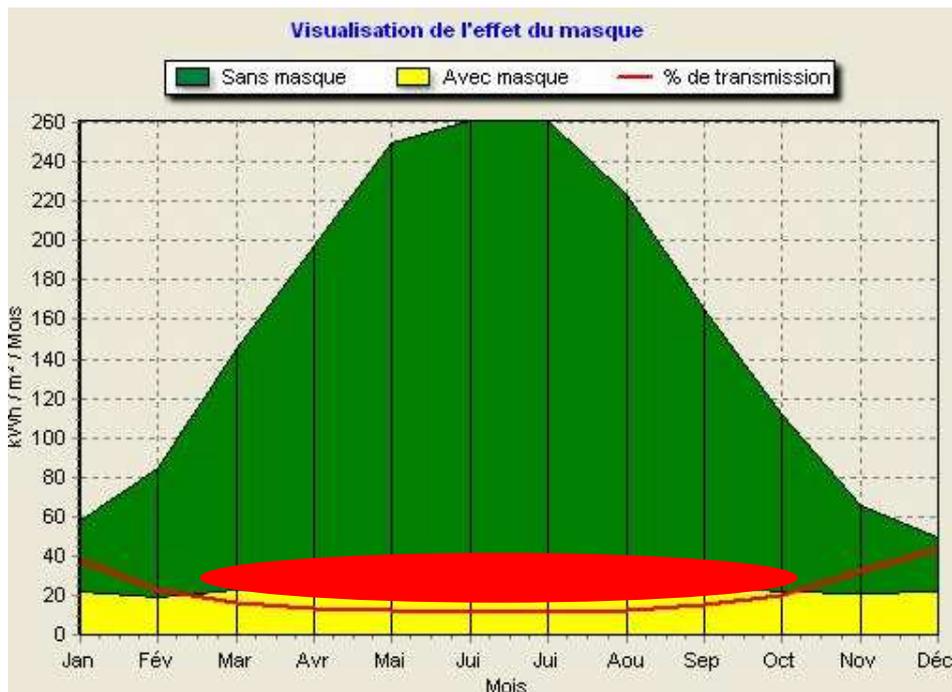
. Les brises soleil ou casquettes sont des artifices idéals pour réduire la charge climatique d'été sans atténuer l'apport solaire d'hiver et créer un environnement intérieur sain et confortable. En été, le soleil étant plus haut, les rayons verticaux du soleil sont brisés alors qu'en hiver, le soleil étant plus bas, le brise-soleil laisse largement passer la lumière.



*Exemple de casquettes solaires*

## Simulation thermique dynamique avec mise en œuvre de casquettes solaires

D'après le logiciel Pléïade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 1 242 170 kWh/an, soit 73,9 kWh/m<sup>2</sup>/an, soit une puissance maximale atteinte de 2 800 kW.



On remarque que le rôle des casquettes solaires permet d'augmenter l'effet de masque de 80 % ; soit une économie de 80 % sur les apports solaires. Les surchauffes estivales sont amoindries de façon significative. Seules les surchauffes dans les parties rouges vont être conservées.

Nous remarquons que les apports solaires bénéfiques en hivers sont toujours conservés par l'emploi et la longueur de 20 cm des protections solaires (situé sous la ligne rouge).

## Synthèse

Désignation	Base	Variante 2	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	1 242 170	Les consommations restent inchangées, car nous jouons sur la période estivale
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1073916	28 %
Climatisation (kWh/an)	280 728	241 426	14 %
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	10,8	10 %, le confort va légèrement être accru
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	20,2	19 % sur les surchauffes

## Bilan

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ T.T.C./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Mise en place de casquettes solaires	150000	2,3	6	4567*	33	>100-	B

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

\* prend en compte les économies d'eau pour dissipation des calories au niveau des tours aéroréfrigérantes (estimés à environ 600m<sup>3</sup>)

Surface à traiter par pare soleil environ 375 m<sup>2</sup> sur la façade Ouest.

#### 4.4. Remplacement des menuiseries extérieures

##### Hypothèses

Variante 3
- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur ( $U = 3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Plancher bas : dalle béton + chape béton ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton ( $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Ouvrants :
4 x 16 x 4 dont menuiseries alu avec rupteurs de ponts thermiques
4 x 16 x 4 dont menuiseries alu avec rupteurs de ponts thermiques pour le hall ( $U_g = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Consigne : 23 °C sans réduit
- Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h

## Simulation thermique dynamique avec remplacement des vitrages

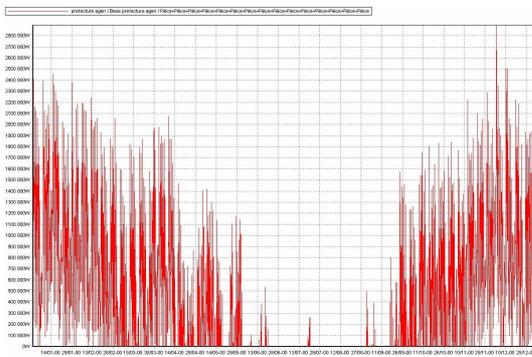
D'après le logiciel Pléiade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 752 755 kWh/an, soit 44,8 kWh/m<sup>2</sup>/an soit une puissance maximale atteinte de 2250 kW.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissance chauffage sur une année (calculés par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :

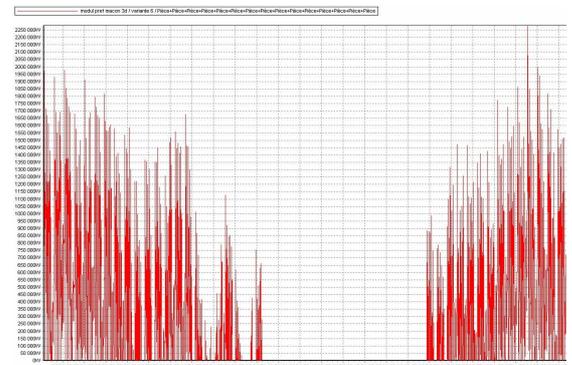
Base

Variante

2800 kW



2250 kW



Sur ces graphiques, nous constatons que la production de chauffage se fera de début janvier à mi mars (14/05) et de mi octobre (11/10) à fin décembre.

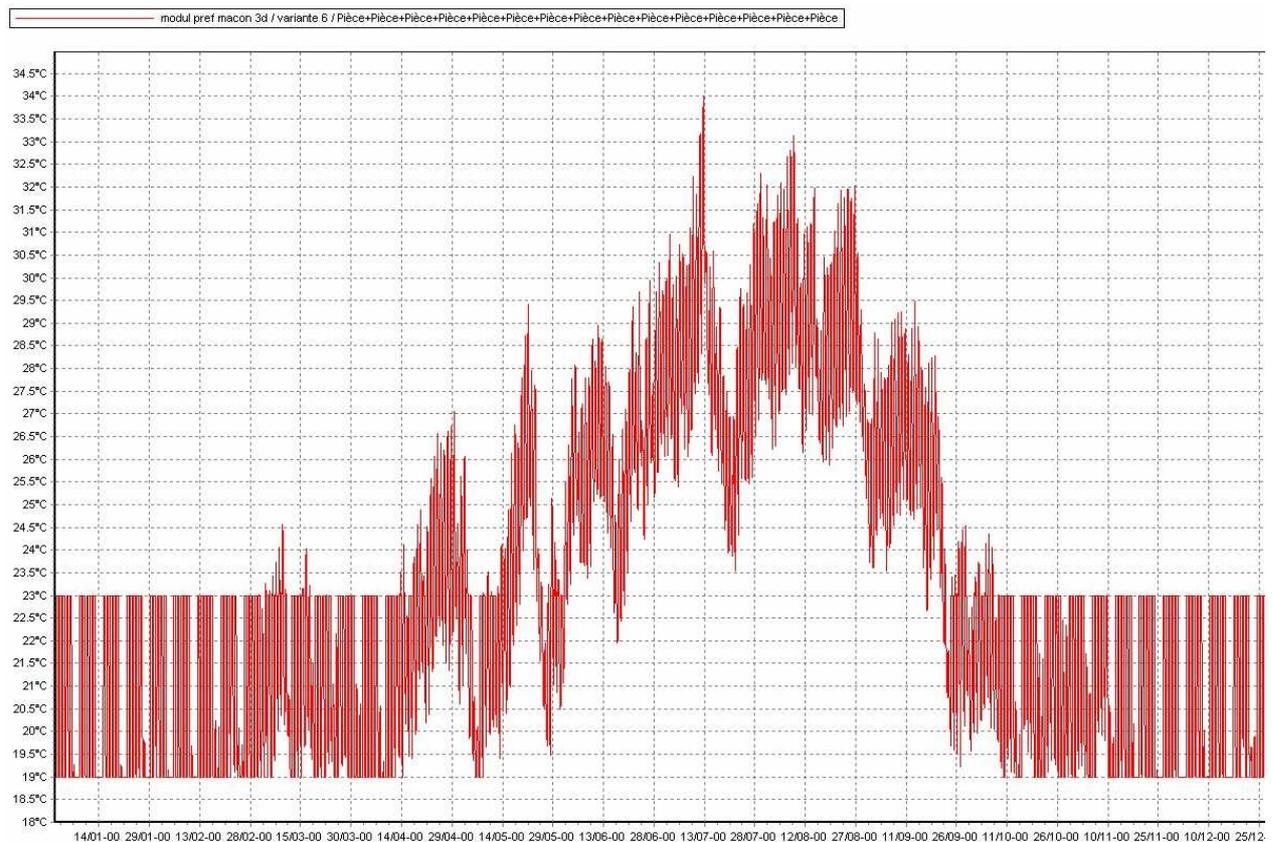
On voit, sur le graphique représentant la variante, la puissance de chauffage sera davantage modulée.

La puissance appelée est donc moindre, ce qui permet une meilleure régulation du chauffage, et préservé le matériel et ses organes d'usures prématurées.

En outre la saison de chauffe est plus radicalement définie.

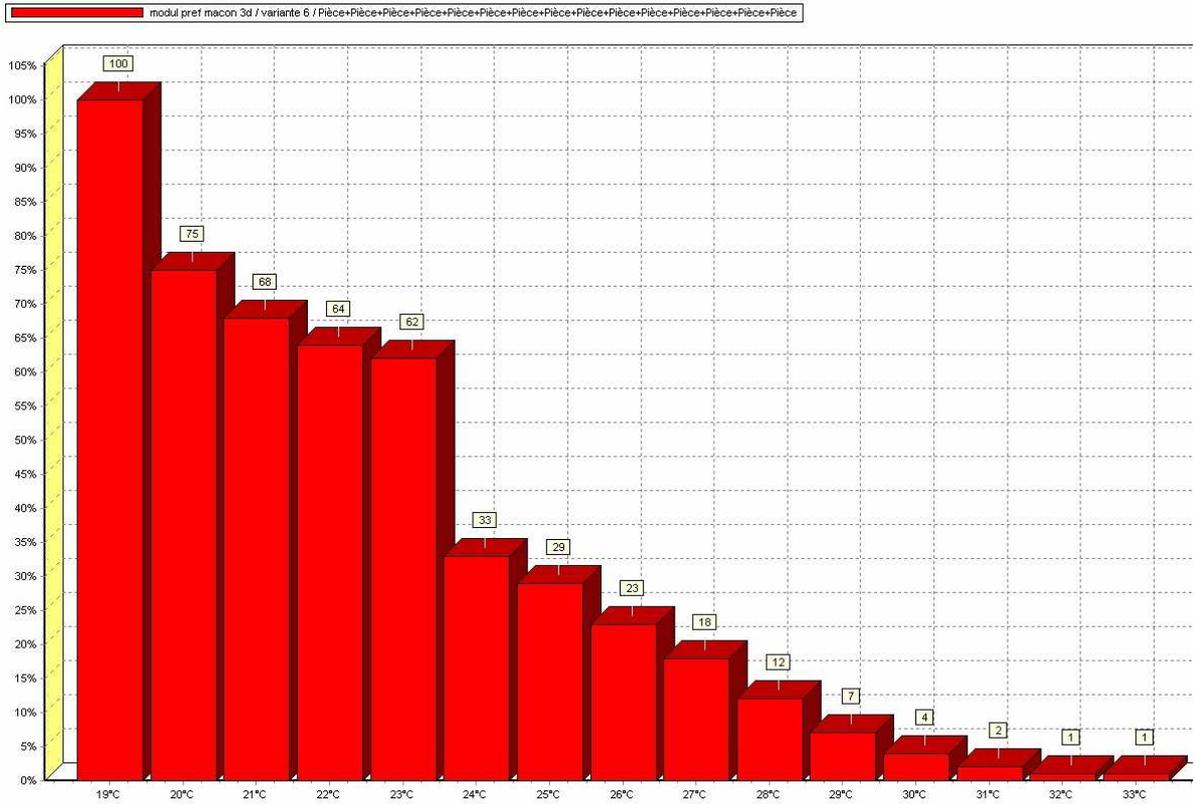
Ce scénario conduit à une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 40,4 % par rapport à la base.

Le graphique ci-dessous représente la variation de température des locaux sur une année (calculées par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :



Par le biais de ce graphique, on constate que la température des locaux sera comprise entre 19 °C et 23 °C (le jour), ce qui correspond au réglage des consignes de régulation.

En été, on peut noter des variations de températures dans les locaux en période estivale, du 29/05 au 25/09. La température maximale est de 33 °C, la température moyenne sur l'année est de 23,3 °C.



Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.

## Synthèse

### Synthèse de la Variante 3:

Désignation	Base	Variante 3	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	752 755	40,4 %
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1 268 515	Diminution des apports solaire de 15 % par l'emploi d'une couche basse émissivité performante sur les vitrages
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	12	Quasiment aucune variation
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	23,3	On diminue les températures estivales de 6 %

**Bilan**

Composant	Identification du composant	Etat du composant	U estimé	U réglementaire	Remplacement nécessaire au vu de l'état du composant (O/N)
				(valeur RT existant élément par élément)	
Baies vitrées	Vitrage façade POLYGLASS PARELIO	à remplacer	3	Uw< ou = 1,8 Ug<2,3	O

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh/ep/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Remplacement des vitrages	875892	29	9,1	46984	18,6	31	E

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

Chiffrage effectué par la société PEDRINIS CH

Taux OAT<sub>10</sub> pour valeur d'actualisation : 3,44%

Détail issues du devis fourni par la société PEDRINIS

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 20700\*2000

Quantité : 9

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 17100\*2000

Quantité : 18

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 26100\*2000

Quantité : 18

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 8100\*2000

Quantité : 9

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 16200\*2000

Quantité : 18

Châssis courant sur allège, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 4500\*2000

Quantité : 9

Ensemble porte d'entrée, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 5000\*3000

Quantité : 2

Châssis fixe imposte / ensemble entrée, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 5000\*1800

Quantité : 2

Mur rideau 54mm, fixation traverses par bloc percutant , décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) : 9900\*20250

Quantité : 2

Porte de secours, décor :laquage finition brillante (85%)

Dimensions (L\*H) :3500\*2500

Quantité : 2

#### 4.5. Isolation des parois opaques

##### Isolation par l'extérieur

##### Hypothèses

Variante 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur + <b>isolation extérieure avec 10 cm d'isolant</b> (U = 0,35 W/m<sup>2</sup>°C)</li> <li>- Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m<sup>2</sup>°C)</li> <li>- Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m<sup>2</sup>°C)</li> <li>- Ouvrants : 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall (Ug = 2,8 W/m<sup>2</sup>°C)</li> <li>- Consigne : 23 °C sans réduit</li> <li>- Renouvellement d'air : 82 000 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>

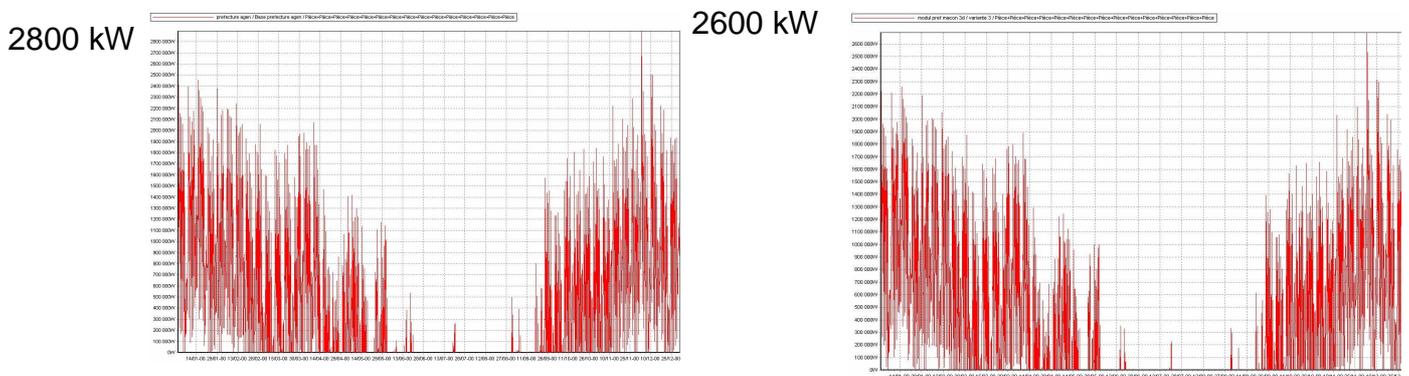
## Simulation thermique dynamique

D'après le logiciel Pléiade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 1 192 483 kWh/an, soit 71 kWh/m<sup>2</sup>/an soit une puissance maximale atteinte de 2600 kW.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissance chauffage sur une année (calculés par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :

Base

Variante



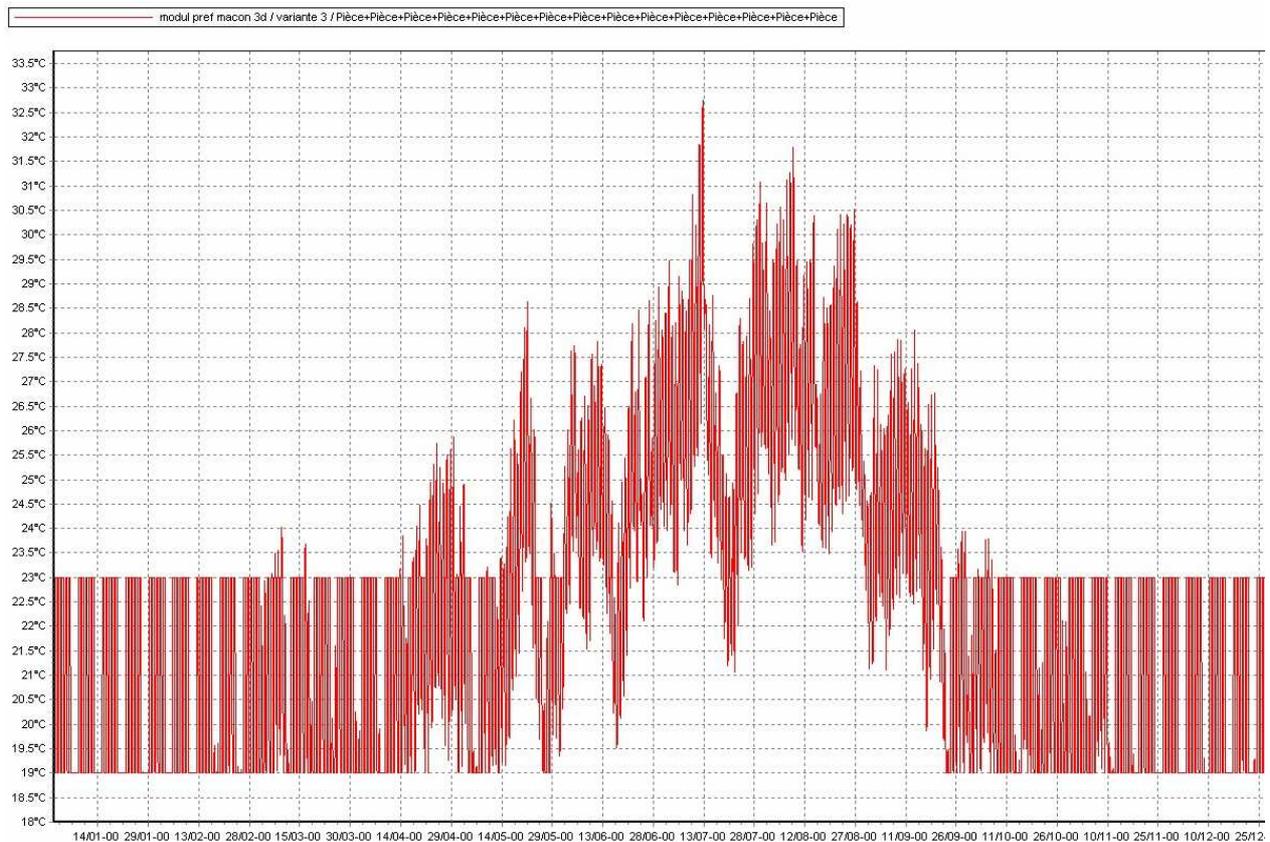
Sur ces graphiques, nous constatons que la production de chauffage se fera de début janvier à mi mars (14/05) et de mi octobre (11/10) à fin décembre.

On voit, sur le graphique représentant la variante, la puissance de chauffage sera davantage modulée.

La puissance appelée est donc moindre, ce qui permet une meilleure régulation du chauffage, et préservé le matériel et ses organes d'usures prématurées.

Ce scénario conduit à une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 4,2 % par rapport à la base.

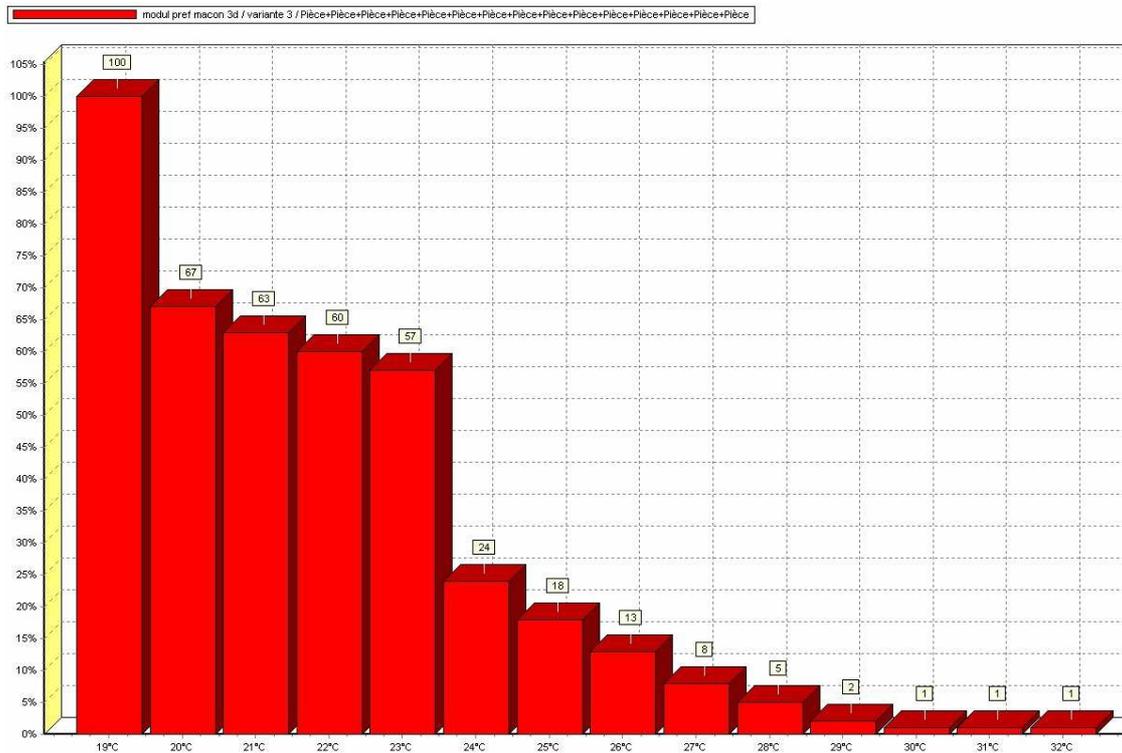
Le graphique ci-dessous représente la variation de température des locaux sur une année (calculées par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :



Par le biais de ce graphique, on constate que la température des locaux sera comprise entre 19 °C et 23 °C (le jour), ce qui correspond au réglage des consignes de régulation.

En été, on peut noter des variations de températures dans les locaux en période estivale, du 29/05 au 25/09. La température maximale est de 32,5 °C, la température moyenne sur l'année est de 24,7 °C.

Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.



## Synthèse

Synthèse de la variante 4 :

Désignation	Base	Variante 4	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	1 189 999	4,2 %
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1 491 231	(pas de variation des apports solaires)
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	12,6	On perd 5 % sur le confort car le bâtiment conservera plus la chaleur
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	24,7	Quasiment aucune variation des données météorologiques

**Bilan**

Composant	Identification du composant	Etat du composant	U estimé	U réglementaire (valeur RT existant élément par élément)	Remplacement nécessaire au vu de l'état du composant (O/N)
béton	allège	Correct	3	-	N mais à calorifuger

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Isolation par extérieur	693000	3	0,97	5000	>100	>100	B

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

## Isolation par l'intérieur

### Hypothèses

#### Variante 5

- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur +  
**isolation intérieure avec 7 cm d'isolant**

(U = 0,45 W/m<sup>2</sup>°C)

- Plancher bas : dalle béton + chape béton

(U = 0,8 W/m<sup>2</sup>°C)

- Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton

(U = 0,3 W/m<sup>2</sup>°C)

- Ouvrants :

- 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques
- 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall

(Ug = 2,8 W/m<sup>2</sup>°C)

- Consigne : 23 °C sans réduit

- Renouvellement d'air : 82 000 m<sup>3</sup>/h

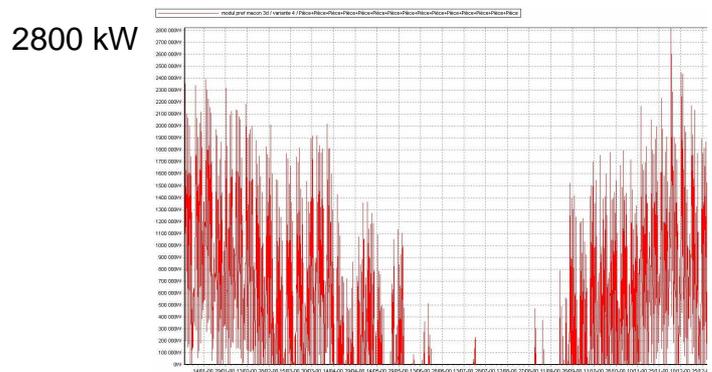
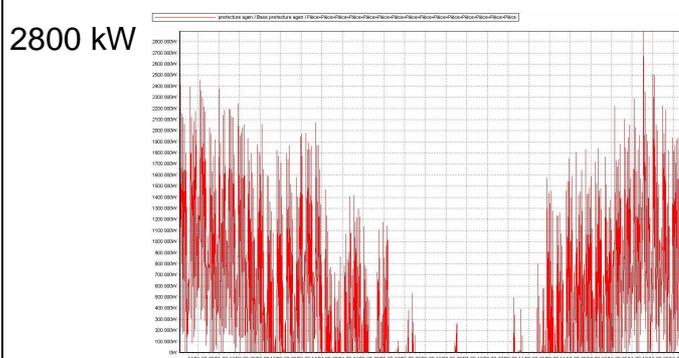
## Simulation thermique dynamique

D'après le logiciel Pléiade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 1 194 967 kWh/an, soit 71 kWh/m<sup>2</sup>/an soit une puissance maximale atteinte de 2800 kW.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissance chauffage sur une année (calculés par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :

Base

Variante



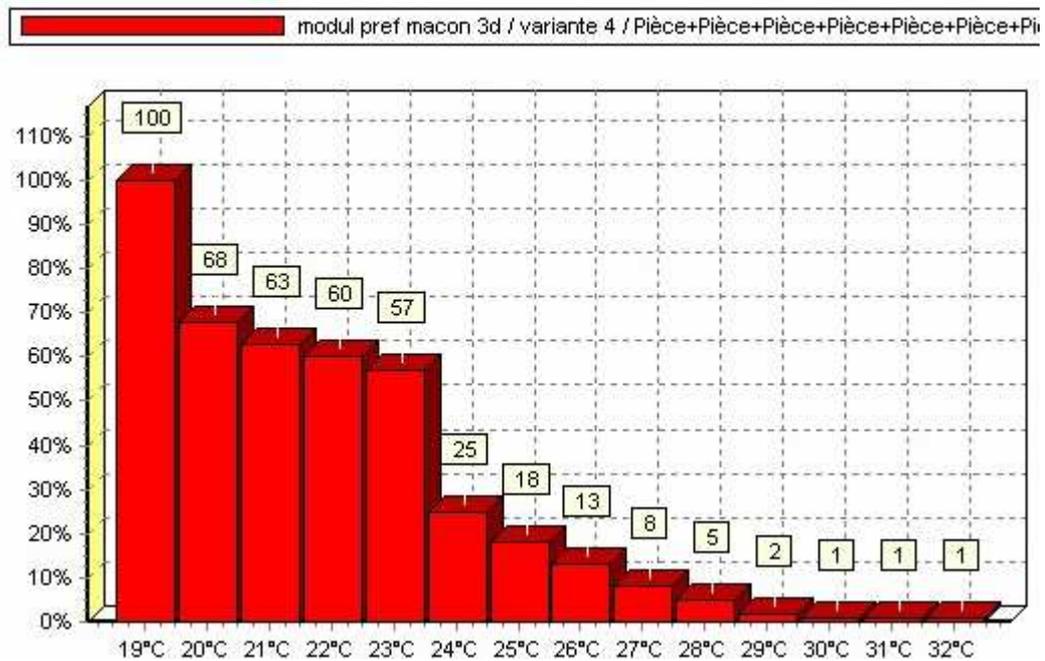
Sur ces graphiques, nous constatons que la production de chauffage se fera de début janvier à mi mars (14/05) et de mi octobre (11/10) à fin décembre.

On voit, sur le graphique représentant la variante 4 est identique que la base.

Ce scénario conduit à une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 3,8 % par rapport à la base.



Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.



## Synthèse

Synthèse de la variante 5 :

Désignation	Base	Variante 5	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	1 194 968	3,8 %
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1 491 550	(pas de variation des apports solaires)
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	12,6	On perd 4,6 % sur le confort car le bâtiment conservera plus la chaleur
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	25,6	On augmente les températures estivales de 3,1 %

**Bilan**

Composant	Identification du composant	Etat du composant	U estimé	U réglementaire (valeur RT existant élément par élément)	Remplacement nécessaire au vu de l'état du composant (O/N)
Allèges	Coffrage bois aggloméré	Dégradé	4	-	O et à calorifuger

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Remplacement des allèges dégradé Mise en place de panneaux isolants pré-découpés et fixés sur l'existant	248000	2,8	0,88	4530	55	>100	B

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

## Isolation de la toiture

### Hypothèses

Variante 6
- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur ( $U = 3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Plancher bas : dalle béton + chape béton ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton + sur isolation de 10 cm ( $U = 0,2 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Ouvrants :
• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques
• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall
( $U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ )
- Consigne : 23 °C sans réduit
- Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h

### Simulation thermique dynamique

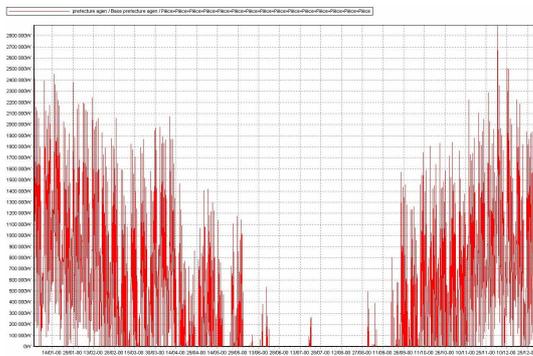
D'après le logiciel Pléiade + Comfie 2.9.6.7, les consommations de chauffage sont estimées à 1 228 506 kWh/an, soit 66 kWh/m<sup>2</sup>/an soit une puissance maximale atteinte de 2800 kW.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissance chauffage sur une année (calculés par le logiciel à partir des données météorologiques du site) :

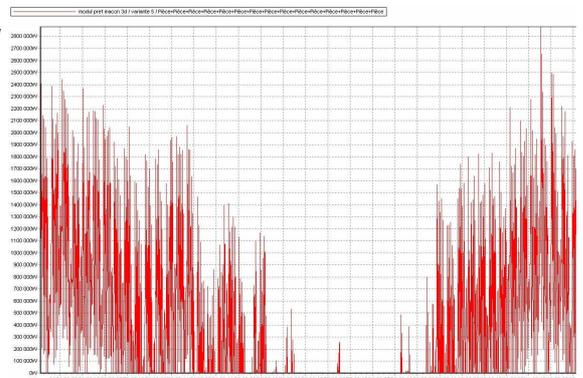
Base

Variante

2800 kW



2800 kW

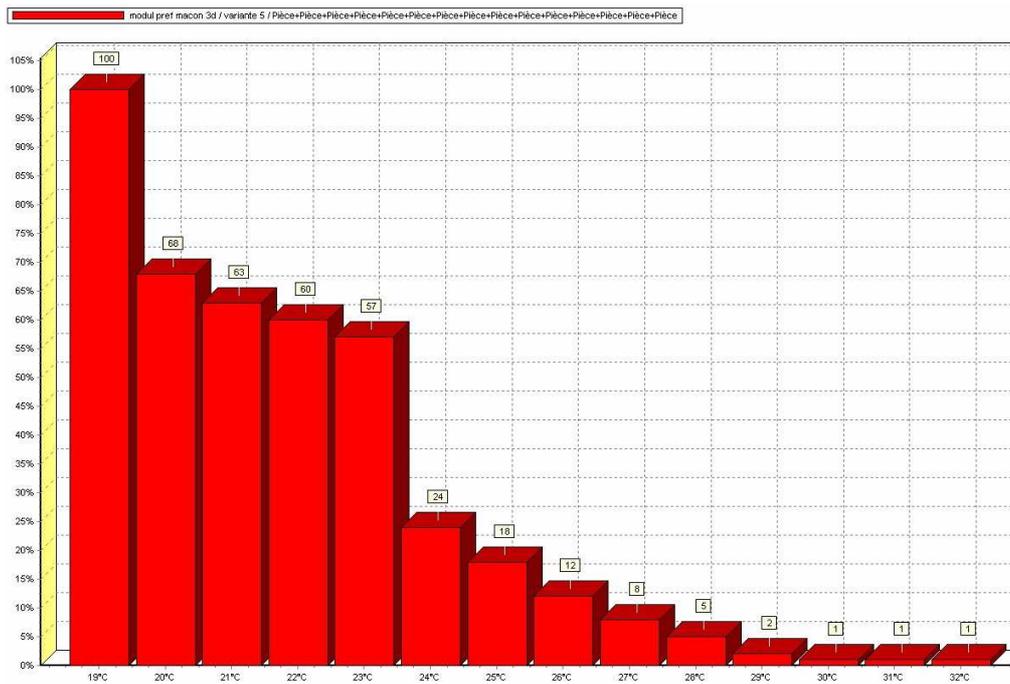


Sur ces graphiques, nous constatons que la production de chauffage se fera de début janvier à mi mars (14/05) et de mi octobre (11/10) à fin décembre.

On voit, sur le graphique représentant la variante est identique que la base.

Ce scénario conduit à une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 1,1 % par rapport à la base.





Voici la courbe de températures cumulées, elle permet de modéliser les temps où les différentes températures seront effectives.

## Synthèse

Synthèse de la Variante 6:

Désignation	Base	Variante 6	Economies
Besoins (kWh/an)	1 242 170	1 228 506	1,1 %
Apports solaires (kWh/an)	1 491 550	1 491 550	(pas de variation des apports solaires)
Taux d'inconfort (% du temps où nous dépassons la température de consigne sur une année)	12,1	12	On gagne 0,7 % sur le confort car le bâtiment conservera plus la chaleur
Température moyenne de surchauffe (°C)	24,8	24,3	On diminue les températures estivales de 2 %

**Bilan**

Composant	Identification du composant	Etat du composant	U estimé	U réglementaire	Remplacement nécessaire au vu de l'état du composant (O/N)
				(valeur RT existant élément par élément)	
Toiture / terrasse	Isolation	Correct	0,3	-0,34	O et à calorifuger

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Isolation plus performante	210000	0,8	0,25	1300	>100	>100-	B

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

#### 4.6. Synthèse avec les différentes variantes

##### **Bilan / conclusions des différentes simulations**

Il convient en premier lieu de remplacer les parois vitrées car c'est la surface déperditive la plus importante dont les coefficients de transmission surfaciques sont facilement optimisable (4 x 16 x 4 peu émissif avec remplissage argon) par l'emploi de matériels plus performants (ne pas oublier les rupteurs de ponts thermiques dans les menuiseries). Il est important de poser les parois vitrées sur le nu extérieur des façades pour éviter la création de ponts thermiques.

Le fait d'utiliser des vitrages très peu émissifs permet d'éviter l'utilisation de casquettes solaires dont le surcoût est difficilement applicable.

Nous retenons aussi l'amélioration des températures de consignes liées au chauffage : 19 °C lors des périodes d'occupation de s locaux et 15 °C en réduits lors de l'inoccupation des locaux :

- 19 °C : de 7 h à 19 h
- 15 °C : de 19 h à 7 h.

Pour l'isolation des parties de façade en béton, les simulations 3 et 4, nous montrent que l'isolation par l'intérieur est plus facile à mettre en place. En effet les économies sont relativement communes, mais les coûts de mise en œuvre ne sont pas comparables : le surcoût de l'isolation extérieure est de l'ordre de 58 %.

Donc économiquement, la faisabilité financière nous conseille de retenir le choix de l'isolation par l'intérieur (7 cm) plutôt que l'isolation par l'extérieur (10 cm).

Pour la toiture, il est judicieux de penser de la ré-isoler en cas de réfection de celle-ci dans le temps en fonction de son usure (20 cm minimum d'isolant).

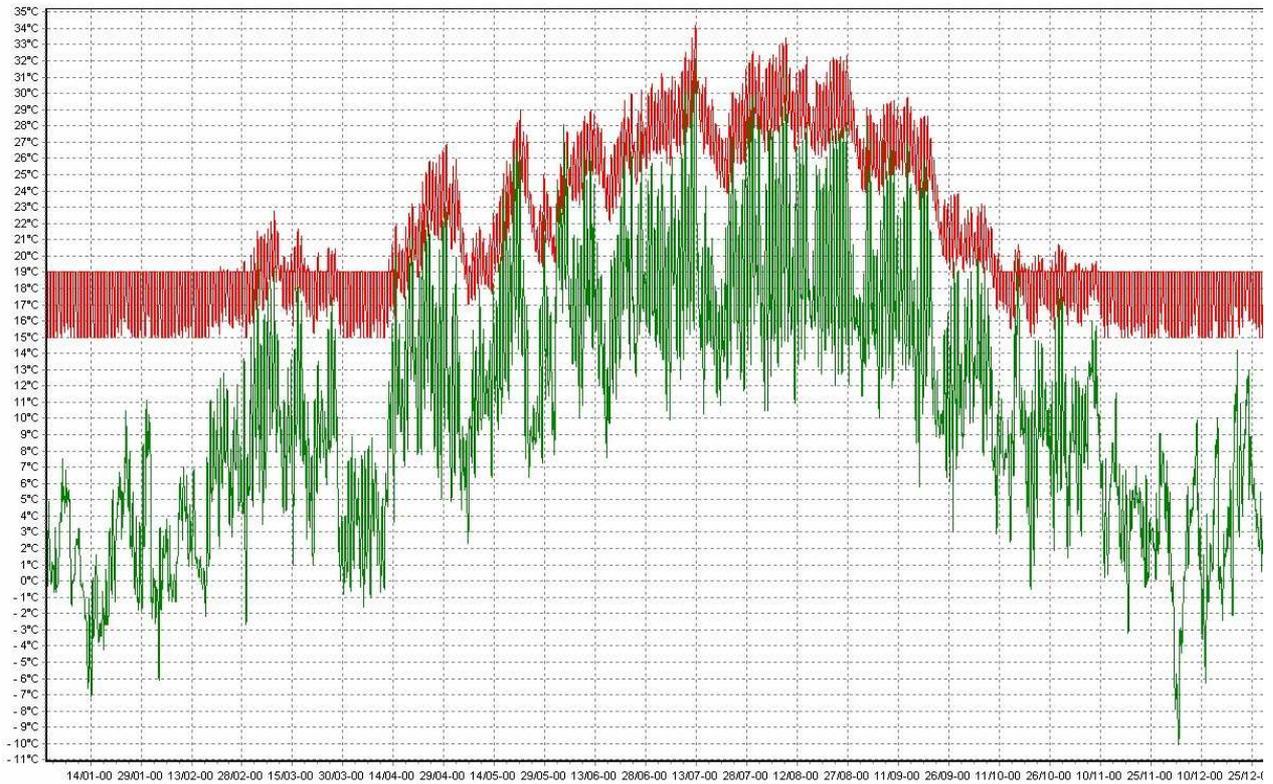
**Simulation avec les variantes retenues**

Variantes retenues :

Désignation	Retenue par la simulation	Non retenue par la simulation
Variante 1		
Variante 2		
Variante 3		
Variante 4		
Variante 5		
Variante 6		



modul pref macon 3d / variante finale / Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce+Pièce  
 modul pref macon 3d / variante finale / Extérieur



On remarque que la température intérieure correspond aux montées de la température extérieure (courbe verte) en période estivale. En période hivernale, nous voyons les appels de températures par rapport à la température extérieure.

#### 4.7. Synthèse générale

	Base	Variante 1	Variante 2
Désignation (teintes : béton et vitrages teintés)	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - <b>Consigne : 19 °C + réduit de nuit de 15 °C</b> - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants <b>avec casquettes solaires au Sud</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h
Gains énergétiques en %	-	32 % sur la base	0 %
Gains sur les surchauffes%	-	0 %	19 % sur la base
Gains sur les apports solaires%	-	0 %	80 %
Gains sur le confort %	-	4 % sur la base	10 % sur la base

	Base	Variante 3	Variante 4
Désignation (teintes : béton et vitrages teintés)	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (Ug = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 16 x 4 dont menuiseries alu avec rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 4 x 16 x 4 dont menuiseries alu avec rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (Ug = 2W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur + <b>isolation extérieure avec 10 cm d'isolant</b> <b>(U = 0,35 W/m<sup>2</sup>°C)</b> - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (Ug = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h
Gains énergétiques en %	-	40,4 % sur la base	4,2 % sur la base
Gains sur les surchauffes%	-	6 % sur la base	0 %
Gains sur les apports solaires%	-	15 % sur la base	0 %
Gains sur le confort %	-		- 5 % sur la base (soit une perte de confort de 5 %)

	Base	Variante 5	Variante 6
Désignation (teintes : béton et vitrages teintés)	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur + <b>isolation intérieure avec 7 cm d'isolant</b> (U = 0,45 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton (U = 0,3 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h	- Murs : murs béton de 25 cm d'épaisseur (U = 3 W/m <sup>2</sup> °C) - Plancher bas : dalle béton + chape béton (U = 0,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Toiture : isolation de 10 cm + 20 cm de béton + <b>sur isolation de 10 cm</b> (U = 0,2 W/m <sup>2</sup> °C) - Ouvrants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 x 6 x 4 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques</li> <li>• 8 x 12 x 8 avec menuiseries alu sans rupteurs de ponts thermiques pour le hall</li> </ul> (U <sub>g</sub> = 2,8 W/m <sup>2</sup> °C) - Consigne : 23 °C sans réduit - Renouvellement d'air : 82 000 m <sup>3</sup> /h
Gains énergétiques en %	-	3,8 % sur la base	1,1 % sur la base
Gains sur les surchauffes %	-	-3,1 % sur la base (soit des surchauffes estivales qui augmentent de 3,1 %)	2 % sur la base
Gains sur les apports solaires%	-	0 %	0 %
Gains sur le confort %	-	- 4,6 % sur la base (soit une perte de confort de 5 %)	0,7 % sur la base

## 5. PROPOSITIONS D' ACTIONS COMPLEMENTAIRES NON PRISE EN COMPTE PAR LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

### 5.1. Eclairage

L'éclairage est un poste très peu optimisé dans le bâtiment de la Cité Administrative.

#### Préconisations

Il faut pour diminuer les consommations électriques liées à l'éclairage :

- Remplacer les ampoules à incandescence de 75 W des sanitaires et celles des bureaux par des basses consommations de 11 W.
- Mettre une minuterie sur le TGBT coupant l'éclairage de tout le bâtiment lors des inoccupations.
- Mettre en place un système de détection de présence dans les sanitaires et les circulations.
- Utiliser les kits de rénovation « RETROLUX » afin de remplacer les tubes T8 de 58W par des tubes fluorescents T5 de 35 W et les tubes de 36 W par des 24, pour les mêmes luminosités.
- Eteindre quand la luminosité le permet, les luminaires situés en périphérie des baies vitrées.
- Installer des éclairages de proximité sur les espaces de bureaux au lieu des dalles 600\*600.

#### Les tubes fluorescents

Les tubes fluorescents utilisés dans les bureaux de la Cité Administrative sont de type T8. Il s'agit du standard le plus vendu et donc le moins cher. En 1995, une nouvelle gamme de tubes fluorescents, nommés tubes T5, a été introduite. Ils consomment environ 7% de moins que les tubes T8 pour une quantité de lumière équivalente (par exemple 64lm/W pour un tube T8 de 18W contre 96lm/W pour son équivalent T5 de 14W). De plus, ils contiennent moins de mercure que les tubes T8 standards. Enfin, leur durée de vie est environ deux fois plus longue que celle des tubes T8 standards ce qui permet un changement moins fréquent.

Cependant, ils sont sensiblement plus onéreux. Etant moins long, ils ne peuvent s'utiliser directement en remplacement des tubes T8 et nécessitent donc des luminaires adaptés ou des kits de transformation. Ils ne peuvent fonctionner qu'avec un ballast électronique.

Le ballast sert à l'amorçage de l'arc des tubes fluorescents. Il en existe 2 types :

- Ferromagnétique (standard ou faibles pertes)
- Electronique

Les luminaires rencontrés lors de cette campagne de relevée sont équipés de ballast ferromagnétique. Le ballast électronique est pourtant plus performant : il consomme

moins et augmente l'intensité lumineuse. Par exemple, le remplacement d'un ballast ferromagnétique par un ballast électronique sur un luminaire de 2\* 58 W permet une économie d'énergie d'environ 25%, une amélioration de la qualité de l'éclairage (démarrage plus rapide, absence de scintillement...) et un allongement de la durée de vie des tubes. Cependant, il est actuellement 3 à 4 fois plus cher à l'achat qu'un ballast standard.

Les avantages de l'utilisation des tubes T5 par rapport au T8 :

- Augmentation de la durée de vie
- Allumage instantané
- Meilleure luminosité et rendu des couleurs

<b>Luminaire en place</b>	<b>Kit de rénovation adapté</b>
1x18W + ballast ferromagnétique	1x14W + ballast électronique
1x36W + ballast ferromagnétique	1x28W + ballast électronique
1x58W + ballast ferromagnétique	1x35W + ballast électronique
4x18W + ballast ferromagnétique	4x14W + ballast électronique

## Les ampoules à incandescences

La commission de l'Environnement du Parlement Européen s'est prononcée en février 2009 à une large majorité en faveur du retrait progressif des ampoules à incandescence. Ce qui est prévu sous réserve d'approbation définitive :

- Retrait des ampoules de 100 W au 1<sup>er</sup> septembre 2009
- Retrait des ampoules de 75 W en septembre 2010
- Les 60 W pour septembre 2011 et les dernières (25 et 40 W) pour 2012.

Nous préconisons l'emploi de 11 W, plutôt que des ampoules basses consommation de 7 W, afin de conserver le nombre de lumens (lm : capacité d'éclairage des sources lumineuses : lux/m<sup>2</sup>). En effet, une ampoule incandescente de 40 W produit environ 600 lm contre 420 lm pour une basse consommation de 7 W. Le modèle 11 W permet d'atteindre 660 lm, donc ce choix correspond mieux aux besoins lumineux des pièces desservies (sanitaires et bureaux)

Ampoules à incandescences	Ampoules économie d'énergie
25 Watt	5 Watt
40 Watt	7 Watt
60 Watt	11 Watt
75 Watt	15 Watt
100 Watt	20 Watt

## Gestion de l'éclairage

Des économies d'énergie peuvent être réalisées si on ne fait pas fonctionner le système d'éclairage à pleine charge quand celui-ci n'est pas nécessaire. On peut contrôler l'exploitation du système d'éclairage par plusieurs méthodes telles que les interrupteurs et les variateurs crépusculaires manuels, les détecteurs de présence ou de mouvements et les systèmes automatiques modulant l'éclairage en fonction de l'éclairage naturel.

Par allumage manuel et par modulation de l'éclairage manuel, les résultats sont imprévisibles car ils dépendent du comportement des occupants. La programmation de commande de l'éclairage horaire permet une démarche plus favorable à une exploitation économe.

## Synthèse

Economie et investissement sur l'éclairage					
Type	Nombre	Economies/sources (W)	Tps de fct (h/an)	Economies (kWh/an)	Investissement (€ TTC)
Sanitaires (remplacement des 100 W par des 20 W)	104	80	1900	15800	1560
Détections Circulations bâtiment Nord et Sud , sanitaires avec horloge intégrée (pour minuterie)	Estimé à 20	Estimé à 30 % des consommations totales de l'éclairage de ces parties		6650	3000
Kits de rénovation Rétrolux 58 W	2072	58 – 35 = 23	2500	119140	93000
Extinction des éclairages de proximité la moitié du temps	302	-	1250	20750	0
Extinction des éclairages extérieurs la moitié du temps	19	-	1095	4610	0
<b>Total</b>				<b>166950</b>	<b>97560</b>

\* : pour les circulations, nous prenons 25 % des consommations.

Faisabilité de la préconisation :

- Economies totales sur le pôle éclairage : 166950 kWh/an
- Economies financières estimées à : 12520 € TTC/an (0,075 €/kWh)
- Investissement global : 97560 € TTC
- Temps de retour global : > 8 ans.
- Temps de retour actualisé (Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 10 ans

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
éclairage	97560	26	1,8	12520	>8	>10	E

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

## 5.2. Informatique

Plusieurs solutions existent :

- La mise en place du logiciel libre Energy Star ([www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)), qui est un gestionnaire de veilles.

Pour savoir de quel gestionnaire d'énergie est muni un ordinateur, il faut se rendre dans le menu gestion des paramètres d'alimentation. Pour ce faire, depuis le bureau, on clique sur :

Démarrer  
Paramètres  
Panneau de configuration  
Option d'alimentation

Si les délais paramétrables proposés sont écran, arrêt des disques durs, veille et veille prolongée, le gestionnaire est ACPI (dernière génération de gestionnaire d'énergie disponible : type Energy Star). Si l'option veille prolongée n'est pas proposée, il s'agit d'une version antérieure.

Si on veut réduire efficacement les consommations d'énergie tout en maintenant des temps de remise en marche raisonnables, les délais conseillés sont les suivants:

Ecran : 10 minutes  
Veille (unité centrale) : 20 minutes  
Veille prolongée (unité centrale) : 60 minutes

Si le temps de sortie de l'état d'hibernation est suffisamment court, on pourra réduire le temps de passage dans cet état à 20 minutes. Il est conseillé de continuer à éteindre chaque jour son ordinateur, non pour des raisons de réduction de consommation (les puissances appelées en hibernation et à l'arrêt sont en général identiques) mais pour lui permettre de redémarrer quotidiennement et donc d'éviter des blocages intempestifs du système.

Des délais plus courts peuvent même être paramétrés (par exemple 5 minutes pour l'écran et 10 minutes pour l'unité centrale). L'économie afférente n'est pas négligeable. Cependant, si on veut que cette mesure soit acceptée, il faudra en parallèle sensibiliser les usagers à la nécessité de réduire leur consommation énergétique. Sans aucune explication, cette mesure pourra être rejetée car vécue comme inconfortable.

Pour les ordinateurs qui sont munis d'un gestionnaire de veille de génération antérieure à ACPI, on paramètrera le passage en veille uniquement de l'écran (délai : 10 minutes). En effet, la gestion d'énergie de l'unité centrale n'est pas suffisamment fiable pour généraliser son utilisation.

Il faut toujours garder en mémoire que le réglage des paramètres de gestion de l'énergie dépend essentiellement de la façon dont l'ordinateur est utilisé.

- La mise en place d'une horloge sur le TGBT avec actions sur toutes les imprimantes et photocopieurs. La plupart des appareils de bureautique continue de fonctionner inutilement au cours de la nuit (21 heures à 6 heures). On pourrait commander leur fonctionnement grâce à cette horloge, qui couperait l'alimentation des appareils de 21 h à 6 h du matin.
- Continuer à changer les écrans cathodiques par des écrans plats et remplacer au fur et à mesure ses consommables classiques par des consommables éco-labélisés (ex : les cartouches d'encre, ...).

**Faisabilité de la préconisation :**

- Economies liées à l'utilisation d'Energy star : 120 kWh/poste/an soit 54480 kWh/an sur les consommations électriques
- Economies liées au remplacement des écrans cathodiques : 68 kWh/écran/an soit 2380 kWh/an sur les consommations électriques,
- Economies liées à la mise en place de coupures sur les armoires électriques pour les photocopieurs et imprimantes : 263 kWh/photoc./an soit 32875 kWh/an sur les consommations électriques.

**Investissements :**

Coût des préconisations informatiques			
Désignation	Coût (€ HT/unités)	Nombre	Coût total (€ HT)
Energy Star	0	454	0
Horloge	60	10	600
Ecrans	240	35	8400
		Total	9000

- Economie énergétique totale : 89735 kWh/an
- Economies financières (0,075 €/kWh) : 6730 € TTC/an
- Temps de retour global : 1,3 ans.
- Temps de retour actualisé ( Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 2 ans

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
bureautique	9000	13,8	0,96	6730	1,3	>2	E+G

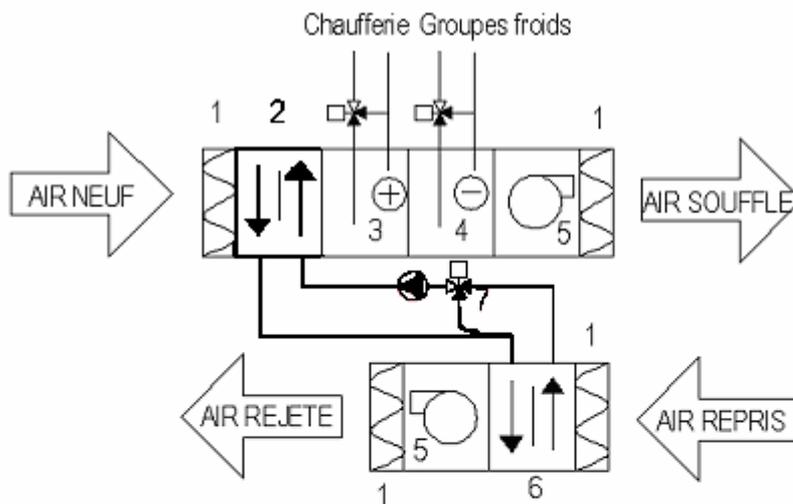
Valeurs données à titre indicatif et estimatif

### 5.3. Récupération de chaleur

**ATTENTION :** *Ce qui suit constitue une pré-faisabilité non chiffrée. Si cette préconisation est retenue, une étude de faisabilité chiffrée est obligatoire.*

Nous pouvons effectuer de la récupération d'énergie au niveau des centrales de traitement d'air en venant adjoindre des batteries de récupération en amont des ventilateurs de soufflage.

Pour cela il suffirait de mettre en place sur les 3 CTA présentes des caissons de mélange avec des échangeurs air/eau pour alimenter les batteries froides et les batteries chaudes, en fonction des périodes d'utilisations :



Légende :

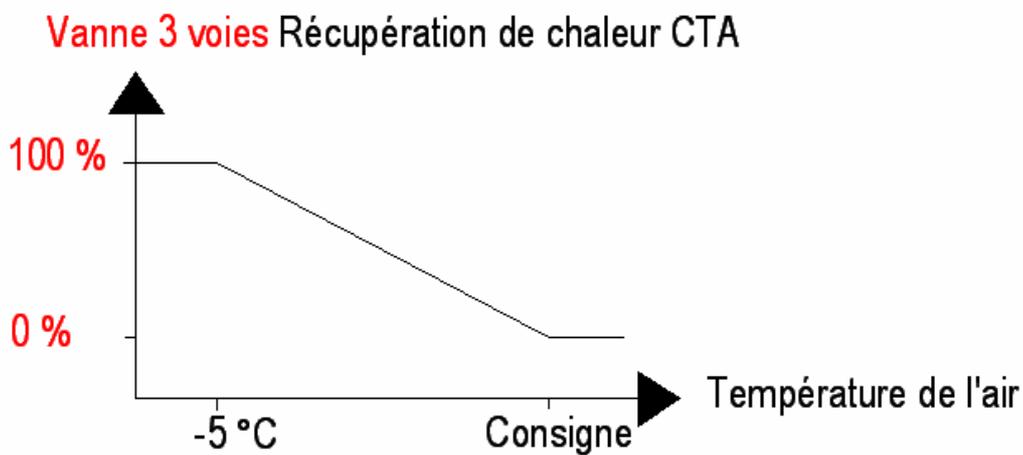
- 1 : Filtres
- 2 : Batterie de récupération (échangeur eau/air) pour pré-traitement de l'air neuf
- 3 : Batterie chaude
- 4 : Batterie froide
- 5 : Ventilateurs de soufflage
- 6 : Batterie de récupération (échangeur air/eau) pour la récupération de calories de l'air rejeté
- 7 : Pompe, V3V, et tuyaux nécessaires au transport du fluide chargé en calories récupérées sur l'air extrait et pré-traitant l'air neuf

Les parties rouges sont les appareils à ajouter aux installations existantes. Le reste est déjà mis en place.

Le but de cette préconisation est de pré-traiter l'air neuf par le biais de l'air rejeté pour éviter une perte totale d'énergie.

Seule cette solution permet de gérer les périodes estivales et hivernales. Nous augmenterons légèrement les consommations électriques par l'emploi des pompes et des vannes trois voies, mais les gains seront importants. En effet pour exemple, en été au lieu de refroidir de l'air neuf (extérieur) de 32°C à 26 °C, nous obtiendrons un air neuf à environ 29°C, ce qui diminuera par de ux la production d'eau glacée alimentant les CTA. Idem pour l'hiver.

Pour que cela fonctionne correctement, cela suppose l'utilisation de sondes de températures d'air au niveau de l'air neuf (entre 1 et 2) et aussi sur l'air rejeté (entre 1 et 6), des sondes sur 7, pour avoir les températures d'eau, des horloges et des régulateurs proportionnels pour adapter la récupération d'énergie aux besoins.



Compte tenu de la physionomie des différents circuits aérauliques et de l'emplacement des différents extracteurs, une étude de faisabilité et un chiffrage par une entreprise spécialisée est nécessaire.

#### 5.4. Variation de vitesse

Les équipements de ventilation sont équipés parfois d'une programmation mais les horaires ne correspondent pas toujours au taux d'occupation réel du bâtiment augmentant ainsi les dépenses énergétiques. A titre d'exemple, un ventilateur d'une puissance d'1 kW fonctionnant en continu consomme 8760 kWh/an soit une dépense d'environ 660 € par an. La commande par horloge est bien adaptée pour le contrôle des zones à occupation constante et à intermittence régulière (bureaux).

Sachant que les locaux sont occupés pendant une période de 8h à 18h en moyenne hors week-ends, il faut optimiser au mieux le temps de fonctionnement de ces équipements.

Pour du conditionnement d'air ou du renouvellement d'air en zone sèche, on coupera la ventilation en période d'inoccupation. Par contre pour de l'extraction en zones humides (toilettes, ...), il est préférable de diminuer le débit (petite vitesse) afin d'éviter des problèmes d'odeur en cas de coupure prolongée.

Par contre, une sur ventilation nocturne peut être bénéfique afin de décharger le bâtiment des calories emmagasinées en période estivale.

Pour les pompes c'est identique. Une pompe fonctionne toute l'année, que la sous station soit en fonctionnement ou non. Une pompe de 230 W fonctionnant pendant 8760 h/an, consommera 2015 kWh/an, soit environ 150 € TTC.

C'est pour cela que la variation de vitesse est intéressante, car elle coupera l'alimentation des moteurs (pompes ou ventilateurs) et ajustera les débits en fonction des besoins réels.

Faisabilité de la préconisation :

- Economies liées à la variation de vitesse sur la ventilation estimées à : 174110 kWh/an (*on diminue d'un tiers le fonctionnement des ventilations*)
- Economies liées à la variation de vitesse sur les pompes estimées à : *(On diminue le temps fonctionnement des pompes : période où les chaudières et GEG ne fonctionnent pas : environ 30 %) Nous avons 6 pompes de chauffage soit environ 14112 kWh/an.*  
*Pompe d'eau glacée : Nous avons 3 pompes d'eau glacée soit environ 11090 kWh/an*  
*Pompes d'eau condensée : Nous avons 2 pompes d'eau condensée + 1 de secours soit environ 7392 kWh/an.*
- Economies totales liées à la variation de vitesse estimées à : 206704 kWh/an
- Economies financières liées à la variation de vitesse estimées à : 15500 € TTC/an (0,075 €/kWh)
- Investissement global pour 12 pompes et 7 (4 tourelles ou VMA, 3 CTA) ventilateurs : 17 000 € TTC
- Temps de retour brut : >1 ans.
- Temps de retour actualisé (Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 2 ans

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
Variation de vitesse	17000	31,7	2,2	15500	>1	2	E+G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

### 5.5. Consommation d'eau froide

Nous encourageons la Cité Administrative à installer du matériel hydro-économe sur les points de puisage de lavabos.

Il s'agit de mettre en place des mousseurs sur chaque bec de robinets pour diminuer les débits d'eau sur les puisages aux lavabos et aux éviers. Ces mousseurs permettent une économie de 30 % en insufflant 30 % d'air dans le jet d'eau par le biais d'un joint torique.

**ATTENTION :** Il faut prévoir de les remplacer tous les 6 mois pour écarter tout risque de légionellose.

De même, nous préconisons le remplacement des cuvettes actuelles par des cuvettes hydro-économiques (3l / 6l)

### Bilan

Investissement			
Désignation	Nombre	Prix TTC unitaire (€)	Prix total TTC (€)
Mousseurs	65	24*	1560
Remplacement des cuvettes	86	150	12900
		Total	14460

\* : prix unitaire d'un mousseurs = 12 € TTC, mais nous en changeons deux fois par an, soit un investissement de 24 € TTC/an/lavabos et ou éviers.

En ce qui concerne les économies d'eau :

- Consommation initiale des lavabos : 300 m<sup>3</sup>/an
- Consommation après maîtrise de l'énergie : 210 m<sup>3</sup>/an
- Economie d'eau sur les lavabos : 90 m<sup>3</sup>/an, soit 30 % d'économie
  
- Consommation initiale des cuvettes : 1200 m<sup>3</sup>/an
- Consommation après maîtrise de l'énergie : 840 m<sup>3</sup>/an
- Economie d'eau sur les cuvettes : 360 m<sup>3</sup>/an, soit 30 % d'économie

- Prix de l'eau : 2,71 € TTC/m<sup>3</sup>
- Economie d'eau totale : 450 m<sup>3</sup>/an
- Economie financière : 1220 € TTC/an
- Investissement des appareils hydro-économes, : 14460 € TTC
- Temps de retour brut : > 12 ans.
- Temps de retour actualisé ( Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 16 ans

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ T.T.C/an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Matériel hydro-économe	14460	0	0	1220	>12	16	E+G

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

## 6. ANALYSE COMPORTEMENTALE

Les salariés du secteur tertiaire considèrent souvent les émissions de gaz à effet de serre générées par leur activité comme faibles, voire négligeables, par rapport aux émissions d'autres acteurs, notamment les industriels. Nous avons pu le constater en leur posant cette question : Sur une échelle de 1 à 10, (1 étant pas de pollution, 10 beaucoup de pollution) positionnez un curseur concernant vos émissions de gaz à effet de serre pendant votre travail. Sur 15 personnes, tous ont répondu entre 2 et 3 c'est à dire pas ou peu contributeur. Selon les idées reçues, « le pollueur », c'est effectivement plutôt l'entreprise industrielle avec une cheminée crachant de la fumée que l'entreprise tertiaire dont on a l'impression qu'elle n'utilise, au fond, qu'un peu de papier et quelques ordinateurs.

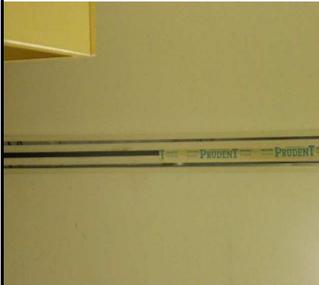
Pourtant, en France, les émissions directes de CO<sub>2</sub> du secteur tertiaire sont à peu près égales à celles des secteurs sidérurgique et chimique réunis ( Source : Inventaire France pour la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques – CCNUCC- 2006).

### 6.1. Analyse critique comportementale

Les occupants de la Cité Administratif sont des acteurs « passifs » de leur environnement de travail. De part la configuration des locaux et des systèmes mis en place, les utilisateurs n'ont que peu de moyens d'agir sur leurs conditions de travail. Nous avons pu relever lors de nos différentes visites des points montrant que les utilisateurs n'étaient pas sensibilisés aux économies d'énergie :

- Lors de pause, les utilisateurs quittent leur poste de travail en laissant les pc allumés. Il n'y a, a priori, pas de gestion des veilles d'écran ni de coupures de proximité pour les imprimantes.
- Eclairage toujours actif dans la journée (gestion manuelle)
- L'éclairage des sanitaires souvent en marche alors qu'il n'y a personne dans les sanitaires (interrupteur manuel)
- Une non prise en compte des sorties de sécurité occasionnant des ouvertures de portes, notamment celle donnant sur l'entrée du RESCAM
- Des habitudes vestimentaires des occupants montrant des défauts de régulation : personnel en chemisette en plein hiver.
- L'issue située au niveau -1 de la Cité Administrative reste ouverte fréquemment (car fermeture automatique par l'intérieure lors des « pauses cigarettes »), ce qui entraîne d'importantes déperditions de chaleur et ce tout ou long de la journée.
- Les postes informatiques, imprimantes, copieurs etc toujours en fonctionnement dans la journée même lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

**6.2. Quelques exemples identifiés lors de nos visites**

Dénomination	illustration	Analyse	remède
Eclairage		lumière artificiel en fonctionnement alors que l'éclairage naturel est satisfaisant	éteindre l'éclairage artificiel
Eclairage		lumière artificiel en fonctionnement alors que l'éclairage naturel est satisfaisant	éteindre l'éclairage artificiel
chauffage / climatisation		bouche de soufflage obturée	consignes de température ou réaménagement de l'espace de bureau
chauffage / climatisation		Fenêtre ouverte en hiver	consignes de température ou réaménagement de l'espace de bureau
Eclairage		interrupteur	détection automatique
Eclairage		espace inoccupé	éteindre l'éclairage artificiel

Eclairage		clairage artificiel non optimisé	éteindre l'éclairage artificiel
Informatique / bureautique		mprintante en fonctionnement	mettre l'appareil en veille ou à l'arrêt
informatique/bureautique		oc en fonctionnement	mettre l'appareil en veille ou à l'arrêt

Des actions de « bon sens » peuvent être mis en œuvre afin de réaliser des économies non négligeable d'énergie, mais il faut informer et sensibiliser le personnel de la Cité Administrative.

Certaines actions comportementales peuvent être facilement corrigées par une sensibilisation du personnel, mais d'autres, inhérente à la technologie installée à l'époque de la mise en service du bâtiment entraîneront des modifications des systèmes.

Nous préconisons de nommer un référent énergie au sein de la Cité Administrative afin de relayer le message de sensibilisation issu de ce diagnostic, d'informer sur les consommations d'énergies du bâtiment, et des coûts occasionnés, par des réunions, une campagne d'affichage...

Nous partons sur l'hypothèse d'un gain de 1% par la sensibilisation du personnel

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhep/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B: travaux sur bâtiment)
Sensibilisation du personnel	2000	3,9	0,4	2722	immédiat	immédiat	G

*Valeurs données à titre indicatif et estimatif*

### 6.3. Une piste d'amélioration

<b>Responsable « ENERGIE »</b>	
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des consommations énergétiques</li> <li>• Sensibilisation du personnel</li> </ul>	Compétence du référent
<p><b>1 : Définir le « Développement Durable » :</b> Que toutes les générations puissent jouir des énergies comme nous avons pu le faire jusqu'à présent</p>	
<p><b>4 :</b> Expliquer les différentes énergies renouvelables qui pourraient substituer les énergies fossiles, bien entendu après avoir diminué les besoins énergétiques</p>	<p><b>2 :</b> Enoncer les risques et les échéances liés aux énergies (contexte géo-politique, économique,</p>
<p><b>3 :</b> Communiquer sur les moyens techniques et comportementaux pour réaliser des économies d'énergie chez soi et</p>	
<b>Mise en œuvre</b>	
<p>Voici différentes mises en œuvre possibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mettre des autocollants et afficher des papiers concernant le gaspillage (pour éveiller les consciences)</li> <li>▪ donner à chaque salarié un ratio de consommation qui peut lui être attribué (consommations d'eau et d'énergie finale ramenées au nombre d'employés) pour lui montrer qu'il a une empreinte sur les consommations de l'établissement.</li> <li>▪ Penser à sensibiliser les employés sur ce qui peut être réalisé chez eux, car s'ils prennent de bonnes habitudes à la maison, celles-ci se répercuteront sur le lieu de travail.</li> <li>▪ Utiliser l'outil de suivi réalisé par l'APAVE pour permettre au responsable « Energie » de toujours connaître l'évolution des consommations en fonction des travaux ou des restructurations réalisables.</li> </ul>	
<b>Résultats d'analyse</b>	
<p>Une bonne sensibilisation permettra aux salariés de mieux se comporter au niveau énergétique (on peut atteindre une diminution de 5 % des consommations globales des établissements avec ce type de procédé).</p>	

**6.4. Aspect relatif aux équipements rapportés**

Dénomination	nombres	Consommation estimée en kWh	Remarques	remèdes	économies
convecteurs électriques	6	5000	Démontre un dysfonctionnement du système de chauffage	sensibilisation du personnel (s'habiller de manière adéquat en hiver : mettre un pull)	divisé la consommation par 2
				Sensibiliser le personnel à l'arrêt de cette source de chaleur le plus souvent possible	
				mise en place d'une horloge de coupure lors de l'inoccupation du bureau	
ventilateur	10	430	Démontre un dysfonctionnement du système de climatisation	Brumisateur	divisé la consommation par 2
				sensibilisation du personnel (s'habiller de manière adéquat en été : mettre un t shirt en coton)	
				réaménagement des bureaux (ne pas les coller aux baies vitrées)	
Chauffe eau	3	10950	Ces chauffe eau ont ils une utilité?	Suppression	10950
				mise en place d'une horloge de coupure lors de l'inoccupation du bureau	divisé la consommation par 2
Sèche mains	21	4625	appareils énergivores	Serviettes	4625
Réfrigérateurs	7	6130	nombre important (1 par plateau)	Création d'un local réfectoire ne regroupant que 2 réfrigérateurs	4000

Four à micro-ondes	8	2400	nombre important (1 par plateau)	Création d'un local réfectoire ne regroupant que 2 micro-ondes	1800
cafetière électrique	13	3300	nombre important (2 par plateau)	Création d'un local réfectoire ne regroupant que 2 cafetières	2800
Distributeur de boisson	2	1500	distributeur équipé d'horloge		
			grosse quantité de gobelets en plastique (sur 1 année / si chaque personnes consomment un café par jour cela représente 88000 gobelets/an)	Remplacement de ces distributeurs par des machines plus respectueuses de l'environnement : préférer la tasse	

Total des économies potentiels

26890 kWh

soit 2016,75 €

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWhép/m2.an)	Gain GES annuel (kg.epCO2/m2.an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G:Gestion; E:remplacement d'équipement;B:travaux sur bâtiment)
Sensibilisation du personnel	2000	4	0,3	2000	immédiat	immédiat	G

Valeurs données à titre indicatif et estimatif

## 7. ETUDE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

### Hypothèses

Pour l'étude d'approvisionnement en énergie de la Cité Administrative, nous partons des conclusions du diagnostic énergétique :

- SHON : 16800 m<sup>2</sup>,
- Puissance échangeur sous station : 3 MW
- Déperditions du bâtiment : 1250 kW soit 85 W / m<sup>2</sup>
- Consommation totale électrique : 1781711 kWh / an
- Consommation électrique pour la climatisation estimée à : 320982 kWh / an
- Consommation chauffage sous station : 1243170 kWh / an
- Surface à traiter thermiquement : 14720 m<sup>2</sup>

### 7.1. Système pressenti

Le système pressenti est la mise en place au niveau de la production de chauffage d'une chaufferie extérieure au gaz naturel. Suite aux conclusions du rapport E1, ils semblent nécessaire de sortir du réseau de chauffage urbain car :

- Le prix de 96€ TTC le MWh est élevé à comparer aux autres sources d'énergie. ( environ la moitié pour le gaz naturel )
- Le bilan CO<sub>2</sub> (0,313 kg de CO<sub>2</sub> / kWh pour la sous station de Mâcon) est élevé. A titre de comparaison, 1 kWh thermique provenant du gaz naturel équivalent à 0,240 kg de CO<sub>2</sub>.

L'installation d'une chaufferie dont le combustible serait le gaz naturel ( Le réseau gaz naturel dessert déjà le restaurant entreprise pour les appareils à combustion) nous paraît être la solution la plus rentable. Mais des modifications importantes concernant la production de chaleur devront être effectuées pour sortir du réseau de chaleur.

Effectivement, la chaufferie devra être située en dehors du bâtiment à cause de la problématique technique de l'évacuation des produits de combustion. Ce local technique pourra être situé au niveau du parking situé au niveau du bâtiment Nord ou bien au niveau de la toiture terrasse. De même, tous les réseaux extérieurs devront être repris.

Une étude de faisabilité réaliser par un bureau d'étude sera bien entendu nécessaire et ce paragraphe ne constitue en aucun cas une étude de faisabilité mais une première approche.

## Présentation du système pressenti

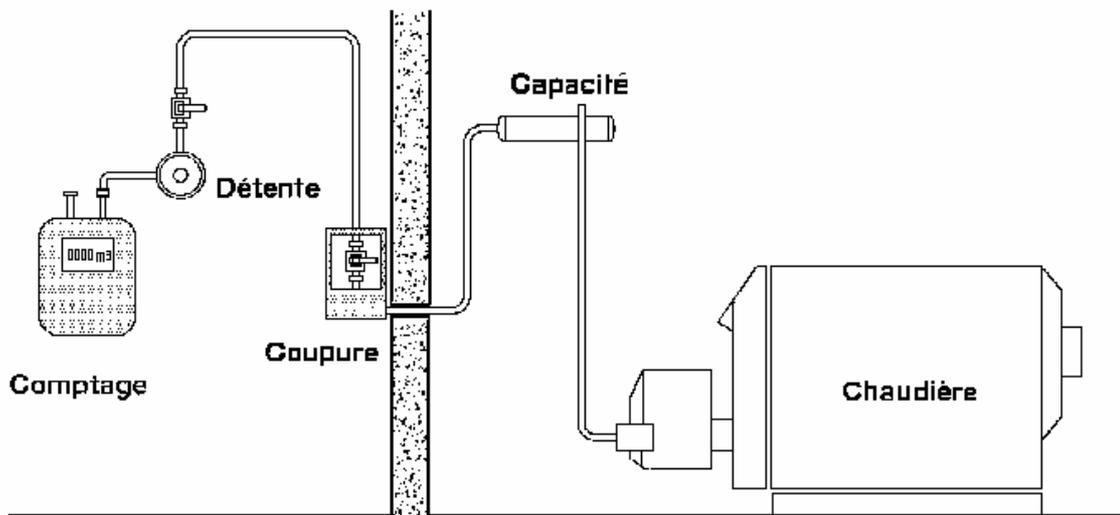
La combustion du gaz naturel entraîne la formation de produits de combustion. La chaudière gaz à condensation récupère la chaleur dite latente contenue dans la vapeur d'eau rejetée par les produits de combustion et la restitue au circuit de chauffage

Grâce à leur technologie, les chaudières gaz à condensation sont les seules chaudières capables d'atteindre des rendements supérieurs à 100%

Moins polluant que le pétrole ou le charbon, le gaz naturel s'associe naturellement à la chaudière à condensation. Cette solution limite les rejets et contribue à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. De forme analogue aux chaudières classiques, les chaudières à condensation sont munies d'un échangeur/récupérateur de l'énergie latente.

Nous préconisons l'emploi de 3 chaudières ( 1 de 300 kW, 1 de 500 kW, 1 de 600 kW) afin de combattre les déperditions estimées lors de la phase E1 et s'élevant à 1,4 MW. ( valeur des déperditions totale de 1250 kW a laquelle nous avons ajouté un coefficient de 10% de surpuissance. Nous avons préconisé la mise en œuvre de 3 chaudières placées en cascade afin d'étager la puissance délivrée et ainsi solliciter le matériel à bon escient et éviter les usures prématurées.

## Schéma d'installation



**Bilan**

Description	Consommations EP		Impact environnemental sur EP	
	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	MWh <sub>ep</sub> /an	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an	TCO <sub>2</sub> /an
Chauffage à condensation au gaz naturel (1 x 300 kW) (1 x 500 kW) (1 x 600 kW)	Chauffage :  85	Chauffage :  1,25	Gaz :  19	Gaz :  320
+ climatisation des serveurs informatiques et des bureaux	56	0,828	Electricité : 4	Electricité : 57

\* : Coût des énergies :

- Gaz naturel : 0,051 € TTC/kWh EF
- Electricité : 0,077 € TTC/kWh EF .
- Calories du réseau de chaleur de la ville de Mâcon (2008) : 0,096 € TTC/kWh EF

En première approche

- Investissement de l'ordre de 400000 € TTC pour la fourniture des 3 chaudières, de leur mise en œuvre à l'extérieure du bâtiment, de la création d'un local chaufferie, et de la reprise des réseaux ( gaz, chauffage)
- Coût d'exploitation annuel 2008 sous station Cité Administrative : 119269 € TTC
- Coût d'exploitation annuel chaufferie condensation : 63888 € TTC soit un écart de 55381€ uniquement sur le prix de l'énergie.
- Gain en T CO<sub>2</sub>/an : 69
- Temps de retour brut hors frais de maintenance : > 7 ans
- Temps de retour actualisé ( Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 9 ans

## 7.2. Variantes non retenues

- Le système éolien :

N'est pas adapté pour cause de temps de retour sur investissement trop long. L'espace requis pour l'implantation d'une éolienne n'a pas été envisagé. De plus, l'accueil d'une éolienne sur Mâcon, risque de rencontrer de l'opposition de la part des habitants de la commune à cause de l'esthétisme et du bruit de l'éolienne à prendre en compte.

- Les pompes à chaleur géothermiques :

- Pas suffisamment de place pour un captage horizontal (pour l'emprise du bâtiment, il faudrait un terrain au moins 3 fois plus grand.
- Le sol ne se prête pas à l'application du captage vertical (sol meuble : sable qui peut entraîner des dégâts de matériels irréversibles.
- Les puissances mises en jeu ne permettent pas de concevoir ce type de production.

- Le solaire thermique :

- Cette solution n'est pas intéressante car la Cité Administrative se passe déjà d'eau chaude sanitaire, et de plus, l'investissement de capteurs solaires thermiques ne se justifie pas car c'est en été que les rendements sont les meilleurs alors que les besoins de la Cité sont concentrés sur la période de chauffe.

### 7.3. Variantes envisageables

#### Les systèmes de chauffage au bois ou à biomasse

Il s'agit de stocker dans un silo des granulés ou du bois déchiqueté qui sera ramené automatiquement à la chaudière lors de son fonctionnement. Grâce à des sondes spécifiques, la chaudière réalisera le bon mélange air/bois afin d'obtenir les meilleures performances avec le minimum de rejet de CO<sub>2</sub> (gaz responsable de l'effet de serre. Ce même CO<sub>2</sub> sera absorbé par les arbres en croissance qui seront, à leur maturité, eux même brûlés. Ainsi, grâce à des chaudières bois performantes et une bonne gestion des ressources forestières, nous arrivons à un « bilan CO<sub>2</sub> » neutre.

#### Un combustible écologique

Le granulé de bois est un petit cylindre de sciure de bois très fortement compressée. Sa haute densité énergétique et sa fluidité en font un combustible moderne permettant l'automatisation complète des systèmes de chauffage. Ceci fait actuellement son succès en Europe car le confort d'utilisation est proche de celui du mazout ou du gaz.

La matière première est finement broyée puis séchée et comprimée. Le séchage est réalisé avec des chaudières à déchets de bois, garantissant ainsi un bon bilan écologique.

En effet, la consommation d'énergies fossiles émet des gaz à effet de serre et provoque le réchauffement global de la planète, mais le bois est neutre car la quantité de CO<sub>2</sub> émise lors de la combustion est complètement absorbée par les arbres de remplacement, dans le cadre du cycle naturel du carbone.

La fourniture du granulé de bois, ne demande que 5 à 10 % de l'énergie contenue dans le combustible pour collecter le bois, le sécher, le transformer et le transporter. La technologie des poêles et des chaudières à granulé permet un rendement de 80 à 95 % selon les appareils et les conditions de fonctionnement.

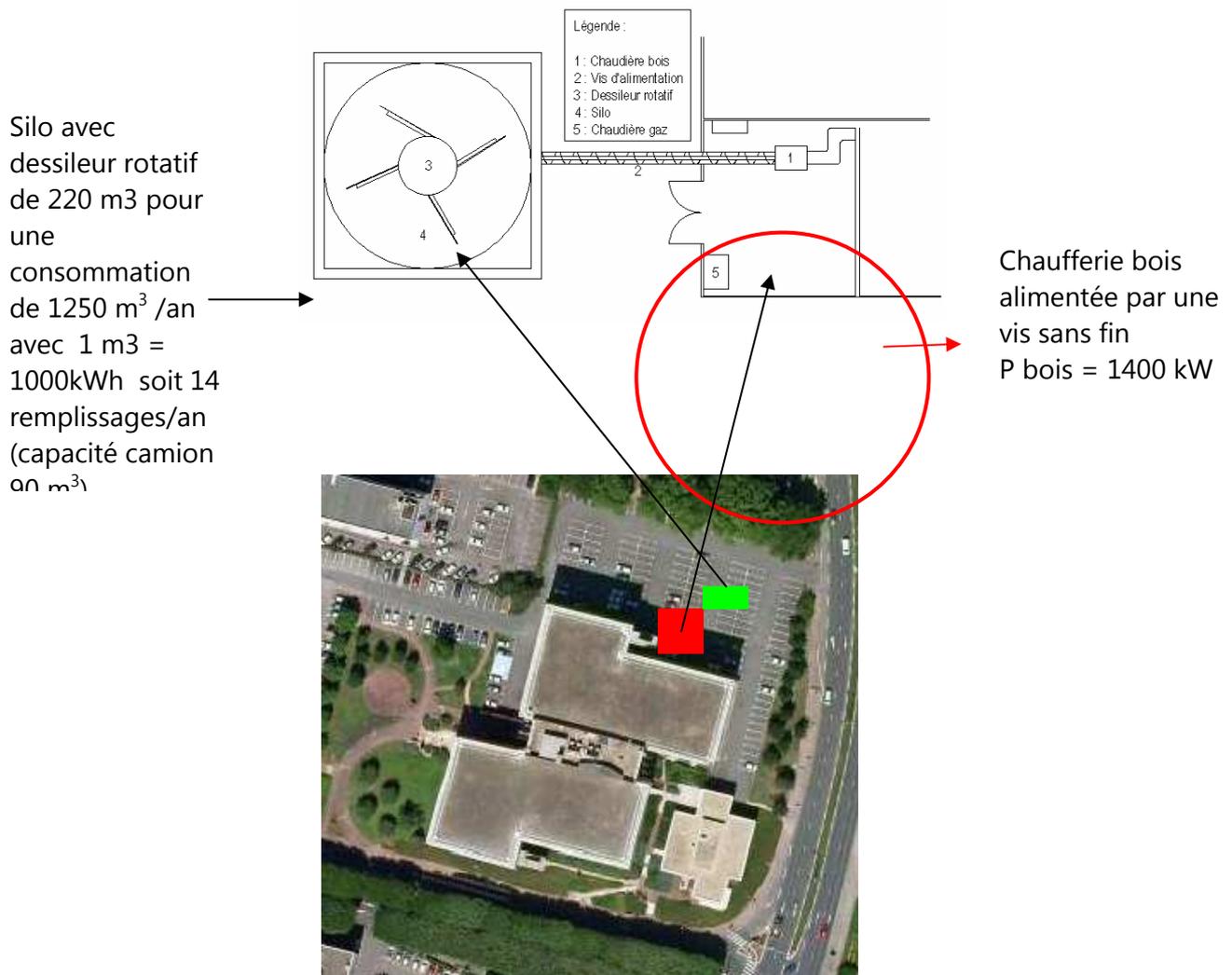
En comptabilisant l'énergie consommée à la chaleur produite, y compris les étapes de transport et raffinage, le chauffage au bois émet 40 kg de CO<sub>2</sub> par MWh de chaleur utile alors que les chaufferies au gaz, au fioul et à l'électricité émettent respectivement 222 kg, 466 kg et 180 kg de CO<sub>2</sub> par MWh. Ainsi, l'utilisation du bois permet de diviser les émissions de CO<sub>2</sub> par 12 par rapport au fioul et par 6 par rapport au gaz.



Le parking au nord du bâtiment permet l'accessibilité de camion pour les livraisons de bois.

De plus, le parking peut amplement recevoir un silo de 220 m<sup>3</sup>, à condition d'en condamner une partie.

### Exemple d'installation d'une chaufferie bois, et de son silo



Le chiffrage prend en compte l'hypothèse d'un silo aérien et non enterré pour la raison de la proximité avec la Saône et de la problématique zone inondable

**Bilan**

Description	Consommations EP		Impact environnemental		Gains annuels		
	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	MWh <sub>ep</sub> /an	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an	T CO <sub>2</sub> /an	€ TTC/an*	Investissement (€ TTC)	TRB*
Production chauffage bois énergie (puissance bois = 100% de la puissance, soit 1400 kW)	Ch. bois : 95	Ch. bois : 1,25	3,1	52	79500	700000	8

Taux CO<sub>2</sub> :

- Calorie réseau de chaleur SMADEC : 0,313 kg CO<sub>2</sub> / kWh
- Granulé bois : 0,042 kg CO<sub>2</sub> / kWh

\* : Coût des énergies :

- Calories réseau de chaleur SMADEC : 0,096 € TTC/kWh EF
- bois : 0,032 € TTC/kWh EF en moyenne.

\*\* : Temps de retour hors subvention et hors prise en charge de l'évolution du prix des énergies.

En première approche

- Investissement de l'ordre de 700000 € TTC pour la fourniture des 3 chaudières (800/600/200 kW), de leur mise en œuvre à l'extérieur du bâtiment, de la création d'un local chaufferie, et de la reprise des réseaux (gaz, chauffage), de la fourniture du silo, de la vis sans fin...
- Coût d'exploitation annuel 2008 sous station Cité Administrative : 119269 € TTC
- Coût annuel chaufferie bois : 39750 € TTC soit un écart de 79519 € uniquement sur le prix de l'énergie.
- Gain en T CO<sub>2</sub>/an : 337
- Temps de retour brut hors frais de maintenance : > 8 ans
- Temps de retour actualisé (Taux de l'OAT<sub>10</sub> = 3,44%) = 11ans

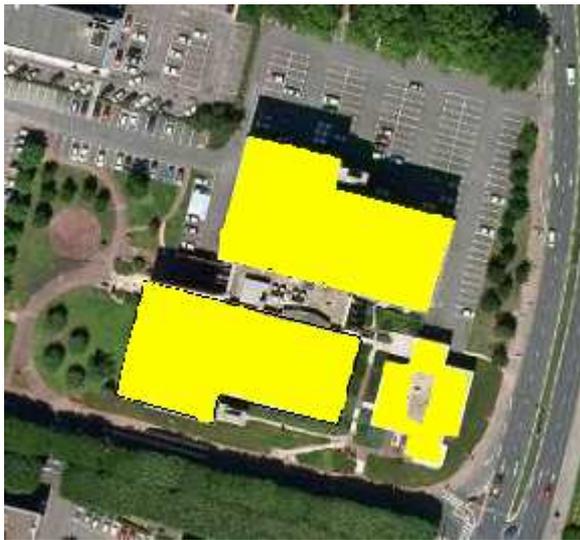
Autres possibilités :

La possibilité de l'intégration d'une chaufferie commune aux bâtiments Cité Administrative et DDT a été évoquée lors de la réunion du 18 février. La possibilité de couplage des deux bâtiment paraît envisageable mais comme la puissance sur PCI sera très probablement supérieure à 2MW, cette solution tombe de fait sous le coup de l'arrêté du 25 juillet 1997, qui est plus contraignant notamment concernant les contraintes d'exploitation (mesures rejets atmosphériques, plateformes de mesures

normalisées NFX44052, contrôle quinquennal...). Dans ce cas de figure, et si ce choix est retenu, nous préconisons une étude de faisabilité.

### Solaire photovoltaïque

Sur la toiture, il est possible de réaliser une installation avec des capteurs positionnés sur des châssis.

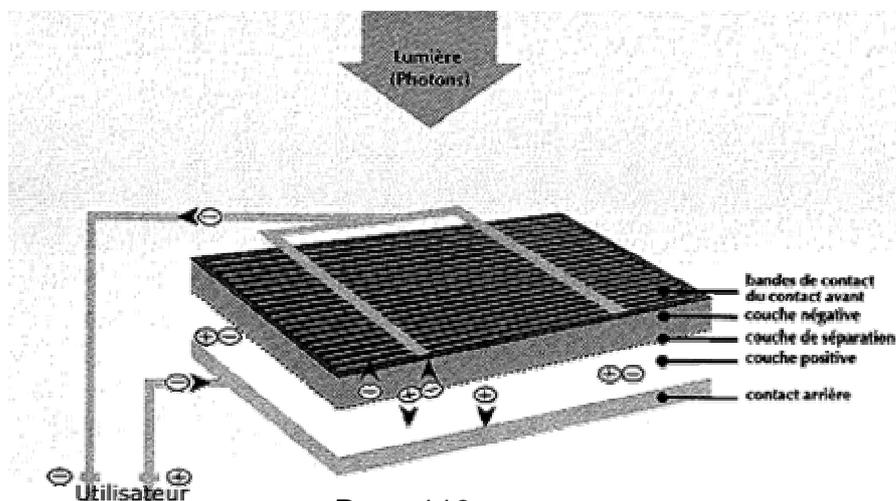


La surface disponible est d'environ 2800 m<sup>2</sup> pour la Cité Administrative et de 290 m<sup>2</sup> pour le Rescam

### Présentation du principe

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie.

### Schéma d'installation



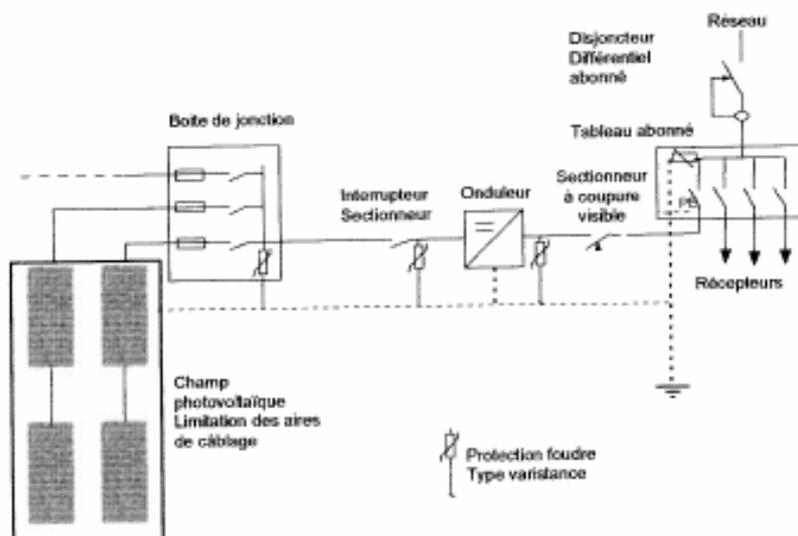
## Systeme connecté au réseau

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. Dans le cas de systèmes connectés au réseau, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un **onduleur**. Le rendement typique d'un onduleur est d'environ 95%. Il en existe de différentes puissances et les onduleurs sont conçus spécifiquement pour les applications photovoltaïques. L'onduleur possède également une fonction de découplage du réseau qui empêche d'injecter du courant sur le réseau lorsque celui-ci n'est pas en fonctionnement et une fonction de protection contre les surtensions.



## Synopsis d'installation

Voici le synopsis de l'installation photovoltaïque et de sa protection anti-foudre :



### Technologie prescrite

Il s'agit de capteurs photovoltaïques à membrane étanche à base de couche mince en intégration simplifiée à la toiture pouvant ainsi bénéficier du tarif préférentiel de rachat (environ 45 € le MW.).



### Bilan

Description	Production d'électricité EP		Impact environnemental		Invest. (€ TTC)	TRB**
	kWhep/m <sup>2</sup> /an	MWhep/an	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /a n	TCO <sub>2</sub> /a n		
Production Photovoltaïque (3090 m <sup>2</sup> de capteurs solaires atteignant une production électrique estimée à 154500 kWh EF/an)	Solaire PV : 50	Solaire PV : 0,15	4	Gain CO <sub>2</sub> : 40	50000	11,5
Onduleurs/raccordement au réseau					50000	
Protection foudre 9 jeux de parafoudre environ					15000	

1 kWh électrique d'origine PV produit 80 g de CO<sub>2</sub>

- 1 kWc correspond en moyenne à 1000 kWh
- \*\* : Temps de retour hors subvention et hors prise en charge de l'évolution du prix des énergies.

- Temps de retour brut : 16,5 ans
- Temps de retour actualisé ( taux  $OAT_{10} = 3,44\%$ ) : 28 ans (*hors frais de maintenance et remplacement des onduleurs*)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Production d'électricité d'origine renouvelable</li><li>- Bilan environnemental intéressant</li><li>- Vente de l'électricité</li><li>- Assurance de conservation du rendement de production (chute du rendement inférieure ou égale à 20 %) pendant 25 ans</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Montage de dossier de rachat d'électricité, par le fournisseur : délai long</li><li>- maintenance des capteurs (nettoyage)</li><li>- nécessité d'une pente de 3%</li></ul>

## Conclusion

Cette étude nous conduit aux conclusions suivantes :

- L'objectif prioritaire est de réajuster les débits des CTA. C'est sur ce poste que les économies seront très importantes et ne nécessiteront que peu d'investissements.
- Le second objectif est de sortir du réseau de chaleur SMADEC car celui-ci conduit à des coûts d'exploitation élevés, et l'impact environnemental est élevé.
- Le système pressenti est l'installation d'une chaufferie au gaz naturel (celui-ci est présent à proximité) mais cette solution conduit à des investissements lourds à cause de la configuration du site. La chaufferie devra être extérieure au bâtiment compte tenu de la réglementation actuelle sur les chaufferies, et également aux contraintes liées à ce type de technologie.
- L'utilisation du bois énergie peut être envisagée. Le temps de retour est élevé et l'investissement est lourd de part la construction du silo, l'achat de la vis d'alimentation et des chaudières bois. Si des fournisseurs peuvent garantir un coût moindre du combustible et si des subventions sont accordables, alors la viabilité du projet peut être démontrée ; il conviendrait de réaliser une étude complémentaire.
- Le solaire photovoltaïque est un choix envisageable avec comme tarif de rachat : 0,45 € / kWh. Son temps de retour est nettement inférieur à sa durée de vie. En effet les capteurs photovoltaïques sont garantis à un rendement de 80 % pendant 25 ans. Le bilan CO<sub>2</sub> des capteurs est quant à lui compensé au bout de 8 ans. Il convient également dans ce cas, de réaliser une étude complémentaire.
- Des actions de « bon sens » peuvent être mis en œuvre avec des économies potentielles importantes. Mais cela passera par une sensibilisation de tous les acteurs et leur implication devra être importante.

**8. ANNEXE**

## Synthèse des préconisations

Amélioration proposée	Coût d'investissement (€ H.T.)	Gain énergétique annuel (kWh/ep/m <sup>2</sup> .an)	Gain GES annuel (kg.epCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an)	Gain économique annuel (€ H.T./an)	Temps de retour brut (an)	Temps de retour actualisé (an)	Nature de l'amélioration (G: Gestion; E: remplacement d'équipement; B: travaux sur bâtiment)
Remplacement TRANE Type CGWD 214E	80000	0,78	0,14	983	>80	>100	E
Détartrage réseau	1000	8,6	1,55	4210	<1	<1	G
Variation vitesse ventilateur tour aérofrigorifère	2400	2,17	0,15	1060	>2	>3	G
Augmentation température eau évaporateur groupe centrifuge	0	1,1	0,07	558	immédiat	immédiat	G
Augmentation température eau évaporateur groupe piston	0	0,1	0,01	50	immédiat	immédiat	G
Détartrage groupe centrifuge	1000	3,8	2,6	1860	>1	>1	G
Détartrage groupe piston	1000	0,5	0,04	246	>1	>1	G
Amélioration de la régulation	0	2,1	0,15	1000	immédiat	immédiat	G
Réduire le débit d'eau glacée dans l'installation	0	0,07	0,04	35	immédiat	immédiat	G
Augmenter la température du réseau d'eau glacée	0	13	0,9	6300	immédiat	immédiat	G
Améliorer l'efficacité des ventilateurs convecteurs	0	0,43	0,03	210	immédiat	immédiat	G
Diminution des débits de renouvellement d'air	négligeable	100	15,3	87436	immédiat	immédiat	G
Abaisser la consigne d'humidification à 40%	0	0,34	0,02	436	immédiat	immédiat	G
Optimisation du free-cooling	0	1,47	0,1	720	immédiat	immédiat	G
Baisse des consignes de températures	0	23,7	7,4	38160	immédiat	immédiat	G
Mise en place de casquettes solaires	150000	2,3	6	4567*	33	>100	B
Remplacement des vitrages	875892	29	9,1	46984	18,6	31	E
Isolation par extérieur	693000	3	0,97	5000	>100	>100	B
Remplacement des allèges dégradées Mise en place de panneaux isolants pré-découpés et fixés sur l'existant	248000	2,8	0,88	4530	55	>100	B

Isolation plus performante toiture	210000	0,8	0,25	1300	>100	>100	B
éclairage	97560	26	1,8	12520	>8	>10	E
bureautique	9000	13,8	0,96	6730	1,3	>2	E+G
Variation de vitesse	17000	31,7	2,2	15500	>1	2	E+G
Matériel hydro-économe	14460	0	0	1220	>12	16	E+G
Sensibilisation du personnel	2000	3,9	0,4	2722	immédiat	immédiat	G
Sensibilisation du personnel	2000	4	0,3	2000	immédiat	immédiat	G