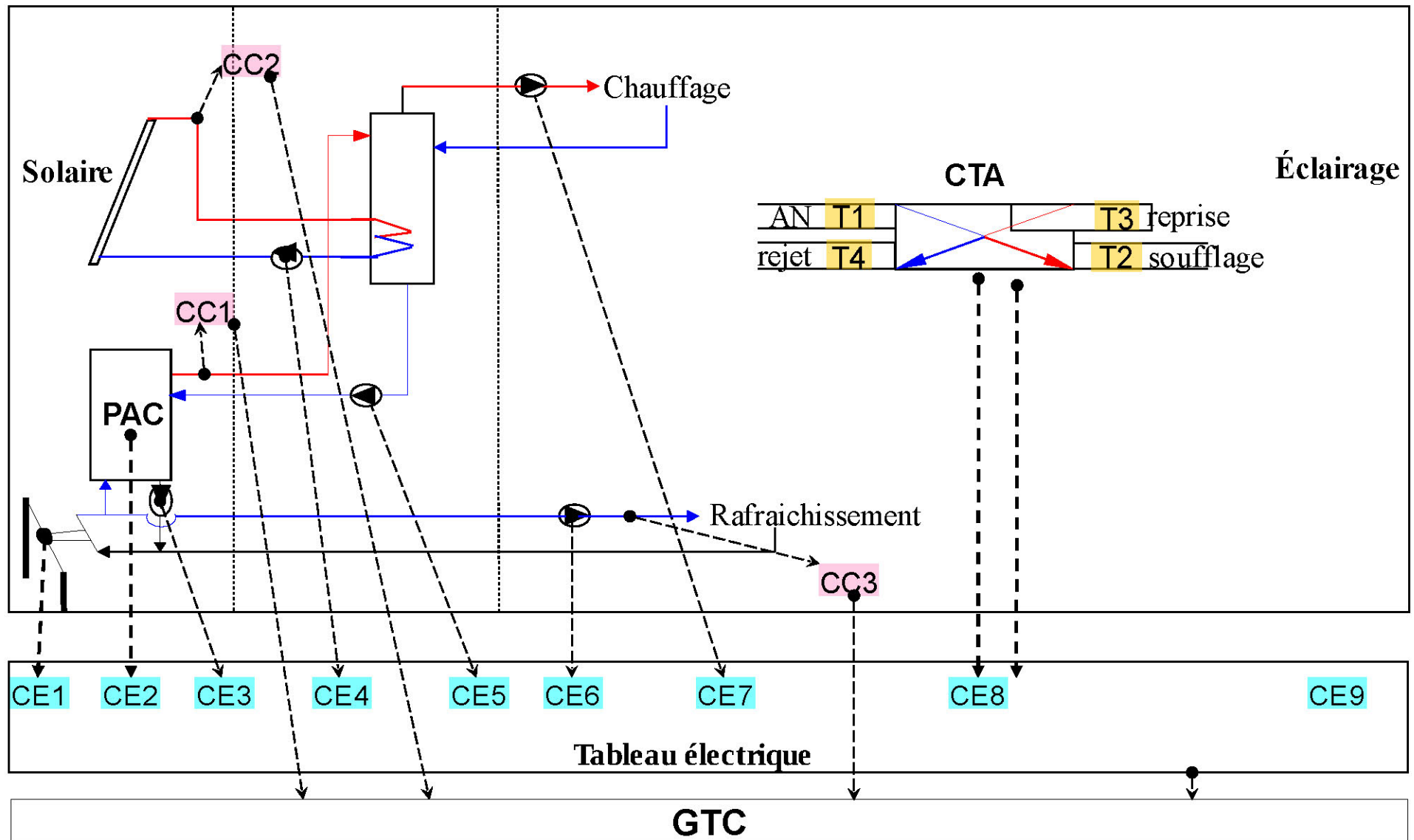


### 4.3. Schéma de principe



## 4.4. Observations

### Concernant les capteurs autonomes :

- Le capteur TH1 permettra de mesurer les températures et les hygrométries de la salle d'exposition près du pupitre de commande de la régulation du bâtiment.
- Le capteur TH2 permettra de mesurer les températures et les hygrométries du bureau n°4 du bâtiment.
- Le capteur TH3 permettra de mesurer les températures et les hygrométries extérieures.

### Concernant les compteurs de calorie :

- La production de calories pour le chauffage est déduite des compteurs CC1 (production de la PAC) et CC2 (production solaire). De plus, ceux-ci nous permettront d'analyser l'impact du solaire par rapport à la PAC.
- La production de frigories est évaluée par le compteur CC3.

### Concernant les compteurs électriques, ils ne doivent pas être remis à zéro, même en cas de coupure de courant.

- L'ensemble des consommations électriques auxiliaires sera évaluée via les compteurs électriques CE1 et CE3 à CE7. Ainsi, nous pourrions connaître avec précision la part des auxiliaires de chauffage, de rafraîchissement, de ventilation...
- Le compteur électrique CE2 permettra de connaître la part exacte du chauffage au sens de la RT2005.
- Le compteur électrique CE8 permettra de connaître la part exacte de la ventilation au sens de la RT2005.
- Le compteur électrique CE9 permettra de connaître la part exacte de l'éclairage au sens de la RT2005. De plus, ce poste est particulièrement important dans un bâtiment tertiaire.
- Les capteurs de température sur l'échangeur double-flux permettront d'évaluer l'efficacité de cet équipement.
- La production des capteurs photovoltaïques n'entre pas dans le bilan thermique de la RT2005. Cependant l'énergie produite sera évaluée via les relevés mensuels d'EDF.

## 4.5. Accès aux installations thermiques et à l'instrumentation

Le maître d'ouvrage s'engage pendant la campagne de mesure à donner accès au CETE de l'Est aux équipements thermiques et au matériel de mesure pendant la "campagne de mesure". Les visites du CETE de l'Est se feront au rythme trimestriel à des dates fixées par avance entre le CETE et le maître d'ouvrage en fonction de leur disponibilité.

## 4.6. Confidentialité et accès aux résultats

Les données recueillies ne présentent aucun caractère personnel ou d'ordre privatif et ne sont analysées que pour des finalités scientifiques et techniques. De plus dans le cadre de la loi informatique et liberté aucun fichier nominatif ne sera constitué. Les rapports issus de la campagne de mesure sont la propriété intellectuelle du suiveur et leur diffusion est du ressort des commanditaires : ces rapports ne contiennent aucune donnée confidentielle.

Le maître d'ouvrage a accès aux résultats des mesures et aux rapports de suivi sur simple demande auprès de l'ADEME.

## 4.7. Devis instrumentation

	Prix total HT	TVA 19,6%	PT TTC
<b>Travaux électricien</b>			
Fourniture + main d'œuvre	5459	1069,96	6528,96
<b>Travaux chauffagiste</b>	4569	895,52	5464,52
Fourniture + main d'œuvre			
<b>TOTAL</b>	<b>10028</b>	<b>1965,48</b>	<b>11993,48</b>

## 5. Phase 3 : Suivi d'exploitation du bâtiment 1ère année

L'analyse des premiers relevés d'instrumentation s'est effectué sur une période de 1 an, ici du 28 mai 2010 au 27 mai 2011. Cette année de mesures permet d'analyser les informations au pas de temps horaire.

Les compteurs mis en place pour l'instrumentation du bâtiment sont rappelés au paragraphe 4 « protocole de suivi ».

Pour rappel, l'opération possède les systèmes techniques suivants :

- une PAC géothermie/eau
- un chauffage par batteries chaudes intégrées au système de ventilation
- une VMC double flux et un système indépendant assurant la sur-ventilation nocturne
- des panneaux solaires thermiques et photo-voltaïques (non pris en compte lors du calcul réglementaire)

L'objectif de cette analyse est :

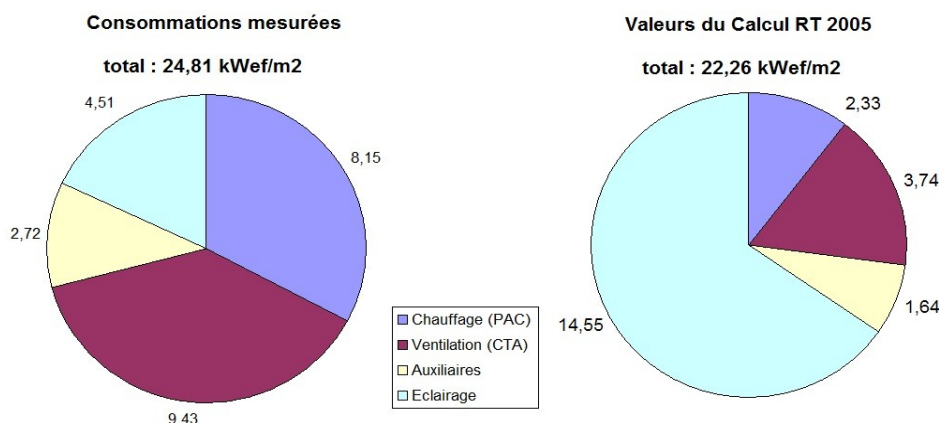
- de mettre en parallèle les consommations annuelles mesurées avec celles calculées dans la note réglementaire,
- de s'assurer du bon usage du bâtiment (Systèmes techniques, éclairage etc...),
- d'interpréter les écarts de consommation et calculer les performances réelles de l'enveloppe et des systèmes, et évaluer l'impact qu'elles peuvent avoir sur la consommation réelle.
- et enfin, d'évaluer la qualité du confort thermique intérieur.

### 5.1. Analyse des consommations

Les consommations sont issues de données d'enregistrement couvrant la période du 28 mai 2010 au 29 mai 2011. Cette année de mesure permet d'observer le bâtiment avec une bonne fiabilité des valeurs pour la majorité des compteurs mis en place.

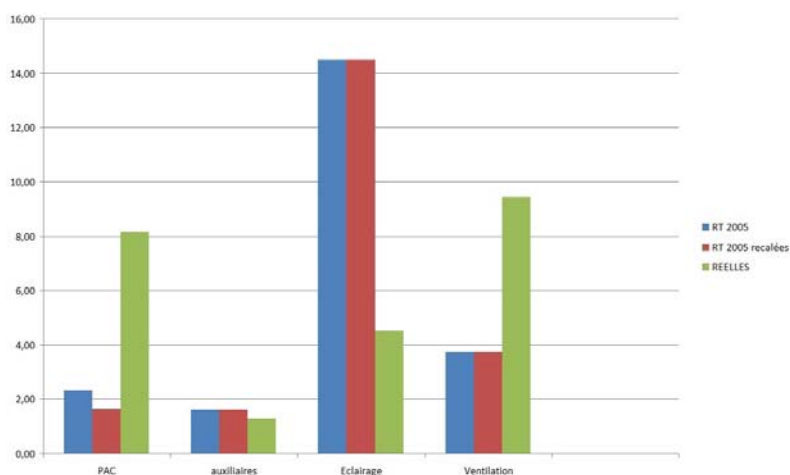
#### 5.1.1. Résultats

Pour illustrer les consommations constatées les valeurs sont exprimées en énergie finale. La répartition des consommations par postes suivant la méthode RT 2005 permet d'établir un premier bilan du bâtiment.



La consommation globale mesurée est proche de la valeur de calcul. Cependant la répartition par poste présente des valeurs constatées nettement supérieures pour le chauffage et la ventilation. C'est l'inverse pour l'éclairage.

Le calcul RT2005 prend en compte des degrés-jour unifiés (soient 3243 DJU) nous pouvons comparer les consommations par poste en recalant les valeurs avec les DJU observés (soient 2247).



En toute logique la consommation recalée est revue à la baisse avec des DJU observés ici favorables.

### 5.1.2. Analyse

Ces premiers constats révèlent des consommations mesurées nettement supérieures aux résultats des calculs réglementaires, sauf pour l'éclairage.

Le chauffage réel consommé est plus de trois fois supérieur à la valeur attendue, de plus le recalage des DJU observés accentue cet écart (2,11 kWh/m²). Ce résultat sera illustré par l'observation de l'usage du bâtiment et l'analyse des systèmes.

L'analyse de la ventilation mérite aussi d'être observée plus en détail, ce bâtiment étant équipé d'une sur-ventilation nocturne raccordée sur le même compteur électrique.

La consommation mesurée des auxiliaires est supérieure à la valeur de calcul. En fait, le calcul réglementaire ne prend pas en compte tous les auxiliaires. Pour affiner la comparaison il faut déduire les auxiliaires qui ne sont pas pris en compte par le calcul réglementaire (pour le cas présent les distributions de froid et d'échangeur solaire). Ce sont donc  $2,72 - (0,07 + 0,08) = 2,57$  kWh/m² qu'il faut comparer aux 1,64 kWh/m² du calcul.

Concernant l'éclairage; la valeur de calcul théorique est basée sur un ratio de 8 W/m², soit une puissance totale de 2,51 kW. D'après les constats de luminaires mis en place la puissance réelle-

ment installée est de 1,65 kW. Cependant même en appliquant la puissance réellement installée la consommation globale d'éclairage reste en dessous de la valeur de calcul( une consommation théorique recalée de 9,56 kWh/m<sup>2</sup> pour 4,51 kWh/m<sup>2</sup> observés).

Ces premiers ajustements nous permettent de comparer les valeurs suivantes :

	Mesures réajustées	Valeurs de Calcul corrigées
Chauffage	8,15	1,62 <i>(corrections DJU)</i>
Ventilation	9,43	3,74
Auxiliaires	2,57 <i>(déduction des auxiliaires non identifiés par le calcul)</i>	1,64
Éclairage	4,51	9,56 <i>(correction de la puissance installée)</i>
<b>Total</b>	<b>24,20 kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>16,52 kWh/m<sup>2</sup></b>

## 5.2. Usage du bâtiment

Un premier focus est réalisé sur l'utilisation du bâtiment et notamment de ses systèmes .

Chaque système (au sens du calcul réglementaire) sera observé sur une ou plusieurs périodes choisies. Il s'agit ici, de vérifier l'utilisation attendue de la ventilation, du chauffage, des auxiliaires et de l'éclairage.

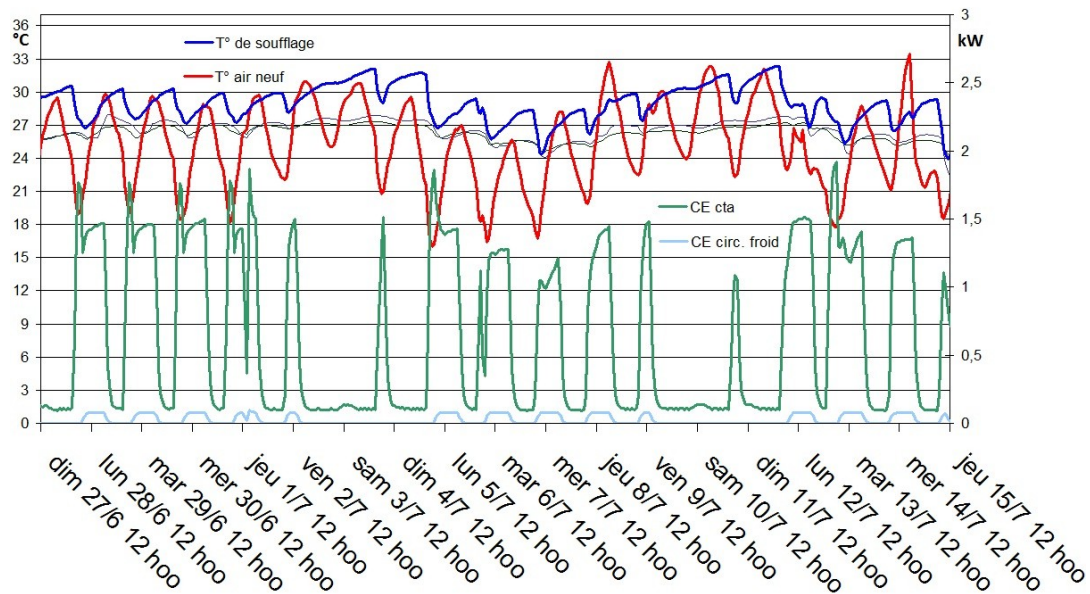
### 5.2.1. Système de ventilation

L'analyse des températures au niveau de la VMC nous permet d'observer le rôle de récupérateur de chaleur du caisson double flux.

#### Conditions estivales :

Le graphique ci-dessous montre la température d'air neuf arrivant dans le caisson double flux ainsi que la température d'air de soufflage à l'intérieur du bâtiment après passage dans le caisson. En parallèle, ce graphique montre également l'évolution des consommations des ventilateurs et de la pompe de circulation du circuit de rafraîchissement sur une période d'été (du 27 juin au 15 juillet 2010).

Observations des températures et des consommations de la CTA



Ces trois semaines d'enregistrement mettent en évidence l'utilisation de ce système avec les observations suivantes :

Les températures intérieures (courbes fines grises) au niveau de l'accueil et de la salle de réunion sont comprises entre 22,5 et 27,9°C. La température de soufflage sera abaissée au contact des batteries froides dans les gaines de distribution après le point de mesure ici présenté. La différence de température entre air neuf et soufflage n'est bien lisible que pour la première semaine. L'évolution des températures sur cette période est cohérente et ne permet pas d'expliquer une surconsommation mesurée pour le système de ventilation.

La sur-ventilation nocturne est effectivement constatée les 28 ;29 ;30/06 et les 1er;5 ;13/07 de 01:00 à 06:00 du matin.

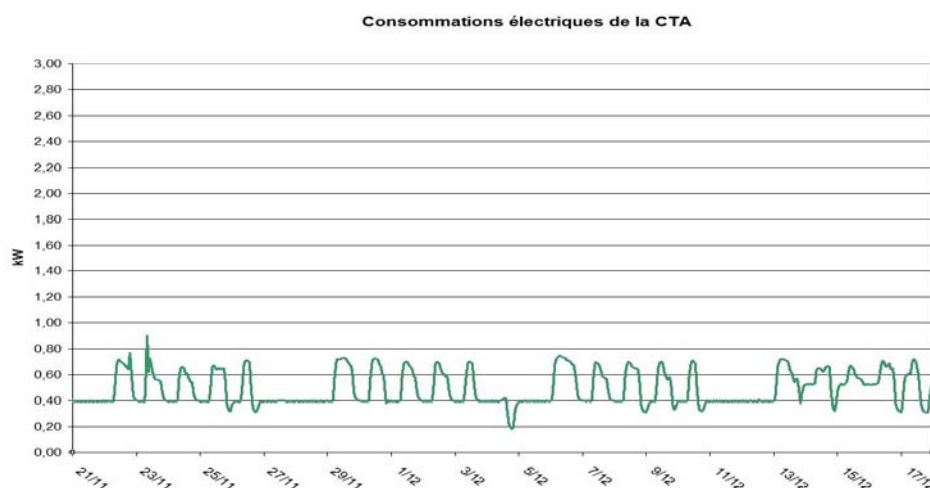
La consommation de la ventilation apparaît en journée en parallèle à la consommation du circuit de rafraîchissement, ce système n'est pas sollicité le week-end. En déduisant la consommation de la sur-ventilation nocturne (365kWh) la consommation totale de ventilation à prendre en compte serait de 2595 kWh.

Les consommations des ventilateurs et du circuit de rafraîchissement sont synchrones donc cohérents. Les consommations des 2 et 9 juillet laissent supposer une programmation d'une plage d'occupation plus courte les vendredis. **La ventilation par contre fonctionne les dimanches.**

A noter : le fonctionnement du rafraîchissement et de la ventilation est observé le jour férié du 14 juillet.

La variation de la courbe de consommation des ventilateurs ne fait pas apparaître un cycle régulier.

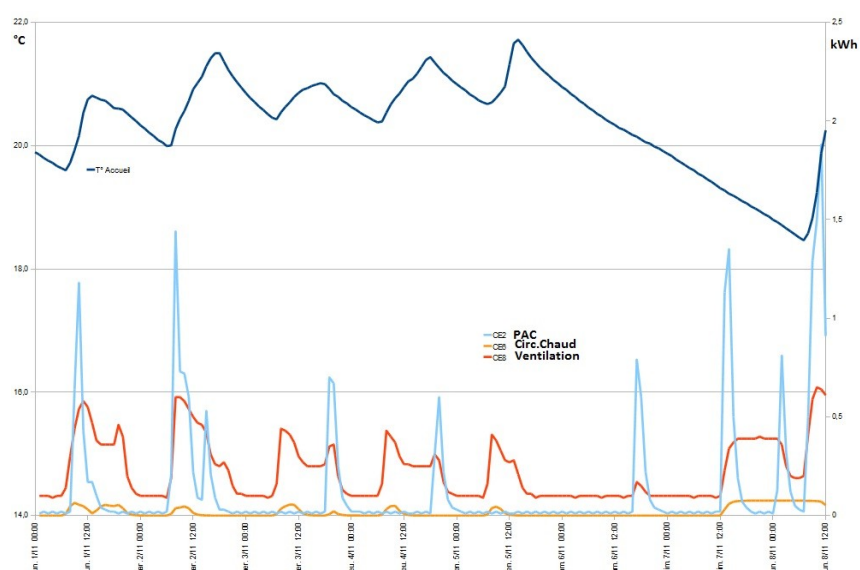
Une observation des consommations de la ventilation en hiver donne le graphique suivant:



Le cycle régulier est ici plus évident. Par contre les grandeurs observées sont nettement inférieures à celles de la période précédente. Nous avons des plages de fonctionnement en journée avec une moyenne de consommation de 0,65 kWh en période de chauffage pour 1,42 kWh hors période de chauffage.

### 5.2.2. Système de chauffage

Le système de chauffage du bâtiment est assuré par batteries chaudes dans les gaines de ventilation. Les batteries sont alimentées par un ballon de stockage. L'eau chaude est issue du circuit primaire de la pompe à chaleur ou de l'échangeur des panneaux solaires en façade. Ce graphique présente les consommations horaires du compresseur de la PAC ainsi que les consommations de ventilation et de l'auxiliaire de circulation sur la semaine du 1er au 8 novembre. La température intérieure est représentée pour observer l'impact du fonctionnement du système de chauffage.



Le fonctionnement de la PAC et des auxiliaires de chauffage semblent cohérents sur les périodes attendues.



La consommation totale sur la période de chauffage (du 15/10 au 15/04) est de 7,84 kWh/m<sup>2</sup>. Sur la période estivale la PAC n'est pas sensée fonctionner, mais on observe plusieurs pics de consommations (correspondant à une consommation totale de 0,31 kWh/m<sup>2</sup>). L'origine de ces pics n'est pas expliquée.

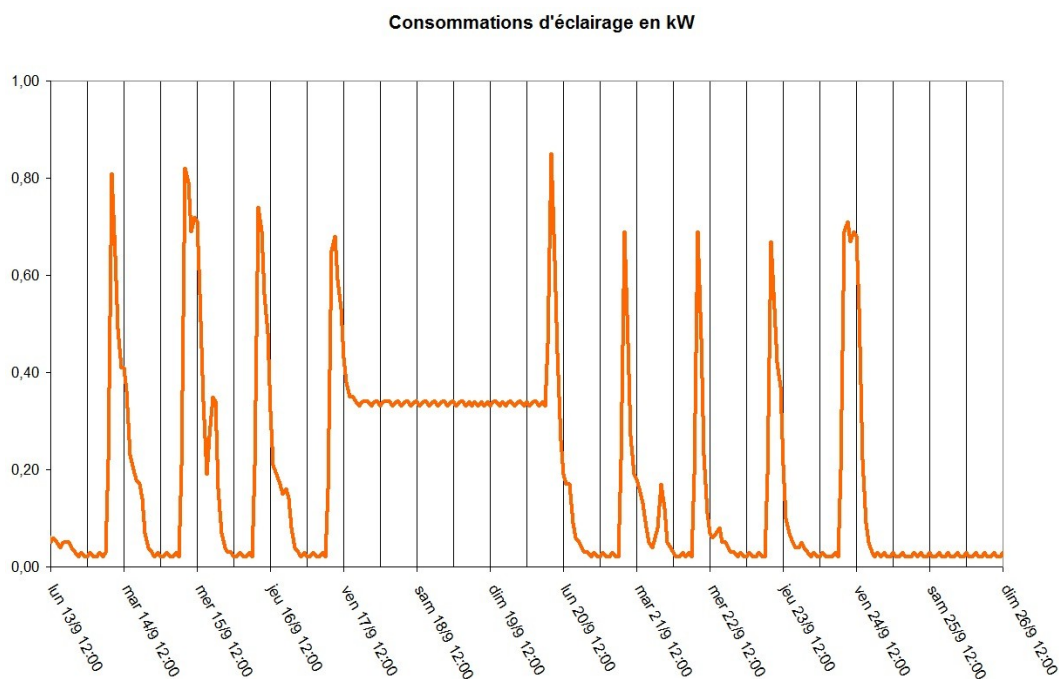
*A noter : le jour férié du 1er novembre n'est pas programmé en inoccupation.*

### 5.2.3. Les auxiliaires

L'observation du fonctionnement des auxiliaires est cohérent avec l'utilisation des systèmes correspondants. Seule la puissance de la pompe de circulation retour pac cf Schéma(150 W) semble élevée au vu des maxima enregistrés.

### 5.2.4. Éclairage

Le graphique suivant donne la consommation d'éclairage du 17 au 22 septembre 2010.



Le poste éclairage présente une consommation annuelle mesurée près de trois fois inférieure à la valeur de calcul théorique. En première analyse des consommations, la valeur théorique est réduite mais l'utilisation ne permet pas de dégager une explication tangible. A ce stade de l'étude du bâtiment, seule sa conception optimisée pour l'éclairage naturel permettrait de comprendre la consommation globale annuelle mesurée.

*A noter : une consommation quasi constante du vendredi soir au lundi matin, donc un éclairage actif pendant a priori une période d'absence. Ce cas est aussi observé les 8 et 9 janvier.*

### 5.2.5. Constats de l'usage du bâtiment

L'observation de l'utilisation des systèmes ne permet pas d'expliquer les écarts de consommation du chauffage et de la ventilation.

Par contre l'optimisation de la programmation de la GTC pour les plages d'inoccupation permettra de réduire les consommations globales.

### 5.3. Performances de l'enveloppe

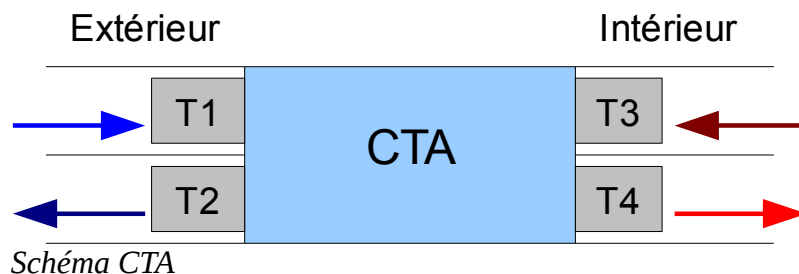
Avec les écarts de consommation observés et l'absence de valeurs des compteurs caloriques les performances réelles de l'enveloppe ne peuvent pas être simulées.

### 5.4. Analyse des systèmes

#### 5.4.1. Système de ventilation

L'efficacité est calculée à partir des températures de la CTA relevées au pas de temps horaire :

- température d'air neuf (T1)
- température d'air soufflé (T4)
- température d'air repris (T3)

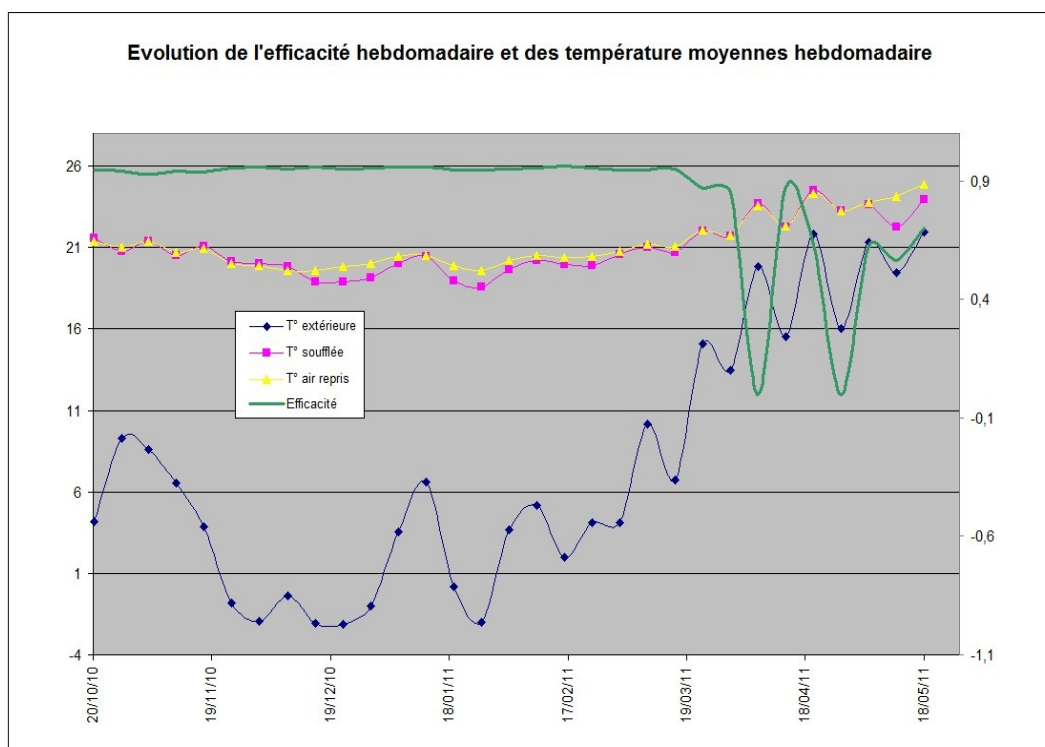


Pour chaque heure pertinente, l'efficacité est calculée de la manière suivante :

$$Eff = \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_1)}$$

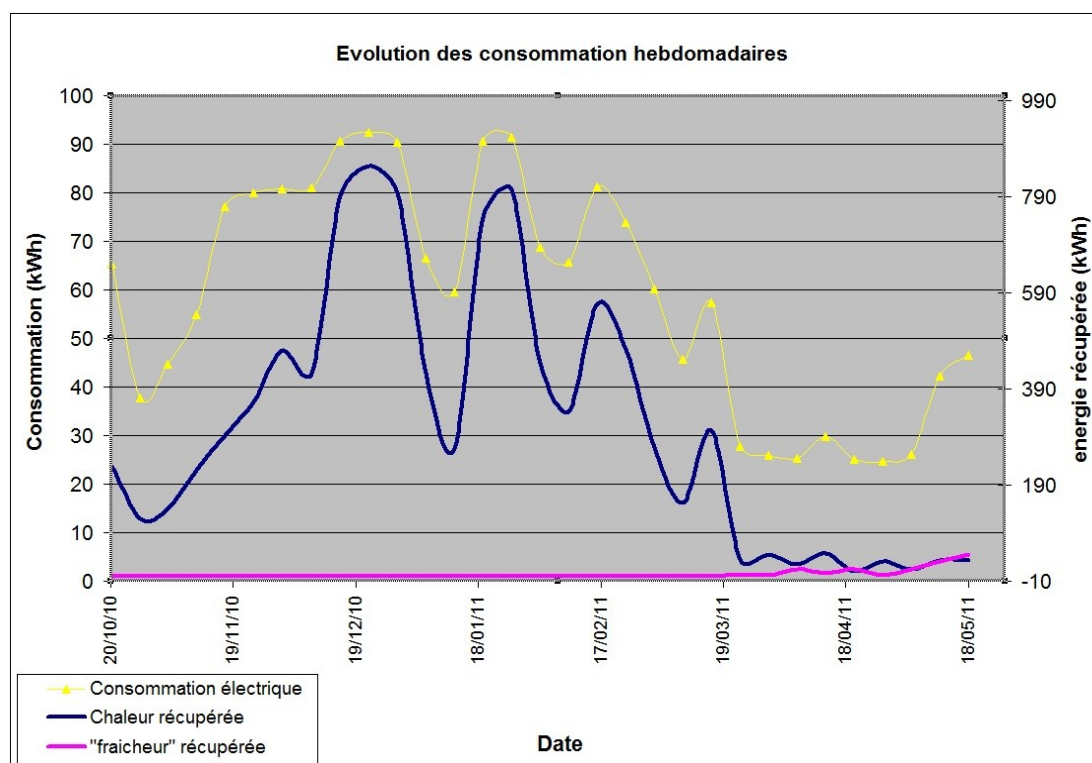
L'efficacité moyenne constitue, la moyenne arithmétique des efficacités (horaires) calculées sur les 2 mois les plus froids de la période étudiée.

Le système est analysé à partir du 20/10/2010 (Le capteur de température de la gaine de reprise de la CTA ne prend des valeurs cohérentes qu'à partir de cette date). Nous obtenons une efficacité moyenne de 96% pour une efficacité RT2005 de 95% . Cela représente 1,6 kWh/m2 d'énergie récupérée. Son évolution est ci-dessous représentée.



L'efficacité reste quasiment constante indépendamment des variations de températures extérieures. La température d'air neuf de l'échangeur est nettement supérieure à la température extérieure, du fait de l'implantation de l'échangeur en local chauffé. Cependant le faible écart entre températures soufflées et de reprise est étonnant mais aucune explication n'a pu être trouvée ici.

Nous pouvons aussi comparer la consommation et l'énergie récupérée :



La fraîcheur récupérée est peu représentative car la période observée ne porte pas sur les mois les plus chaud.

Les deux inflexions des courbes de consommation et de gain de chaleur visibles début janvier et début février pourraient correspondre à des périodes d'inoccupation. Mais la variation de consommation de l'éclairage ne confirme pas cette hypothèse. C'est en observant des températures extérieures particulièrement clémentes que cette variation peut être expliquée.

### 5.4.2. Le chauffage : la pompe à chaleur

Les compteurs caloriques mis en place ne présentent pas de valeurs fiables pour être exploitées (valeurs négatives). L'analyse du chauffage ne peut pas être plus détaillée à ce stade par manque d'information.

## 5.5. Confort intérieur

### 5.5.1. Confort d'été/d'hiver

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'heures où la température intérieure des différents locaux est supérieure à 27°C (température à partir de laquelle on considère qu'il peut y avoir inconfort).

Confort				du 26/09/2010 au 19/11/2010		du 20/06/2010 au 26/07/2010	
	Nombres d'heures où T > 27°C	Tmax	Tmin	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax
Accueil	<b>63 heures</b>	27,3	14,8	17,1	24,9	21,6	27,3
réunion	<b>162 heures</b>	28,0	13,2	15,7	23,7	21,5	28,0
Bureau 1	<b>216 heures</b>	28,0	13,5	16,8	24,7	21,5	28,0
Bureau 2	<b>199 heures</b>	27,8	13,3	17,0	23,4	21,6	27,8
Bureau 3	<b>230 heures</b>	28,1	14,6	17,1	24,7	21,8	28,1
Bureau 4	<b>27 heures</b>	27,2	14,5	16,9	24,2	21,3	27,2
Bureau 5	<b>201 heures</b>	27,9	14,8	17,2	24,7	21,9	27,9
Bureau 6	<b>87 heures</b>	27,4	14,7	17,1	24,4	21,6	27,4
Bureau 7	<b>67 heures</b>	27,5	14,0	16,7	24,2	21,3	27,5
Bureau 8	<b>8 heures</b>	27,2	14,6	17,0	24,1	21,4	27,2

(8760h/an)

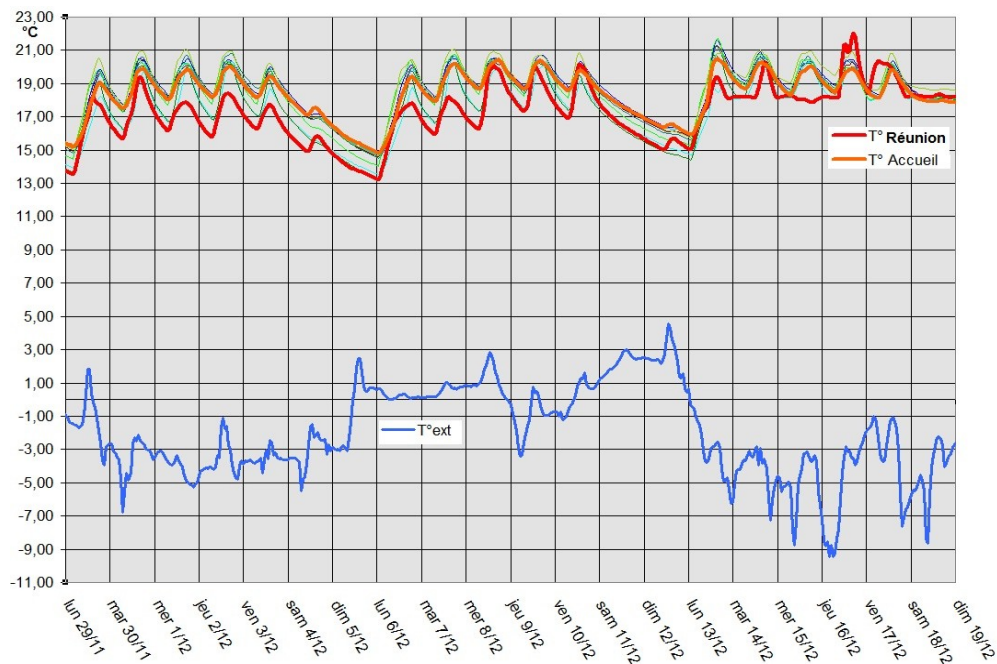
Les températures des différents locaux dégagent des qualités de confort inégales :

Les bureaux n°1,2, 3 et 5 présente le plus grand nombre d'heures où la température est supérieure à 27°. Ce résultat est étonnant car avec des caractéristiques de dimensions et d'orientations les bureaux n° 3 à 6 devraient présenter sensiblement les mêmes valeurs. Cette logique attendue prouve un usage ou des comportements d'utilisation différents pour ces bureaux. Attention : ce nombre d'heure d'inconfort ne correspond pas forcément à une période d'occupation.

### 5.5.2. Variations des températures intérieures

Les graphiques suivants nous donnent l'évolution des températures intérieures pour deux périodes distinctes.

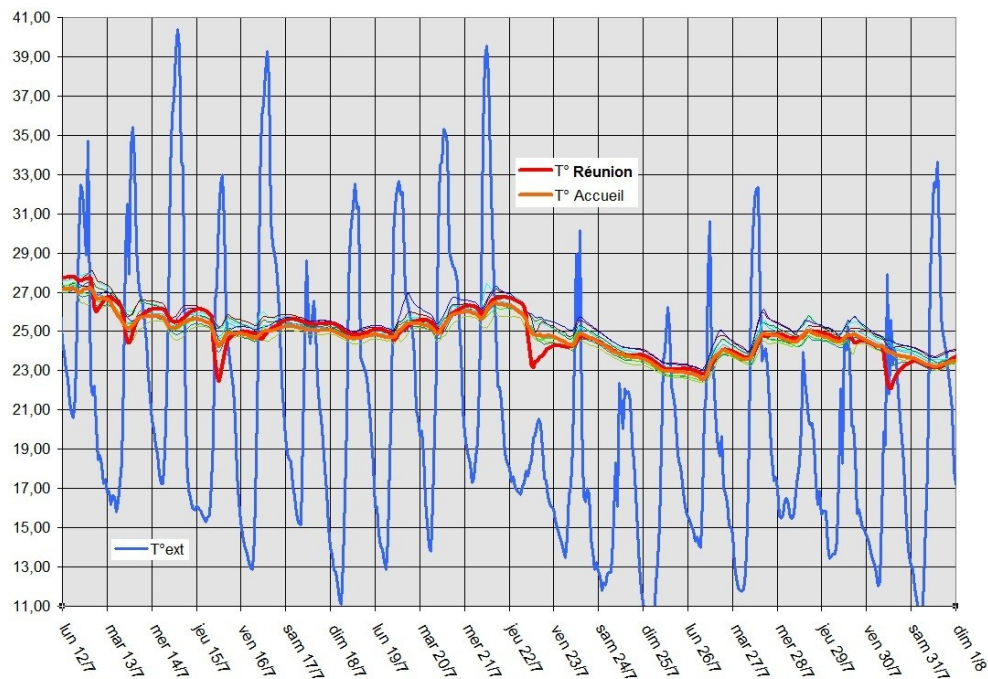
En hiver au mois de décembre:



L'accueil et la salle de réunion sont volontairement mis en relief, ces locaux étant les plus représentatifs pour l'ensemble du bâtiment. Les variations de températures intérieures suivent le rythme régulier des semaines d'occupation. Le mercredi 15 et le jeudi 16 font apparaître un changement de comportement pour la salle de réunion. La montée en température de ce local le jeudi 16 laisse supposer son utilisation exceptionnelle. La veille comme la température du local ne varie pas cela indique une utilisation inhabituelle.

Les températures moyennes en occupation sont de 18,6°C pour la salle de réunion et 19,5°C pour l'accueil.

En été au mois d'août :



Comme pour la période précédente la salle de réunion semble être utilisée les 15, 22 et 30 juillet. Nous obtenons pour les deux locaux observés les grandeurs suivantes pendant les périodes d'occupation :

	Réunion	Accueil
min.	22,1 °C	22,6 °C
max.	27,7 °C	27,2 °C
moyenne	24,8 °C	25,0 °C

## 6. Synthèse

A l'issue de cette première année d'observations ;

L'écart des consommations annuelles mesurées avec celles calculées doit faire l'objet d'un complément d'analyse pour les systèmes de chauffage et de ventilation.

Les auxiliaires aussi consomment plus que prévu mais avec un impact sur la consommation totale moins déterminant.

Pour le chauffage, deux pistes émergent :

-la pertinence des résultats fournis par le capteur doit être vérifié. Les valeurs des compteurs caloriques devraient corroborer ce point.

-la consommation de chauffage est déterminée uniquement par la consommation du compresseur de la PAC. Pour ce bâtiment le compresseur ne nous indique que la consommation du circuit primaire, peut être que les pertes liées au stockage par ballon et la distribution par batteries chaudes dans le circuit de ventilation seront à réévaluer.

Pour la ventilation :

-le capteur doit faire aussi l'objet d'une critique ( entre autres la tension du système 380V par exemple, doit être vérifiée )

A l'issue de cette première année d'analyses aucune piste ne se dégage pour expliquer l'écart de consommation de la ventilation.

En accord avec le Maître d'Ouvrage certaines améliorations pourront être prises en compte;

En matière d'usage du bâtiment l'optimisation des consommations pourraient être améliorée par une programmation de la GTC incluant les périodes d'absence (jours fériés ou fermeture du centre).

La température de consigne du chauffage pourrait être affinée sans impacter le confort des usagers. En période de chauffage une température intérieure maximale de 21°C sera suffisante.

Le refroidissement est assuré par deux systèmes distincts. En observant leurs consommations respectives, nous pourrions essayer d'évaluer le plus énergivore entre sur-ventilation nocturne et rafraîchissement par batteries froides.

Le confort thermique intérieur sera plus détaillé avec la prise en compte du paramètre hygrométrique.

Les valeurs des compteurs caloriques seront indispensables pour la deuxième année d'analyses. Ces compteurs doivent être vérifiés