

Ademe



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

INEED

Evaluation des performances énergétiques

Rapport final

Marché n° 0741C0969

Mai 2010



INGENIEURS CONSEILS

26160 Félines sur Rimandoule

☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

www.enertech.fr

INEED : EVALUATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES

ENERTECH – Mai 2010

SYNTHESE

Contexte

L'étude présente les résultats de la campagne de mesure d'une année sur le bâtiment de l'INEED à Alixan (Drôme). C'est un immeuble de bureaux livré en Juillet 2006 pour la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Drôme.

L'INEED a été conçu (pour la partie fluides) par ENERTECH en 2003 sur trois demandes essentielles :

- i. Inscrire le bâtiment dans une démarche HQE avec une cible énergie « très performante »,
- ii. Favoriser une présence massive de bois à l'intérieur du bâtiment,
- iii. Se passer de tout système de climatisation en été dans les bureaux.

La conception, orientée vers la réduction des consommations de chauffage et des usages électriques traditionnels, devait aboutir à des performances améliorées par rapport au parc existant français. Les mesures globales réalisées après la première année (compteurs EDF et GDF) l'ont confirmé.

Cette campagne de mesure, intervenant pour sa part au cours de la troisième année de fonctionnement du bâtiment, vise trois objectifs :

- i. Evaluer le fonctionnement des installations et des usages ,
- ii. Identifier les dysfonctionnements,
- iii. Produire des ratios de consommation par usage pour un bâtiment performant.

1- Description du bâtiment et de ses équipements

Le bâtiment de l'INEED (Innovation pour l'Environnement et l'Economie Durable) héberge des résidents permanents et une pépinière d'entreprises.

La surface chauffée est de 2 892 m² (dont 280 m² d'atelier). Pour la formulation de ratios surfaciques, il est fait référence à la surface de la zone « bureaux » de 2 612 m² qui inclut les bureaux, la salle de conférence, la salle d'exposition, les salles de cours et réunion et les circulations. Dans certains cas, on a pris la surface des bureaux seuls (1 045 m²) pour les usages spécifiquement dédiés comme l'informatique ou l'éclairage. En raison de fortes variations de fréquentation (nombreuses visites), la référence des consommations au nombre de personnes apparaît délicate. Elle ne sera considérée que dans l'étude des locaux « bureaux ».

Un effort important a été porté lors de la conception sur l'optimisation de l'ensemble des éléments d'enveloppe, des systèmes et des équipements consommateurs d'électricité.

Les façades principales sont orientées Nord-Sud. Le bâtiment est très compact. L'enveloppe dans ses parties verticales est constituée d'un monmur en briques alvéolées de 49 cm d'épaisseur ($R = 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$). L'isolation en toiture est réalisée par 20 cm de polyuréthane ($R > 7 \text{ m}^2\text{K/W}$). Les surfaces vitrées sont limitées à environ 15% de la surface utile et sont constituées de doubles vitrages peu émissifs à lame d'argon sur menuiserie bois (classement A4).

L'utilisation massive du bois, sous forme de plancher collaborant, de Fermacell pour les cloisons intérieures et l'absence quasi totale d'aluminium et de PVC font de l'INEED un bâtiment à faible énergie grise.

Les installations de ventilation sont constituées de trois CTA double flux et d'une VMC simple flux :

i. CTA bureaux et salles de réunion (avec récupérateur de chaleur à roue, batterie chaude, arrêt automatique en dehors des heures ouvrées et variateur de vitesse). L'entrée d'air s'effectue via un puits canadien ou bien directement depuis l'air extérieur. Les salles de réunion sont munies de détecteurs de présence et de registres motorisés afin de lier la ventilation à l'occupation des salles.

ii. CTA salle de conférence (sans récupérateur de chaleur, avec régulation sur sonde de qualité d'air, batteries chaude et froide, commande et vitesse manuelle depuis l'accueil en fonction du nombre d'occupants),

iii. CTA salle d'exposition (dito salle de conférence sans batterie froide),

iv. VMC pour les labos indépendante des bureaux avec entrées d'air auto réglables.

La production de chaleur s'effectue par une chaudière gaz à condensation de type Varino (brûleur modulant) de 150 kW. 5 circuits de chauffage distincts en assurent la distribution :

- i. Radiateurs façade nord,
- ii. Radiateurs façade sud,
- iii. Préchauffage CTA bureaux,
- iv. CTA conférence,
- v. CTA exposition.

Chaque circuit est équipé d'une vanne trois voies pilotant la température de départ du chauffage en fonction de la température extérieure et, pour le circuit Sud, d'une sonde d'ensoleillement.

Un groupe froid est installé en toiture. Il est dédié à la salle de conférence dont la CTA possède une batterie froide régulée par vanne trois voies.

2 - Les performances générales du bâtiment

Test à la porte soufflante

Ce test n'est pas très satisfaisant par comparaison aux performances que l'on atteint aujourd'hui, mais il faut se souvenir que, lors de la conception de ce bâtiment en 2003-2004, l'étanchéité à l'air des enveloppes n'était pas un sujet très développé en France. La valeur de n_{50} (débit de fuite sous 50 Pa) est ici de **1,8 vol/h** soit une valeur de Q4 de **1,3 m³/h/m²**. Cela correspond à une surconsommation de **5 kWh/m²/an** soit **25%** de la consommation prévue. Près des deux tiers des infiltrations s'effectuent à la jonction toitures/murs. Le traitement des joints de dilatation s'est aussi avéré essentiel à l'étanchéité des parois. Il a été complètement oublié ici.

Consommations totales d'électricité et de gaz

1 - Bilan global du bâtiment

Avec un coefficient d'équivalence en énergie primaire de l'électricité de 3,2 et en ne tenant pas compte de la production photovoltaïque (7424 kWh_{ep}), la partie « bureaux » du bâtiment a consommé 310.503 kWh d'énergie primaire tous usages confondus, soit 118,6 kWh_{ep}/m²_{SU}/an, dont 66,5 % pour les usages spécifiques de l'électricité (78,8 kWh_{ep}/m²_{SU}/an), 29,9 % pour le chauffage (35,2 kWh_{ep}/m²_{SU}/an), 2,3 % pour l'ECS (2,7 kWh_{ep}/m²_{SU}/an) et 1,3 % pour le groupe froid (1,6 kWh_{ep}/m²_{SU}/an).

2 - Consommation totale d'électricité

La puissance maximale appelée durant l'année dans les bureaux est de 34,3 kVA soit **29,7 kW**, et avec l'atelier, de 37 kVA soit **32 kW**, pour un abonnement tarif jaune de 42 kVA. La consommation annuelle d'électricité (hors atelier) s'élève à 68 250 kWh/an, soit **26,1 kWh_{el}/m²_{SU}/an**. L'atelier consomme 16 750 kWh/an, soit **60 kWh_{el}/m²_{SU}/an**. Le coût total de la facture électrique correspondante est de **2,22 €H.T/m²_{SU}** (hors minorations et coûts d'abonnement).

L'étude des fréquences cumulées des puissances électriques appelées en une année montre sans ambiguïté que les puissances réellement nécessaires à un bâtiment de bureaux n'ayant recours qu'à des usages spécifiques de l'électricité sont de l'ordre de **10 à 12 W/m²_{SU}**. Cela met ainsi en évidence un surdimensionnement des abonnements électriques ayant pour conséquence un renchérissement des coûts d'exploitation, et parfois des coûts de construction (transformateurs etc.). Il serait donc urgent d'adopter de nouvelles valeurs de foisonnement lors des calculs de conception des puissances installées.

3 - Production d'électricité d'origine photovoltaïque

L'INEED possède environ 20 m² de panneaux photovoltaïques utilisés en brise soleil sur la façade Sud. La production annuelle mesurée a été de 2 320 kWh/an, soit **0,89 kWh_{el}/m²_{SU}/an** rapportée à la surface utile de bureaux. En moyenne, le champ de panneaux a produit 6,3 kWh/jour.

4 - Consommation de chauffage (gaz)

Le seul usage du gaz dans ce bâtiment est le chauffage. Sa consommation annuelle est de 10 517,5 m³. En prenant une valeur moyenne annuelle du pouvoir calorifique supérieur de 11,03 kWh/m³, la consommation de gaz calculée est de **120 007 kWh_{PCS}/an**, soit **41 kWh_{PCS}/m²SU/an**. Pour les bureaux seuls elle est de **35,2 kWh_{PCS}/an/m²SU**. (NB : l'atelier a des activités de séchage qui obligent à le sortir des éléments de bilan).

5 - Comparaison avec le label Passivhaus

On peut rapprocher les performances de l'INEED aux critères du label Passivhaus :

- Le niveau de besoins de chauffage (17 à 18 kWh/m²/an) est 15% trop élevé,
- La puissance de chauffage installée est de l'ordre de 40 W/m² (contre 10 demandés),
- Le débit au test à la porte soufflante est 3 fois supérieur à l'exigence du label,
- Le dernier critère est satisfait puisque l'INEED consomme moins de 120 kWh_{ep}/m²SU/an.

C'est un résultat important car malgré les dysfonctionnements relevés et en dépit d'un hiver rigoureux, l'INEED atteint des performances du niveau des meilleurs labels européens pour sa consommation totale d'énergie primaire. Cela grâce à un travail de fond sur la réduction des besoins électriques.

6 - Comparaison avec les consommations observées la première année d'exploitation

Entre la première et la troisième année, on observe une nette augmentation des consommations (+ 36,4% pour le chauffage et +19,7% pour l'électricité). Ceci est dû à un hiver 2008-2009 plus rigoureux que celui de 2006-2007, à un dérèglement majeur de la CTA qui a fonctionné en continu au lieu de fonctionner seulement aux heures d'ouverture, à une température de consigne de chauffage de 20,9°C, soit 1°C de plus que la première année, et à de nombreux dysfonctionnements d'usage sur les équipements électriques (fonctionnement en période d'inoccupation).

3 - Etude détaillée des consommations d'électricité

Structure de la consommation et de la pointe

La consommation annuelle d'électricité pour les bureaux tous usages confondus sans exception s'élève à **68 250 kWh/an**, soit **1 050 kWh/personne.an** ou **26,1 kWh/m²/an**. Elle est en net progrès par rapport au parc déjà étudié. La ventilation représente 28% du total, la bureautique 25% et l'éclairage 24%.

51% de la consommation a lieu en période d'inoccupation (soit la nuit de 19h à 7h30, les we et les jours fériés). Cette valeur élevée est pour une grande part due aux veilles des équipements.

L'étude des appels de puissance permet de fournir des éléments nouveaux sur la détermination des coefficients de foisonnement à partir de mesures réelles (cf. : tableau ci-dessous pour les bureaux seuls).

| Usage | Structure de la pointe maximale | Structure moyenne des dix appels de puissance les plus importants | Puissance installée totale (W/m ²) | Coefficient de foisonnement |
|-------------------|--|---|--|-----------------------------|
| | Puissance atteinte (W/m ²) | Puissance atteinte (W/m ²) | | |
| Eclairage | 3,28 | 2,55 | 7,0 | 0,36 à 0,47 |
| Ventilation | 2,37 | 2,43 | 2,77 | 0,86 à 0,88 |
| Bureautique | 2,23 | 1,82 | 5,47 | 0,33 à 0,41 |
| Usages thermiques | 1,18 | 1,58 | 12,97 | 0,09 à 0,12 |
| Pompes | 0,53 | 0,49 | 0,88 | 0,55 à 0,6 |
| Divers | 1,18 | 0,85 | 4,23 | 0,20 à 0,28 |
| Total | 10,77 | 9,72 | 33,31 | 0,29 à 0,32 |

Ce tableau est, à notre connaissance, la première tentative pour déterminer le poids de chaque usage dans la constitution de la puissance de pointe. Attention, ces valeurs ne sont valables que pour des bâtiments de bureaux performants, et elles devront être affinées par d'autres campagnes de mesure.

L'éclairage

La consommation d'éclairage totale (hors atelier) est de **16 310 kWh/an**, soit **6,2 kWh_{el}/m²STU/an**. Mais **8%** sont absorbés par les détecteurs de présence, cellules photosensibles et dispositifs de gradation dont la puissance en veille est de 1 à 3 W (et jusqu'à 18W pour les gradateurs). Toutefois, la consommation spécifique d'éclairage de l'INEED est **4,3 fois plus faible** que celle qui fut observée lors d'une campagne portant sur 50 immeubles de bureaux en région PACA (2004). Mais des améliorations restent possibles, notamment sur le paramétrage des dispositifs de contrôle. Si tous les ajustements proposés dans ce rapport était mis en œuvre, on réduirait de **37% la consommation d'électricité ce qui ramènerait la consommation spécifique de l'éclairage à 3,9 kWh_{el}/m²STU/an**.

L'**éclairage extérieur** consomme **3 655 kWh/an**, soit **1,40 kWh_{el}/m²STU/an**. La quasi-totalité est due aux circuits sur horloge qui fonctionnent de 22h à 6h alors que le bâtiment est clos et inoccupé...

L'**éclairage des bureaux** est assuré par des luminaires à haut rendement (81%) équipés de tubes T5 de 28W avec ballasts électroniques. Cette installation est complétée par des lampes de bureau. Le niveau d'éclairage de base est de 150 à 200 lux. La puissance installée vaut **7 W/m²**, dont 5W/m² au plafond et 2W/m² de lampe de bureau. La consommation totale des bureaux est de **1 947 kWh/an** soit **1,86 kWh_{el}/m²STU/an** ou **30,0 kWh/an.personne** dont 93% pour les plafonniers (fonctionnant entre 396 et 514 heures/an) et 7% pour les lampes de bureau (durée de fonctionnement moyenne : 214 heures/an).

L'**éclairage des salles de réunion** représente 896 kWh/an, soit près de la moitié des bureaux. L'impact des gradateurs en veille est évalué à **36%** du total (73% et 52% pour les 2 salles qui en sont pourvues).

La consommation d'éclairage de la **salle de conférence** est de **1 010 kWh/an**, soit **2,94 kWh_{el}/m²STU/an** assuré par des tubes fluorescents T5 de 35W équipés de ballasts électroniques commandés par un gradateur. Très souvent l'éclairage fonctionne alors que la salle est vide. Son ajustement à la présence effective permettrait une **économie d'énergie de 70% et ramènerait la consommation à 0,88 kWh_{el}/m²STU/an**.

La consommation d'éclairage des **paliers d'étages et du hall** est de 2 816 kWh/an, soit **40% de plus que tous les bureaux réunis**. Mais il faudra revoir en urgence le **réglage des commandes d'éclairage** de ces zones. Ces réglages doivent être effectués avec le plus grand soin à la livraison du bâtiment, et ils doivent ensuite être « verrouillés ». Cela n'a pas été fait ici.

La consommation d'éclairage des **circulations horizontales** est de **3 477 kWh/an** dont près de 10% pour la veilles des détecteurs de présence. Ceci montre à nouveau qu'on doit porter l'attention non seulement aux consommations en phase d'utilisation mais aussi en régime passif. Il faut **des puissances de veille inférieures au Watt**. D'autre part, **les interrupteurs simples doivent être bannis** des lieux de circulation commune et **les temporisations et seuils de déclenchement réglés avec précision**.

L'éclairage des **escaliers** est de **787 kWh/an**. En améliorant le fonctionnement des détecteurs de présence et de luminosité, **une économie de 317 kWh/an est possible**.

Les **sanitaires** consomment **508 kWh/an** dont **25% est dû à la veille des détecteurs de présence**. Les temporisations présentent une forte disparité (entre 36 et 404 secondes). Il conviendrait de les ramener systématiquement à des valeurs convenant à la majorité des utilisateurs.

La consommation des **locaux annexes** est de **210 kWh/an**. Mais là encore, l'impact des détecteurs de présence peut devenir majeur et atteindre 83% de la consommation totale (local douche). **Une minuterie est alors mieux adaptée pour des éclairages très peu sollicités**.

L'**éclairage de sécurité** s'élève à **768 kWh/an** (755 hors atelier), soit **13,7 kWh/bloc/an**. Une puissance de **1,57 W/bloc** est appelée pour cet usage. C'est un vrai progrès vis-à-vis des blocs majoritairement utilisés dont la consommation se situe autour de 50 kWh/an.

L'informatique

La consommation annuelle du parc informatique de l'INEED est de **17 354 kWh/an**, soit **6,6 kWh_{el}/m²STU.an** ou **266 kWh/personne.an** dont 47% a lieu en période d'inoccupation. L'analyse des courbes de charge montre qu'il existe une puissance de veille d'environ **1 450 W** les jours ouvrés et **1 250 W** les jours non ouvrés. Elle est à rapprocher de la puissance maximale atteinte par les usages bureautique qui est de **3 500 W**. Les unités centrales comptent pour 25% de la consommation totale, les baies de brassages VDI pour 16%.

La « **bureautique** des bureaux » représente 11 109 kWh/an soit **5,3 kWh_{el}/m²STU.an** ou **170,9 kWh_{el}/personne.an**. Cette dernière est en nette progrès si on la compare à d'autres campagnes de mesures mais **elle pourrait être largement améliorée d'un facteur 6 à 8**. On constate une importante consommation de

veille. En effet, 39% de la consommation a lieu en période d'inoccupation contre 61% en occupation. **C'est 4 359 kWh/an qui sont perdus chaque année qui auraient pu être économisés en coupant les appareils.**

D'autre part, les deux **onduleurs** qui servent à l'alimentation de deux ordinateurs comptent pour 7% de la consommation totale de la bureautique. Il apparaît donc primordial de se passer autant que possible de l'usage des onduleurs dans les bureaux. L'utilisation généralisée d'**ordinateurs portables** permet de s'en affranchir.

Ces derniers, qui représentent 10% de la consommation totale de la bureautique, consomment en moyenne **37,8 kWh/an** contre 196 pour les unités centrales. Toutefois, avec 109 kWh/an, la solution ordinateur portable + écran est à éviter. La puissance appelée par les portables en marche varie de **20 W à 61 W** pour une moyenne de 29,1 W. En veille, elle se situe entre 0,6 et 3 W avec une moyenne de 1,1 W. Ainsi, c'est 9,3%, soit **102 kWh/an** qui peut être économisé simplement en supprimant les veilles.

La consommation des **ordinateurs fixes** est en moyenne de **196 kWh/an**, résultat proche de campagnes précédentes (moyenne entre 230 et 255 kWh/an) et **71,5 kWh/an** pour les imprimantes. L'arrêt de ces dernières en période d'inoccupation générerait 51% d'économies.

L'imprimante collective consomme 1 238 kWh/an dont 67% en état de veille. **Il n'est plus normal qu'une machine consomme autant d'énergie à ne rien faire, et les constructeurs devraient concevoir des appareils permettant de palier les déficits des utilisateurs (qui n'arrêtent en moyenne pas leurs appareils...).** De même, la réduction de consommation peut être de 67% pour les baies et de 51% pour la salle informatique. Le serveur Internet, lui, a une consommation de 1 720 kWh/an, soit 0,66 kWh_e/m²SU.an.

Etude de la chaufferie

La consommation annuelle d'électricité de la chaufferie est de **3 192 kWh/an** (hors CTA exposition), soit **1,10 kWh /m²SU/an** avec 80% pour les seules pompes.

30% de la consommation électrique de la **chaudière** (soit 119 kWh/an) a lieu à l'arrêt. Même en considérant la nécessaire consommation du contrôle commande, il est probable qu'on pourrait réduire cette consommation par un effort industriel. **Enfin, l'alimentation de la chaudière devrait être arrêtée à la fin de la saison de chauffe.**

La consommation totale des **pompes** est de **4 086 kWh/an** soit **1,4 kWh /m²SU/an**. Il est à noter cependant un **dysfonctionnement majeur** : 76,2% de la consommation totale des pompes des CTA se situent lorsque les CTA ne sont pas en fonctionnement dont la majeure partie est à imputer à la pompe de circulation d'eau glacée. Lorsqu'elles sont sans utilité, ces pompes devraient être arrêtées.

On observe enfin que **la variation de vitesse** sur les circuits de radiateurs **permet une économie d'électricité supérieure à 41%**.

Les systèmes de ventilation

La consommation de la **CTA des bureaux et salles de réunion** est de **16 190 kWh/an** soit **23,7%** de la consommation totale (hors atelier) ou encore **7,7 kWh /m²SU/an**. C'est le premier poste de consommation du bâtiment. La centrale a fonctionné 359 jours, jour et nuit, au lieu d'être arrêtée la nuit (sauf en été). C'est un dysfonctionnement grave entraînant de fortes surconsommations électriques. La ventilation en dehors des heures d'occupation et de surventilation nocturne représente **42%** de la consommation totale. Le débit est régulé pour assurer une pression constante au droit de la bouche la plus éloignée afin de tenir compte de l'évolution de la perte de charge lorsque le débit diminue. L'économie d'électricité est alors optimum.

Relation mesurée entre l'évolution de la puissance et celle du débit :

$$\text{Puissance} = A * \text{Débit}^{2,4}$$

On constate de même pour la CTA **conférence** (1 320 kWh/an) que **26%** de la consommation se fait pendant l'inoccupation. **Le dispositif de temporisation et de programmation qui est à disposition du secrétariat doit être amélioré et plus précis.**

Enfin, on remarque pour la CTA **expo** (493 kWh/an) que la part de la régulation dans la consommation électrique est très importante (63%). Ceci est dû à la faible utilisation de la salle. Il conviendrait donc de supprimer l'alimentation continue lorsque la CTA n'est pas utilisée afin de diminuer les consommations de veille. L'économie escomptée est de **65%**.

La **VMC simple flux des « laboratoires »** a consommé 960 kWh/an mais en fonctionnant 24h/24 toute l'année ce qui correspond à **68% en période d'inoccupation**.

40% de la consommation totale d'électricité des systèmes de ventilation a lieu en dehors des heures d'occupation, des heures en mode ralenti (CTA conférence et CTA expo) et des heures de sur ventilation

nocturne (CTA bureaux), soit 7 604 kWh/an, **mais au total, c'est 43 % de la consommation qui pourrait être économisé, ce qui ramènerait à 4,1 kWh/m²STJ/an la consommation du poste ventilation.**

Usages thermiques de l'électricité

Seule la **salle de conférence** bénéficie, à la demande du maître d'ouvrage, d'une **climatisation**. Elle a très peu servi dans l'été. Mais, à partir de la mise en route des groupes froids le 3 juillet 2009, ceux-ci n'ont cessé de fonctionner 24h/24, bien que la CTA soit à l'arrêt... On remarque aussi que la CTA a été mise en marche pour assurer des températures inférieures à 26°C ce qui n'est pas en conformité avec le Code de la Construction depuis le 19 mars 2007. **Au total, c'est plus de 90% de la consommation du groupe froid qui aurait pu être évité.** Sa consommation actuelle est de 1280 kWh/an.

Le bâtiment dispose d'autre part de 5 **chauffe eau**. Leur consommation se monte à **2 203 kWh/an** soit **3,2%** de la consommation du bâtiment ou encore **0,84 kWh/m²STJ/an**. Mais on observe un niveau très élevé des consommations d'entretien : 46% du total, et même 63% dans le cas des chauffe eau ménagers. **C'est la raison pour laquelle la question des points de puisage d'eau chaude sanitaire doit être vue avec beaucoup plus de rigueur que par le passé, en n'acceptant leur installation qu'à condition que leur usage soit incontestable et incontesté, et en bannissant toute idée de confort superflu qui n'est plus de mise dans la situation énergétique actuelle. Il faudra notamment accepter définitivement l'idée qu'ils doivent être hyper isolés et qu'on ne peut plus se contenter des épaisseurs d'isolation dérisoires proposées par les fabricants.**

Les appareils divers

Les **distributeurs de boissons, l'ascenseur, la cafeteria et les appareils audio-visuels** se distinguent une nouvelle fois par des consommations de veille anormalement élevées (**61%** de la consommation des distributeurs de boissons a lieu en période d'inoccupation). L'ascenseur présente aussi des dépenses d'éclairage élevées qui sont dues à un mauvais réglage de la temporisation d'allumage après utilisation. Elle est de 40 minutes alors que 30 secondes suffirait...

4 - Etude des consommations thermiques

La consommation d'énergie utile du bâtiment hors atelier (compteur de chaleur en sortie de chaufferie) est de **83,9 MWh/an** soit **32,1 kWh/m²/an**. Le rendement annuel de la génération de chaleur vaut **91,1 %** sur pcs. La corrélation entre la consommation d'énergie utile totale et la température extérieure, le niveau d'ensoleillement et la quantité des apports des appareils électriques font apparaître des tendances claires mais ne permettent pas de dégager des lois précises. Des phénomènes complexes comme l'occupation intermittente des locaux ou l'inertie thermique entrent en jeu.

L'étude des consommations d'énergie des circuits de radiateurs des bureaux met en évidence des dépenses énergétiques pour des températures supérieures à la consigne de 19°C. On voit là **l'efficacité très partielle des robinets thermostatiques** qui malgré leur dimensionnement précis ne permet pas une bonne optimisation du bilan énergétique.

Avec une consommation de 17 562 kWh soit 51 kWh/m²/an, la **salle de conférence** présente 1/3 de fonctionnement « anormal » dû encore à des **défauts de programmation** laissée à la liberté des utilisateurs.

La **batterie de préchauffage des bureaux** a une consommation très faible : **1 730 kWh/an** soit **0,81 kWh/m²/an**. On constate d'ailleurs qu'au delà de 12°C la récupération de chaleur par l'échangeur à roue rend inutile l'usage de la batterie chaude (consommation nulle). On conçoit donc qu'*a fortiori*, avec un puits canadien élevant la température de 5°C, il n'y ait plus besoin de cette batterie.

5 - Etude des températures

Température dans les bureaux

En hiver, la température moyenne en occupation est de 20,9°C. C'est très sensiblement supérieur à la température maximale moyenne réglementaire qui est de 19°C. Il faut rappeler que dans un bâtiment très isolé de ce type, la surconsommation induite par 1°C supplémentaire est de l'ordre de 12 à 15%, ce qui signifie dans notre cas que **le dépassement de 1,9°C de la température réglementaire a occasionné une surconsommation d'environ 25%, ce qui aurait ramené à 26 kWh/m²/an la consommation de chauffage au lieu de 35...** Cependant, la température maximale atteinte pendant l'occupation est de 23,3°C prouvant l'absence de

surchauffes inconfortables l'hiver. Il est intéressant de relever en outre le faible écart entre les températures moyennes de chauffage en occupation et en inoccupation. Cela est dû à la forte inertie du bâtiment ainsi qu'à la bonne isolation thermique.

En été, la température moyenne dans la partie bureaux a été de 24,6°C. La température de 28°C n'a été dépassée que pendant 1,0% du temps d'occupation, soit 19h, ce qui reste dans la limite du confort supportable. L'écart entre la température moyenne en période d'occupation et en période d'inoccupation n'est que de 0,4°C. Cela met en évidence **un mauvais refroidissement nocturne**. Il s'agit là d'un point faible du bâtiment car les utilisateurs ne souhaitent pas ventiler naturellement la nuit. De plus, on observe que pour un ratio surface vitrée/surface utile fixe et des apports internes faibles, les surchauffes estivales ne sont pas très affectées par l'orientation de la façade, hormis l'ouest. **Cela doit encourager à traiter les façades avec la même rigueur.** D'autre part, il n'existe pas de différence très marquée entre les températures internes des jours ouverts et non ouverts. **La charge climatique (température extérieure) apparaît donc prépondérante vis-à-vis de la charge interne (éclairage, bureautique, apports humains).** On peut citer l'usage généralisé des ordinateurs portables comme un progrès important sur ce point. En revanche, **la faible efficacité de la ventilation mécanique nocturne est à déplorer.** Ceci s'explique par une valeur du débit nominal de 0,5 vol/h alors qu'il est admis que le renouvellement d'air nécessaire pour refroidir les structures se situe davantage autour de 3 vol/h.

L'étude du **confort d'été** selon la méthode analytique montre que **60% des couples température/hygrométrie sont compris dans la zone dite de grand confort.** On observe en outre que les points en dehors de cette zone correspondent à des valeurs très élevées de l'humidité absolue (entre 13 et 15 g/kg), autrement dit plutôt les jours d'orage. En comparant l'INEED à d'autres bâtiments climatisés et étudiés par notre bureau d'études, on peut remarquer que la climatisation n'améliore pas la qualité de confort moyen mais réduit la fréquence des conditions exceptionnelles comme les jours d'orage, par exemple. Il est à mentionner enfin que la **mauvaise régulation de la ventilation nocturne (24h/24h)** ne permet pas de conclure quant à son influence sur le confort d'été.

Autres locaux

Pour la **salle de conférence**, les températures en période d'occupation estivale sont très confortables (jamais de dépassement au-dessus de 28°C). Cependant, sa programmation et son pilotage doivent être modifiés car elle est souvent chauffée et même refroidie alors qu'elle est vide.

La **salle d'exposition** est très inconfortable en été. En effet, 28°C a été dépassé plus de 32% du temps hors saison de chauffage. La raison en est **la taille des surfaces vitrées** malgré la présence d'occultations extérieures (le rapport surface vitrée/surface utile vaut 49%).

Les **salles de réunion** occupent des positions enclavées dans le bâtiment. Elles sont donc peu indépendantes pour leur température. Une chose est sûre, elles sont largement au-delà de 19°C en hiver. Le fonctionnement en été met en évidence le bon fonctionnement du couplage de la ventilation avec la présence.

6 - Etude des systèmes thermiques

Taux de charge de la chaudière

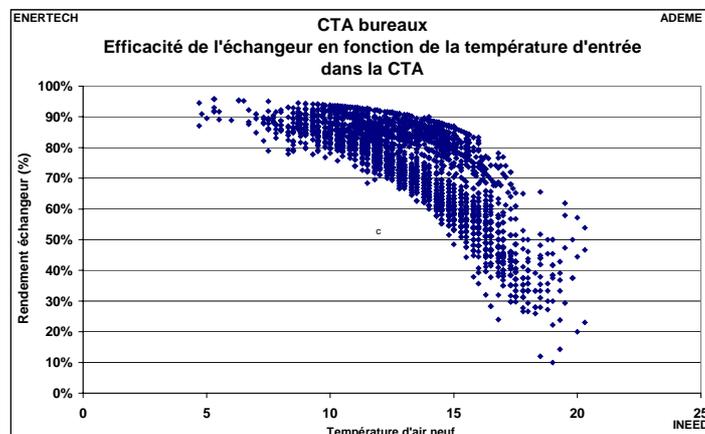
Le taux de charge de la chaudière est le rapport de la puissance (à charge partielle) à la puissance maximale. Cet indicateur permet donc de caractériser l'adéquation de la chaudière avec le bâtiment. On observe que le **taux de charge maximum « effectif » n'a en réalité pas dépassé 67%**. Il n'a été supérieur à 50% que durant 3% du temps de la période de chauffe. En excluant toutes les périodes hors saison de chauffage, **le taux de charge moyen est de 21%**. Il est à noter que la chaudière n'avait été surdimensionnée.

Etude du rendement de génération

A l'échelle de l'année, le **rendement moyen annuel de génération est de 91,2%** et inférieur à 70% pendant seulement 3% du temps. Mais on observe **une dégradation du rendement de génération quand la charge diminue**. Cela ne plaide pas en faveur d'un surdimensionnement de la chaudière qui risquerait alors de fonctionner en sous charge et donc à rendement plus faible. Ici, la chaudière mise en place est de type Varino. Or son rendement devrait augmenter quand la charge décroît. C'est l'inverse qui est observé. Les pertes des réseaux primaires hors chaudière sont les principaux responsables. Pour les limiter, quelques règles simples peuvent être retenues : avoir des réseaux primaires les plus courts possibles contenant un volume d'eau minimum et hyper calorifugés (y compris organes).

Etude de l'efficacité de l'échangeur de la CTA des bureaux

La ventilation des bureaux est de type double flux avec récupérateur de chaleur à roue. A partir du relevé continu des températures on a déterminé que la valeur moyenne annuelle de l'efficacité de l'échangeur était de **75%** avec un **maximum de 96% (en hiver)**, et un **minimum de 20 (en été)**. L'explication de ce résultat surprenant tient à ce que la vitesse de la roue est pilotée en fonction de la température de l'air neuf.



Evolution de l'efficacité de l'échangeur à roue en fonction de la température d'entrée d'air

Etude du puits canadien

L'installation comprend un puits canadien qui préchauffe l'air extérieur en hiver et le refroidit en été en le faisant circuler dans le sol avant de l'amener sur la CTA. On observe que le puits joue bien son rôle d'amortisseur, de filtre et de déphaseur (il décale les phénomènes d'environ 2 mois). Le bilan enthalpique du puits canadien a permis de montrer qu'il n'y avait de la condensation dans le puits que **67 heures** sur l'année produisant **88 litres d'eau**. **La condensation ne semble donc pas un phénomène majeur dans un puits canadien** (à confirmer), en tout cas dans le Sud de la France.

L'étude du fonctionnement fait apparaître un **défaut d'étanchéité** important au droit du volet d'amenée d'air neuf conduisant à un mélange d'air extérieur et d'air issu du puits canadien. D'autre part, **le puits canadien fonctionne à contre temps** : la nuit l'air traverse le puits alors que la CTA devrait être à l'arrêt et la journée le puits est bi passé. Ceci était proprement réglé au moment de la livraison du bâtiment et met en évidence la question du pilotage des installations par l'entreprise de maintenance.

Le fonctionnement actuel ne renseigne donc pas sur l'apport exact du puits canadien dans l'installation. On peut toutefois calculer **l'énergie fournie en période de chauffe en dehors des périodes d'occupation : 5 294 kWh/an soit 2,5 kWh/m²_{SU}/an**. Cela correspondrait (sans défaut de volet avec un rendement de 70%) à une économie de chauffage de **3,6 kWh/m²_{SU}/an**. **En période estivale, l'énergie fournie avec la régulation actuelle est de 3 816 kWh/an soit 1,8 kWh/m²_{SU}/an**.

7 - Comparaison entre prévision et mesure des consommations

A la question de savoir si les consommations mesurées pouvaient être rapprochées des consommations prévues, il a d'abord fallu répondre à la question de savoir s'il était possible de prévoir une consommation de chauffage. La réponse est clairement non. Parce que cette prévision suppose de connaître un très grand nombre de paramètres comme le débit exact d'air neuf (surtout lorsque ce débit est variable), celui d'infiltration, les heures de présence de chacun, la météo (température, humidité et insolation), la position des occultations, la chaleur dégagée par les personnes et surtout la température exacte dans les locaux ainsi que le comportement des occupants. L'influence de cet ensemble de paramètres est de plusieurs dizaines de pourcents. Il est donc illusoire de chercher à prévoir une consommation, et donc de chercher à comparer une mesure au résultat d'un calcul. C'est « désolant » mais c'est ainsi... Surtout lorsque le « calcul » de référence est le calcul RT puisque celui n'a jamais été une prévision de consommation (c'est écrit en première page) mais seulement une méthode conventionnelle.

Dans ce schéma, la simulation dynamique doit rester ce qu'elle est, à savoir un formidable outil d'aide à la conception. Rien d'autre.

8-Approche économique

En valeur Février 2005, le coût de construction de l'INEED se monte à **1.057 € HT/m²Shon**. Ceci correspondait au coût du marché de l'époque, tel qu'estimé par les spécialistes (1.050 €/m²). Ce résultat, en apparence surprenant, s'explique parce qu'un bâtiment performant ne comporte pas que des plus values. A l'INEED, il a été possible, grâce aux mesures prises, d'éviter l'installation d'une climatisation. De même les faibles charges induisent-elles une chaudière et des radiateurs plus petits, des tubes et des isolants moins importants, etc. Toutes ces réductions génèrent des moins values qui peuvent conduire, comme dans le cas de l'INEED, à un bilan économique en équilibre. Enfin, l'INEED est un bâtiment simple sur le plan des systèmes, et la simplicité est toujours source d'économie.

Conclusion

L'INEED reste l'un des bâtiments de bureaux les moins consommateurs de France, mais il ne fonctionne plus aujourd'hui de manière optimale et la mesure a permis de nombreux enseignements.

Le rôle de la perméabilité de l'enveloppe apparaît central. Un n₅₀ de 1,8 vol/h conduit à une surconsommation de 5 kWh/m²/an, soit 25% de la consommation prévisionnelle. A l'avenir, tous les projets devront être beaucoup plus volontaristes sur ce point.

Les nombreux dysfonctionnements constatés alors que les réglages étaient bons à la livraison soulèvent la question de la qualité de la maintenance, de la précision des pièces écrites du maître d'œuvre et de la responsabilité du maître d'ouvrage quant au respect des consignes de fonctionnement. Cette campagne a montré que ces défauts de réglage peuvent conduire à des surconsommations de chauffage de 35%. On ne pourra pas obtenir des bâtiments avec des performances inscrites dans la durée si on n'introduit pas plus de rigueur dans le pilotage des bâtiments.

Il est aussi éloquent de constater que plus de la moitié des consommations électriques a lieu en dehors des périodes d'occupation. La plupart correspond à des usages qui auraient pu être arrêtés.

Les limites des systèmes d'optimisation d'éclairage par gradateurs ou détecteurs de présence sont aussi mis en relief ici. On réservera ces systèmes aux installations ayant des durées annuelles de fonctionnement suffisantes et on en choisira avec de faibles veilles.

Dans les bâtiments à basse consommation, la part des usages électriques devient prépondérante. Les constructeurs de matériel électrique doivent en prendre conscience et mettre rapidement sur le marché des appareils sans veille et possédant de très faibles consommations,

Des enseignements très riches ont aussi touché la conception :

- Le rendement de génération de chaleur diminue rapidement avec le taux de charge, même dans une chaudière dans laquelle le processus est inverse (Varino). Ceci est dû aux pertes de chaleur dans les réseaux primaires et les organes associés. Les concepteurs devront donc réduire la longueur ces réseaux et les surisoler,

- en confort d'été, une ventilation nocturne mécanique sans augmentation du débit réglementaire n'est pas très utile. Lui préférer une ventilation naturelle à débit plus important, Malgré les dysfonctionnements majeurs observés sur la régulation du puits canadien, on peut observer que les quantités d'énergies apportées ne sont pas très élevées. La question de la pertinence de cette option se pose,

- l'utilisation d'interrupteurs simple allumage dans les circulations entraîne des gâchis considérables. A éviter,

- il faut systématiquement utiliser des interrupteurs sur l'alimentation des appareils à fonctionnement intermittent et les couper à l'arrêt de l'appareil : cela permet d'importantes économies,

- Il conviendra enfin d'éviter la mise en place d'onduleurs. La généralisation d'ordinateurs portables permet de s'en affranchir tout en réduisant les consommations de bureautique en prenant bien soin de vérifier les puissances des appareils installés (pouvant varier de 20 à 60 W).

Retenons enfin que si l'ensemble des améliorations proposées était mis en œuvre, les consommations de l'INEED seraient ramenées à 16,3 kWh/m²_{SU}/an d'électricité et 20 à 25 kWh/m²_{SU}/an pour le chauffage en fonction de la nature des travaux d'étanchéité entrepris. Cette campagne aura montré qu'il ne suffit pas de livrer un bâtiment qui fonctionne mais qu'il faut aussi en garantir les performances dans le temps ■

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| Partie I : | Introduction..... | 15 |
| Partie II : | Présentation du bâtiment et de la méthode d'évaluation des performances. | 17 |
| II.1 | Description du bâtiment ET DE SES EQUIPEMENTS..... | 17 |
| II.1.1 | Description du bâtiment | 17 |
| II.1.2 | Description des installations électriques | 18 |
| II.1.3 | Rappel des principaux usages électriques mis en œuvre..... | 20 |
| II.1.4 | Description des installations de ventilation..... | 20 |
| II.1.5 | Description des installations thermiques..... | 24 |
| II.2 | Description de la campagne de mesures..... | 25 |
| II.2.1 | Métrologie mise en œuvre..... | 25 |
| II.2.2 | Liste détaillée des usages suivis | 29 |
| II.2.3 | Traitement des données | 30 |
| Partie III : | Les performances générales du bâtiment..... | 31 |
| III.1 | Test à la porte soufflante | 31 |
| III.2 | Consommations totales de gaz et d'électricité | 32 |
| III.2.1 | Bilan général du bâtiment | 32 |
| III.2.2 | Consommation totale d'électricité | 33 |
| III.2.3 | Production d'électricité d'origine photovoltaïque..... | 37 |
| III.2.4 | Consommation de chauffage (gaz)..... | 38 |
| III.2.5 | Consommation d'énergie primaire totale..... | 40 |
| III.2.6 | Comparaison avec le label allemand Passivhaus | 41 |
| III.2.7 | Comparaison avec les consommation observées la première année d'occupation du bâtiment | 42 |
| Partie IV : | Etude détaillée des consommations d'électricité..... | 44 |
| IV.1 | Structure de la consommation et de la pointe..... | 44 |
| IV.1.1 | Structure de la consommation annuelle par usage | 44 |
| IV.1.2 | Part de la consommation par usage en période d'occupation et d'inoccupation.. 45 | 45 |
| IV.1.3 | Structure par usage de la puissance de pointe | 45 |
| IV.2 | L'éclairage..... | 47 |
| IV.2.1 | Récapitulatif des consommations d'éclairage des différents locaux..... | 47 |
| IV.2.2 | L'éclairage extérieur | 50 |
| IV.2.3 | Les bureaux | 50 |
| IV.2.4 | Les laboratoires | 54 |
| IV.2.5 | Les salles de réunion | 54 |
| IV.2.6 | La salle de conférence | 57 |
| IV.2.7 | La salle d'exposition | 58 |
| IV.2.8 | Le hall d'entrée et les paliers d'étage..... | 59 |
| IV.2.9 | Les circulations | 62 |
| IV.2.10 | Les sanitaires | 65 |
| IV.2.11 | Locaux annexes | 66 |
| IV.2.12 | L'éclairage de sécurité | 67 |
| IV.3 | L'informatique | 68 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| IV.3.1 | Récapitulatif de la consommation de la bureautique | 69 |
| IV.3.2 | Consommation de la bureautique des locaux de bureaux | 71 |
| IV.3.3 | Consommation de la bureautique par local | 73 |
| IV.3.4 | Etude des ordinateurs portables..... | 76 |
| IV.3.5 | Etude des ordinateurs portables avec écrans supplémentaires | 78 |
| IV.3.6 | Etude des ordinateurs fixes | 81 |
| IV.3.7 | Etude des imprimantes | 83 |
| IV.3.8 | Etude de l'imprimante collective | 84 |
| IV.3.9 | Etude de la salle informatique..... | 85 |
| IV.3.10 | Les baies de brassage informatique et téléphonique | 85 |
| IV.3.11 | Le serveur internet de l'INEED | 86 |
| IV.4 | Etude de la chaufferie | 87 |
| IV.4.1 | Consommation globale des usages en chaufferie..... | 87 |
| IV.4.2 | La chaudière et la régulation | 88 |
| IV.4.3 | Récapitulatif sur la consommation des pompes | 89 |
| IV.4.4 | Les pompes de circulation des radiateurs..... | 91 |
| IV.4.5 | Pompe d'eau glacée de la climatisation | 95 |
| IV.4.6 | Pompe de la CTA bureaux | 96 |
| IV.4.7 | Pompe de la CTA conférence..... | 96 |
| IV.4.8 | Pompe de la CTA d'exposition | 99 |
| IV.5 | Les systèmes de ventilation..... | 100 |
| IV.5.1 | La CTA des bureaux et salles de réunion..... | 100 |
| IV.5.2 | La CTA de la salle de conférence | 107 |
| IV.5.3 | 475 La CTA de la salle d'exposition..... | 110 |
| IV.5.4 | La VMC de la zone laboratoire | 111 |
| IV.5.5 | Les ventilateurs de plafond | 112 |
| IV.5.6 | Récapitulatif de la consommation des systèmes de ventilation | 112 |
| IV.6 | Usages thermiques de l'électricité..... | 115 |
| | Nota : dans ce qui suit, on désigne par « usages thermiques » de l'électricité tous les usages conduisant à une production de chaleur sensible, que celle-ci soit positive (chauffage) ou négative (refroidissement). | 115 |
| IV.6.1 | La climatisation | 115 |
| IV.6.2 | Les chauffe eau..... | 119 |
| IV.6.3 | Les radiateurs électriques | 121 |
| IV.6.4 | Récapitulatif de la consommation des usages thermiques de l'électricité | 121 |
| IV.7 | Les appareils divers..... | 122 |
| IV.7.1 | Les distributeurs de boissons..... | 122 |
| IV.7.2 | L'ascenseur..... | 123 |
| IV.7.3 | La cafétéria | 125 |
| IV.7.4 | Les appareils audio-visuel de la salle de conférence..... | 126 |
| IV.7.5 | Les appareils audio-visuel des salles de réunion..... | 126 |
| IV.7.6 | Autres usages..... | 127 |
| IV.7.7 | Récapitulatif de la consommation des autres appareils..... | 128 |
| IV.8 | Récapitulatif des Economies réalisables sur l'électricité | 130 |
| Partie V : | Etude des consommations thermiques | 131 |
| V.1 | Consommation totale du bâtiment..... | 131 |
| V.2 | Les circuits radiateurs nord et sud | 133 |

| | | |
|--|--|------------|
| V.3 | La salle de conférence | 136 |
| V.4 | La salle d'exposition..... | 137 |
| V.5 | La batterie de préchauffage des bureaux..... | 138 |
| V.6 | L'atelier | 139 |
| Partie VI : Etude des températures | | 141 |
| VI.1 | Températures dans les bureaux | 141 |
| VI.1.1 | Etude des températures en hiver..... | 141 |
| VI.1.2 | Etude des températures en été | 145 |
| VI.1.3 | Etude du confort thermique en été | 150 |
| VI.1.4 | Etude de l'influence de la ventilation nocturne sur le confort d'été | 156 |
| VI.1.5 | Etude des températures de soufflage dans les bureaux | 157 |
| VI.2 | Température dans la salle de conférence | 158 |
| VI.2.1 | Etude des températures en hiver..... | 158 |
| VI.2.2 | Etude des températures en été | 160 |
| VI.3 | Température dans la salle d'exposition..... | 161 |
| VI.3.1 | Etude des températures en hiver..... | 161 |
| VI.3.2 | Etude des températures en été | 163 |
| VI.4 | Température dans les salles de réunion | 165 |
| VI.4.1 | Etude des températures en hiver..... | 165 |
| VI.4.2 | Etude des températures en été | 166 |
| VI.5 | Température dans les espaces communs..... | 168 |
| VI.5.1 | Local CTA..... | 168 |
| VI.5.2 | Le local VDI..... | 168 |
| Partie VII : Etude des systèmes thermiques | | 169 |
| VII.1 | Taux de charge de la chaudière | 169 |
| VII.2 | Etude du rendement de génération..... | 170 |
| VII.3 | Etude de l'efficacité de l'échangeur de la CTA des bureaux | 172 |
| VII.4 | Etude du puits canadien | 174 |
| VII.4.1 | Etude du fonctionnement en hiver | 176 |
| VII.4.2 | Etude du fonctionnement en été | 179 |
| Partie VIII : Liste des dispositions correctives à mettre en œuvre rapidement | | 182 |
| Partie IX : Analyse des différences entre le calcul normatif performance réelle | | 185 |
| IX.1 | Présentation de la simulation théorique..... | 185 |
| IX.2 | Impact de la température de consigne de chauffage..... | 186 |
| IX.3 | Influence de la perméabilité à l'air de l'enveloppe | 187 |
| IX.4 | Modification des données météorologiques..... | 187 |
| IX.5 | Analyse des apports internes..... | 189 |
| IX.6 | Les scenarii de fonctionnement..... | 190 |
| IX.7 | Simulation de synthèse..... | 190 |
| IX.8 | Comparaison du calcul réglementaire et des mesures..... | 191 |

| | |
|--|------------|
| IX.9 Conclusion..... | 192 |
| <i>Partie X : Economie du projet</i> | <i>194</i> |
| <i>Partie XI : Conclusion.....</i> | <i>196</i> |

Partie I : Introduction

L'étude qui suit présente les résultats de la campagne de mesure d'une année complète conduite sur le bâtiment de l'INEED à Alixan (Drôme). Cette étude s'inscrit dans un vaste programme de suivi et d'évaluation mené sur des bâtiments performants. Ce programme, monté à l'initiative de l'ADEME, vise à connaître et expliquer les performances réelles des bâtiments performants en rénovation comme en neuf (BBC, passifs, bâtiment à énergie positive), qui s'inscrivent dans le Grenelle de l'Environnement, où qui l'ont anticipé (cas de l'INEED).

L'INEED est un bâtiment de bureaux livré en Juillet 2006 et commandité par la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Drôme.

La conception énergétique et la mission fluides ont été assurées par ENERTECH/Cabinet SIDLER, tout comme cette campagne de mesure.... En assurant cette double mission, le Cabinet SIDLER pourrait être considéré comme « juge et parti ».

Cette situation est parfaitement assumée. En effet, le Cabinet SIDLER a été retenu au terme d'une consultation ouverte lancée par l'ADEME, sur la base d'un cahier des charges technique strict et rigoureux. Le but n'est surtout pas de montrer que ce qu'a produit l'équipe de maîtrise d'oeuvre est forcément bien. La position de neutralité et d'objectivité du prestataire a été une constante tout au long de ce travail dans lequel le lecteur pourra constater que la critique reste dominante, seule façon de faire progresser notre connaissance commune des bâtiments performants.

L'INEED a été conçu en 2003, donc à une époque où personne ne parlait en France de performance énergétique. Le débat était encore centré sur une progression « molle » de la RT tous les 5 ans. Le cahier des charges du bâtiment avait néanmoins quelques particularités qu'il convient de rappeler :

- la demande principale était de faire un bâtiment HQE, et le programme avait été assuré par le cabinet PROFILE. La cible énergie devait être « très performante », sans plus de précision. Aucune performance particulière n'était imposée,
- la présence d'un pôle de formation bois rendait obligatoire une présence massive de ce matériau à l'intérieur du bâtiment, option que nous n'avions initialement pas retenue par peur d'une insuffisance d'inertie thermique pouvant créer un problème d'inconfort en été,
- enfin, la demande la plus originale, à notre point de vue, était l'absence souhaitée de tout système de climatisation en été dans les bureaux (mais pas dans la salle de conférence). S'agissant d'un bâtiment situé au niveau du 45^{ème} parallèle, dans le Sud de la France, c'était un vrai défi....

Ces demandes très particulières ont structuré notre approche conceptuelle et ont rendu absolument obligatoire l'utilisation de la simulation dynamique.

Nous avons pris la décision de faire quelque chose de plutôt exceptionnel en terme de consommation de chauffage (par rapport au niveau de la RT), et l'approche estivale nécessitant l'absence de climatisation nous avait contraints à réduire de façon drastique la

consommation des usages électriques traditionnels (éclairage, bureautique, etc.). Nous savions que le bâtiment aurait forcément des performances très améliorées par rapport à tout ce qui existait en France jusqu'alors. Et c'est bien ce que les mesures globales après la première année (compteurs EDF et GDF) ont montré.

Mais cette campagne de mesures intervient durant la troisième année de fonctionnement. Et ceci est très intéressant car le bâtiment a pris son rythme de croisière et les réglages des installations ont évolué. Il n'est pas fréquent de faire des mesures au-delà de la première année de fonctionnement des bâtiments si bien que cette expérience va permettre de d'observer et de comprendre de nouveaux phénomènes.

Globalement, il s'agissait de savoir comment avaient vraiment fonctionné les systèmes et les appareils, et comment le bâtiment était réellement piloté (températures de consigne heures de fonctionnement du chauffage et de la ventilation, etc.). On avait également fait de nombreux scénarii lors de la simulation dynamique et il convenait de savoir si les usages électriques simulés avaient fonctionné comme prévu et avec les niveaux de consommation envisagés alors.

Nous avons posé dans ce bâtiment 720 mesureurs, de manière à avoir une connaissance extrêmement précise de tous les phénomènes qui ont pu avoir lieu durant l'année d'observation. Rappelons qu'une campagne de mesures nécessite évidemment de connaître la consommation des différents usages, mais elle nécessite aussi de suivre un certain nombre de variables « explicatives » de manière à comprendre les consommations observées. À défaut, on n'aurait qu'une succession de consommations sans savoir à quoi ces consommations se réfèrent réellement. À titre d'exemple, connaître une consommation de chauffage et ne pas connaître le débit d'air neuf et la température intérieure n'a pas beaucoup d'intérêt. Pour cette campagne de mesures nous avons même mis au point un mesureur permettant une détermination précise toutes les 10 minutes des débits d'air soufflé et extrait (qui sont variables dans cette installation).

L'objectif poursuivi était donc multiple :

- voir comment marchent réellement les installations et les usages,
- identifier les solutions qui ont bien fonctionné (comme on avait pensé qu'elle fonctionnerait) et celles qui n'ont pas bien fonctionné. Pour celles-ci, il est nécessaire à chaque fois de comprendre les raisons du dysfonctionnement, soit pour ne pas mettre en oeuvre à nouveau une solution de ce type (et faire profiter la profession de cette information), soit pour modifier le mode de fonctionnement de l'installation existante afin de le ramener dans les conditions nominales, celles qui conduiront aux consommations les plus faibles,
- produire des ratios de consommation par usage, sachant qu'il s'agit la plupart du temps d'usages assez performants et pour lesquels on ne dispose pas jusqu'à présent de références mesurées.

Dans une dernière partie, on a pu aussi décrire toutes les modifications de réglage qu'il était nécessaire d'opérer sur cette installation pour la ramener à un fonctionnement nominal, et quels étaient les gains énergétiques que l'on pouvait attendre de ces améliorations (qui sont la plupart du temps des réglages) ■

Partie II : Présentation du bâtiment et de la méthode d'évaluation des performances

II.1 DESCRIPTION DU BATIMENT ET DE SES EQUIPEMENTS

II.1.1 Description du bâtiment

Le bâtiment de l'INEED (Innovation pour l'Environnement et l'Economie Durable) héberge des résidents permanents et une pépinière d'entreprises regroupant des structures de la filière Bio, la filière construction environnementale (le bois construction, les écomatériaux et les énergies renouvelables) et la filière des technologies « propres et sobres ».



Figure 2.1 : Façade Sud de l'INEED

Le bâtiment possède une surface chauffée de 2892 m² (dont 2.612 m² de bureaux et 280 m² d'atelier). Il est situé sur la commune d'Alixan dans la Drôme. Les surfaces sont réparties comme suit :

- Zone bureaux : 2104 m² (bureaux 1045, cours et réunions 266, circulations 677, autres 116)
- Zone conférence RdC : 344 m²
- Zone exposition R+2 : 164m²
- Zone atelier bois : 280 m²

L'une des caractéristiques de ce bâtiment est son hétérogénéité : il existe des zones de bureaux, mais également d'importants espaces pour les réunions et les salles de cours, une grande salle de conférence, une salle d'exposition et un atelier bois. Tout ceci ne rend pas très facile la formulation de ratios référés à la surface. Dans la mesure du possible nous nous référerons à la surface de la zone « bureaux », celle-ci incluant les bureaux eux-mêmes, la salle de conférence, la salle d'exposition, les salles de cours et de réunion et les circulations (2618 m²). Dans d'autres cas cette référence ne sera pas possible et nous serons obligés, par exemple pour les usages spécifiquement dédiés aux bureaux (informatique, éclairage), de nous référer à la surface des bureaux seuls (1045 m²). Une autre particularité du bâtiment tient à la densité d'occupation, elle-même liée à la destination des différents locaux. Durant l'année de mesures il y a eu environ 65 personnes résidant en permanence dans le bâtiment, mais il y en a eu beaucoup qui sont venues suivre des stages et des cours de formation, de même que plusieurs milliers ont assisté à des conférences. La référence des consommations au nombre de personnes est donc très délicate, voire fausse, et nous avons préféré l'abandonner la plupart du temps, sauf dans l'étude des locaux de bureaux eux-mêmes.

Enfin, le bâtiment est original en ce sens qu'il est probablement le premier bâtiment de ce type en France à avoir fait l'objet d'une optimisation sur l'ensemble des éléments d'enveloppe, de systèmes, mais aussi sur les équipements consommateurs d'électricité, et notamment sur le parc informatique. Il a été livré en Juillet 2006 et sa conception remonte aux années 2003-2004.

La démarche HQE se décompose en 14 cibles. La maîtrise d'ouvrage a choisi de traiter 3 cibles de manière très approfondie (dont la cible énergie) et 3 de manière approfondie.

Les façades principales de l'INEED sont orientées Nord-Sud. Le bâtiment est très compact. L'enveloppe, dans ses parties verticales, est constituée d'un monomur en briques alvéolées de 49 cm d'épaisseur ($R=4.5 \text{ m}^2\text{K/W}$) (figure 2.2). Forte isolation en toiture par 20 cm de polyuréthane ($R>7\text{m}^2\text{K/W}$). Les surfaces vitrées sont limitées à environ 15% de la surface utile et sont constituées de doubles vitrages peu émissifs à lame d'argon sur menuiserie bois (classement A4).



Figure 2.2 : Monomur en brique de 49 cm de marque Belleberg

L'utilisation massive du bois, notamment sous forme de plancher collaborant (ce qui a permis de réduire les quantités de béton et surtout celles de l'acier du ferrailage), de Fermacell (mélange de cellulose et de gypse) pour les cloisons intérieures et l'absence quasi totale de matériaux énergivores tels que l'aluminium et le PVC ont conduit à ce que l'INEED soit un bâtiment à relativement faible énergie grise (car la brique est un matériau assez énergivore !).

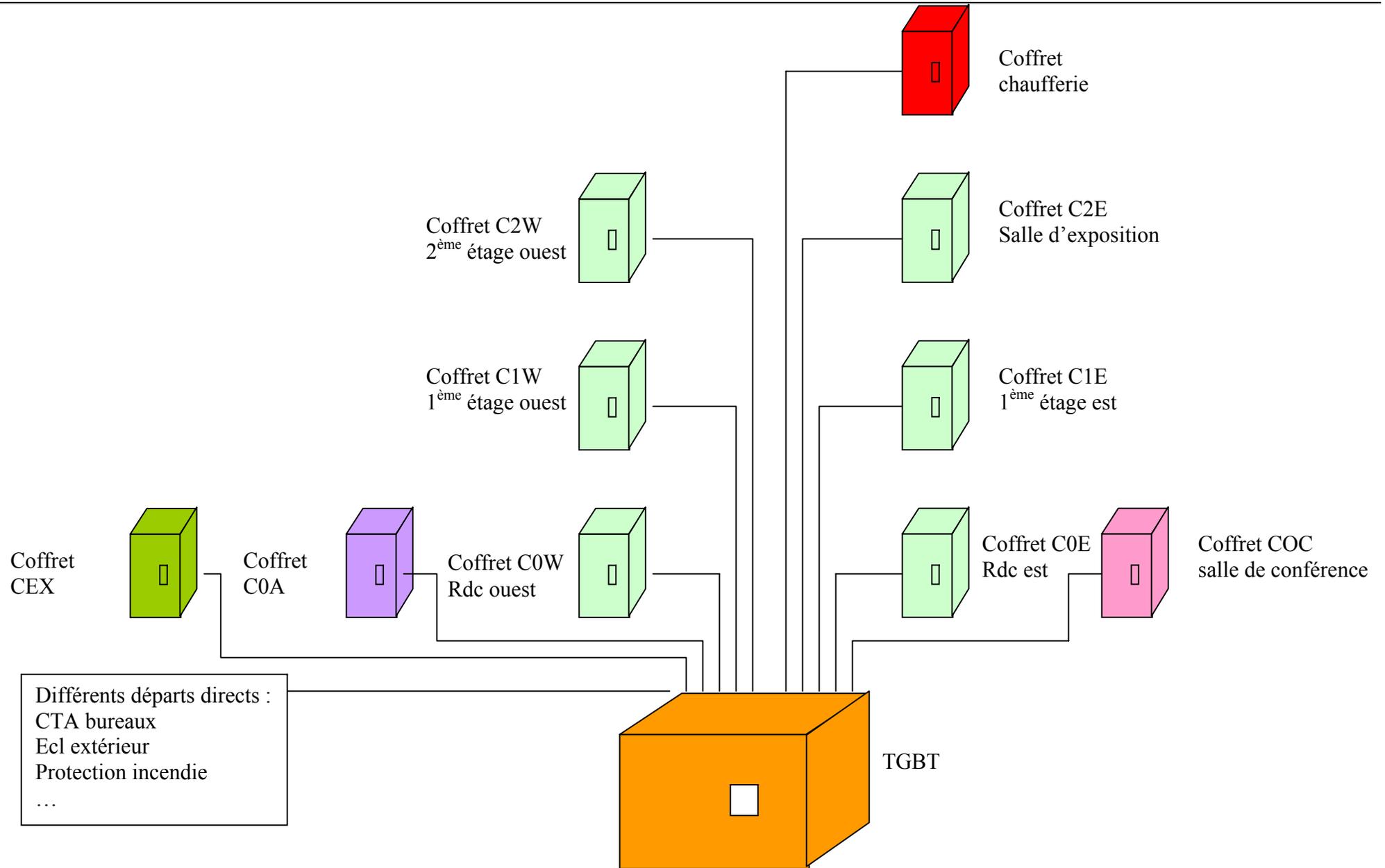
II.1.2 Description des installations électriques

Le schéma de la page suivante est une représentation simplifiée de l'installation électrique de l'INEED.

Il existe une armoire générale de distribution (TGBT) localisée au sous sol. Dix coffrets secondaires sont directement raccordés à l'armoire de distribution principale. Les coffrets C1E (R+1 de l'aile Est), C1W (R+1 de l'aile Ouest) et C2W (R+2 de l'aile Ouest) alimentent les bureaux.

Les coffrets COW (RdC Ouest) et C2E (R+2 de l'aile Est) alimentent respectivement les salles de réunion et la salle d'exposition. La salle de conférence possède également son propre coffret (COC).

Le coffret C0A permet l'alimentation de l'atelier (éclairage et diverses machines) tandis que le coffret CEX alimente le cabanon extérieur abritant le local déchet et les divers équipements d'entretien.



II.1.3 Rappel des principaux usages électriques mis en œuvre

La description précise des usages électriques sera faite dans la Partie IV lors de l'étude des consommations électriques par usage.

II.1.4 Description des installations de ventilation

Il existe trois CTA (centrale de traitement d'air) double flux et une VMC simple flux (ventilation mécanique contrôlée) dans le bâtiment. Le schéma qui suit reprend les différents systèmes de ventilation et les zones associées.

Il existe

- Une CTA double flux pour l'ensemble des bureaux et des salles de réunion
- Une VMC simple flux pour la zone labo du deuxième étage coté ouest.
- Une CTA double flux pour la salle d'expo assurant également le chauffage par air.
- Une CTA double flux pour la salle de conférence assurant également le chauffage par air.

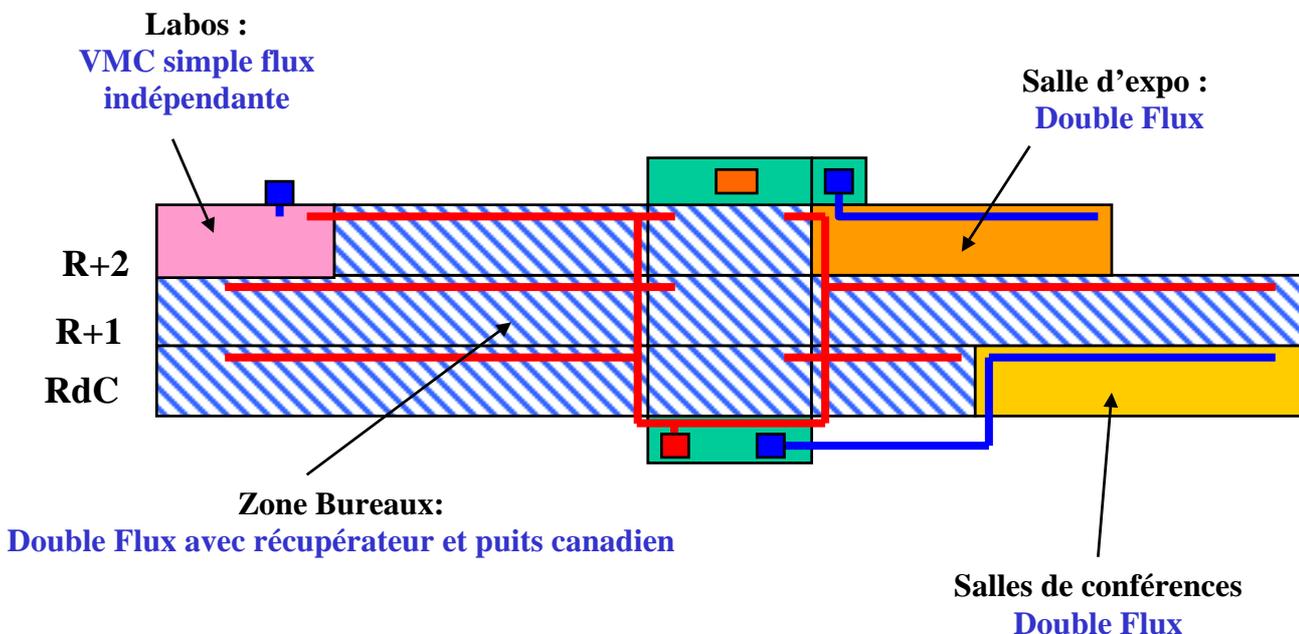


Figure 2.3 : Coupe longitudinale du bâtiment associant les zones et les systèmes de ventilation

II.1.4.1 La CTA des bureaux

La CTA bureaux permet le renouvellement d'air de tous les locaux à l'exception de la salle d'exposition et de la salle de conférence. Il s'agit d'une centrale double flux avec récupérateur à roue composée de :

- deux ventilateurs (soufflage et extraction),
- de deux filtres,
- d'un récupérateur à roue motorisé permettant de récupérer une grande partie (efficacité > 80 %) de la chaleur contenue dans l'air extrait.
- d'une batterie chaude permettant un soufflage d'air à 18°C.

L'entrée d'air de cette centrale peut s'effectuer via un puits canadien ou directement avec l'air extérieur (cf. figure 2.4).

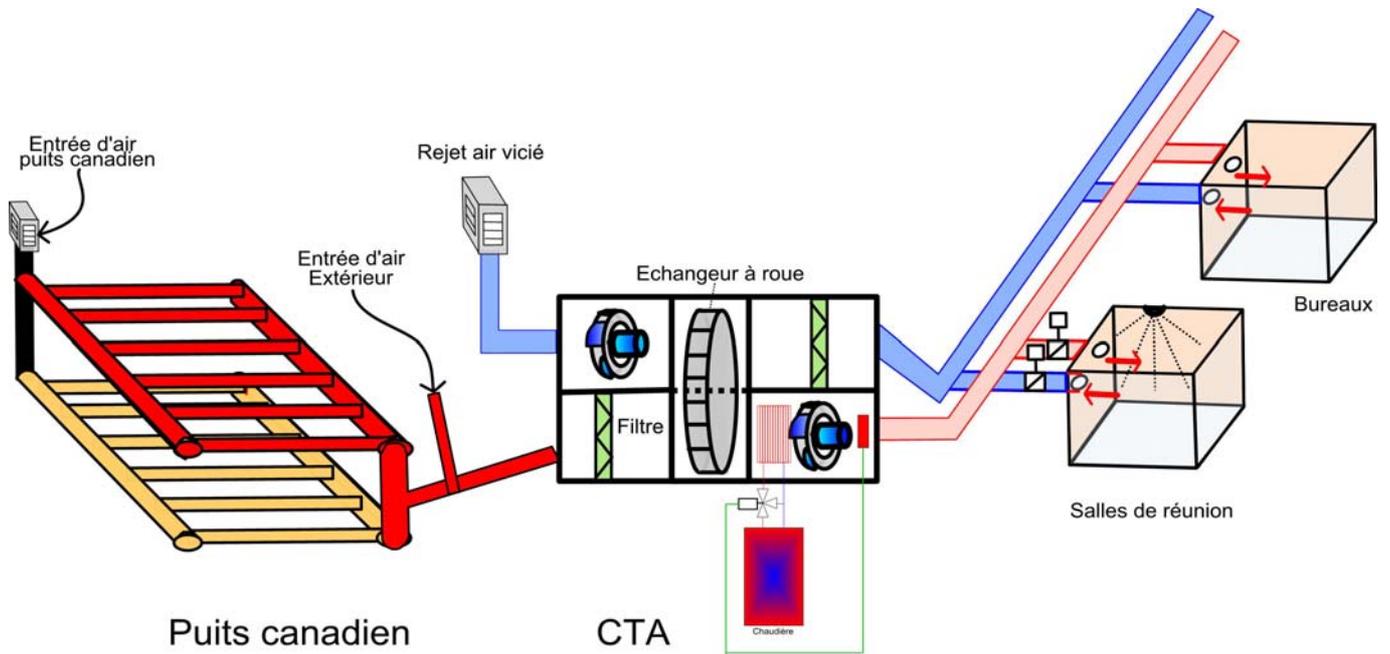


Figure 2.4 : Synoptique de l'installation de renouvellement d'air des bureaux

En fonction des températures intérieure, extérieure et de la température dans le puits canadien, un automate permet de choisir, en fonction des besoins du bâtiment, la provenance de l'air neuf. Il active également le récupérateur à roue si nécessaire afin d'optimiser la consommation d'énergie et le confort des occupants. L'air est ensuite distribué dans le bâtiment. Dans les bureaux il est soufflé en continu pendant les heures d'occupation. Dans les salles de réunion, au nombre de 5, des détecteurs de présence agissent sur des registres motorisés qui limitent la ventilation aux seuls moments de la journée pendant lesquelles les salles sont utilisées.

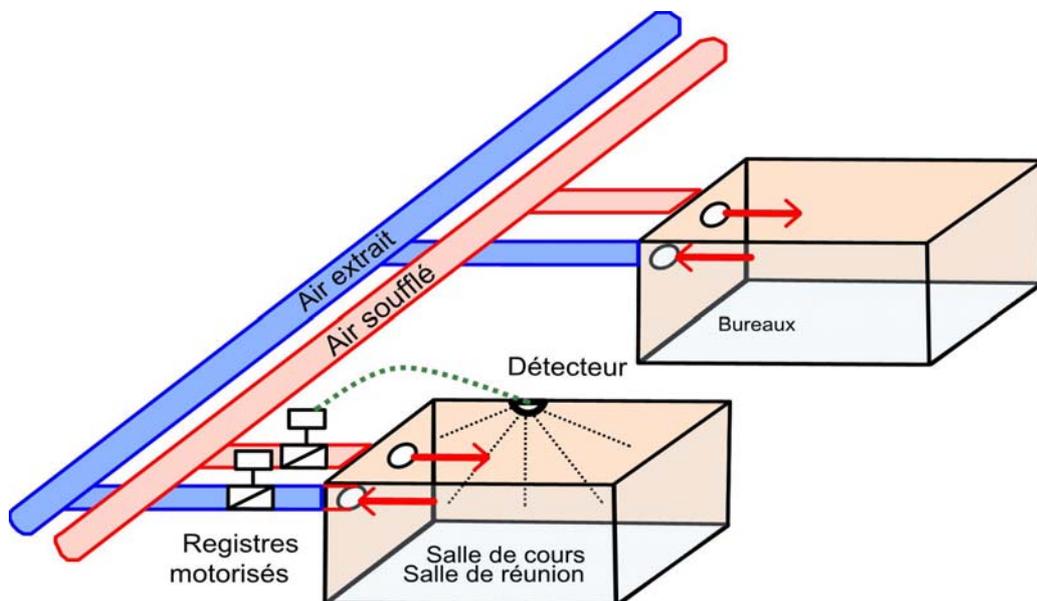


Figure 2.5 : Synoptique de l'installation de ventilation à débit variable des salles de réunion

La détection de présence dans les salles de réunion permet une importante économie d'énergie thermique. Mais grâce à l'installation d'un variateur de vitesse sur les moteurs de soufflage et d'extraction elle permet un gain d'énergie électrique. Lorsque les salles de réunion ne sont pas occupées, un capteur de pression différentielle dont une extrémité est placée au droit de la bouche la plus éloignée et l'autre dans la centrale, permet de diminuer la vitesse afin d'assurer le débit de ventilation juste nécessaire à l'ensemble des bureaux.

Enfin, l'automate de la CTA permet de l'arrêter en dehors des heures ouvrés (nuit et week-end), ce qui génère une double économie thermique et électrique.

II.1.4.2 La CTA de la salle de conférence

La centrale de traitement d'air de la salle de conférence est une centrale double flux sans récupérateur de chaleur. Elle est située au sous sol, dans un local dédié. La figure 2.6 représente le synoptique de la CTA.

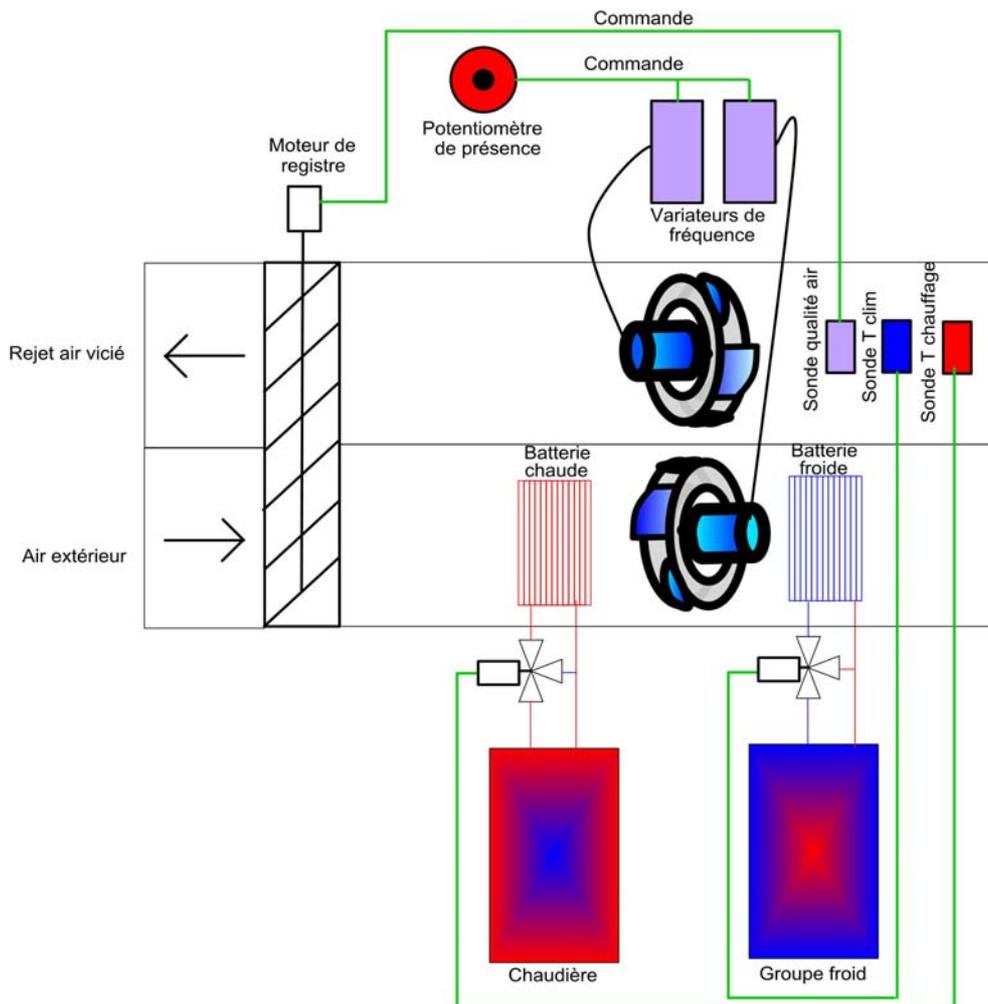


Figure 2.6 : Synoptique de l'installation de climatisation de la salle de conférence

Une sonde de qualité d'air est installée dans le conduit de reprise au niveau de la CTA. Elle règle les volets de recyclage de la centrale afin de maintenir dans la salle une concentration en CO₂ de 1000 ppm. Ce dispositif permet de ne pas renouveler inutilement l'air de la salle ce qui conduit à une économie d'énergie conséquente.

Cette centrale assure le chauffage et le rafraîchissement de la salle par un jeu de batterie chaude et froide. Régulation de la température ambiante par contrôle de la température d'air extrait (sonde de reprise) agissant sur des vannes trois voies montées en décharge inverse sur les batteries. La protection hors condensation (10°C) de cette salle est assurée par un thermostat activant les ventilateurs à vitesse et débit réduits.

La commande des ventilateurs est manuelle au moyen d'un interrupteur situé au niveau de l'accueil. La relance d'effectue à vitesse minimale des ventilateurs, le volet de recyclage étant alors complètement fermé (pas d'amenée d'air extérieur).

La vitesse des deux ventilateurs (soufflage et extraction) est pilotée par un potentiomètre (situé à proximité de l'accueil). Ce potentiomètre, gradué en « nombre d'occupants », permet d'ajuster le débit en fonction du nombre de personnes présentes dans la salle.

II.1.4.3 La CTA de la salle d'exposition

La centrale de traitement d'air de la salle d'exposition est une centrale double flux sans récupérateur de chaleur. Elle est située en toiture, à proximité du groupe froid de la salle de conférence dans un local dédié. La figure 2.7 représente le synoptique de la CTA.

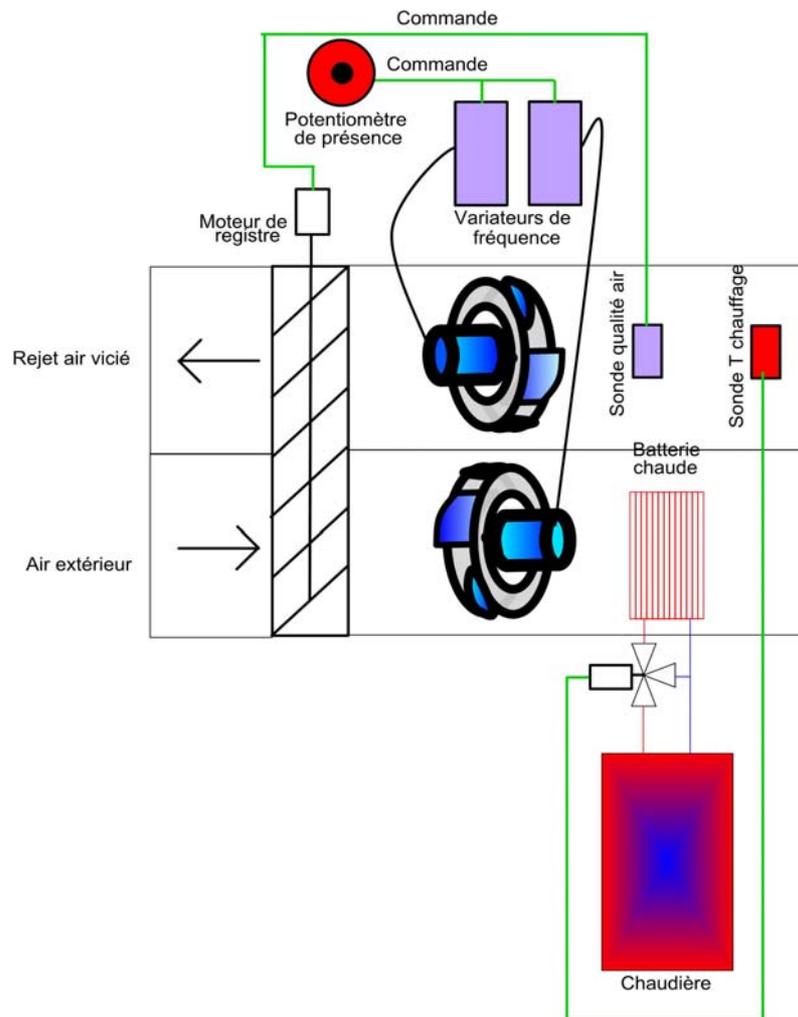


Figure 2.7 : Synoptique de l'installation de climatisation de la salle de conférence

Cette CTA fonctionne sur le même principe que la CTA de la salle de conférence, mais elle ne dispose pas de batterie froide (climatisation).

La régulation est identique avec une commande du volet de recyclage par une sonde de qualité d'air. Chauffage par batterie chaude régulée par vanne trois voies motorisée pilotée par sonde de reprise (lorsque les ventilateurs sont en fonctionnement). Un thermostat anti condensation permet le démarrage des ventilateurs.

II.1.4.4 La VMC de la zone Labo

L'équipement du « Labo » est très particulier. Il a été conçu pour un utilisateur qui n'est finalement jamais venu. Ce sont donc des bureaux qui occupent cette zone aujourd'hui. La ventilation est de type simple flux et elle est indépendante des autres bureaux. Un extracteur a donc été mis en place. L'entrée d'air neuf est réalisée par des bouches autoréglables placées dans les menuiseries.

II.1.5 Description des installations thermiques

La production de chaleur de l'INEED est réalisée en toiture à l'aide d'une chaudière gaz à condensation de type Varino (brûleur modulant) de 150 kW.

La distribution de l'eau chaude est s'effectue par 5 circuits de chauffage distincts :

- Circuit radiateurs façade nord
- Circuit radiateurs façade sud
- Circuit préchauffage CTA bureaux
- Circuit CTA conférence
- Circuit CTA exposition

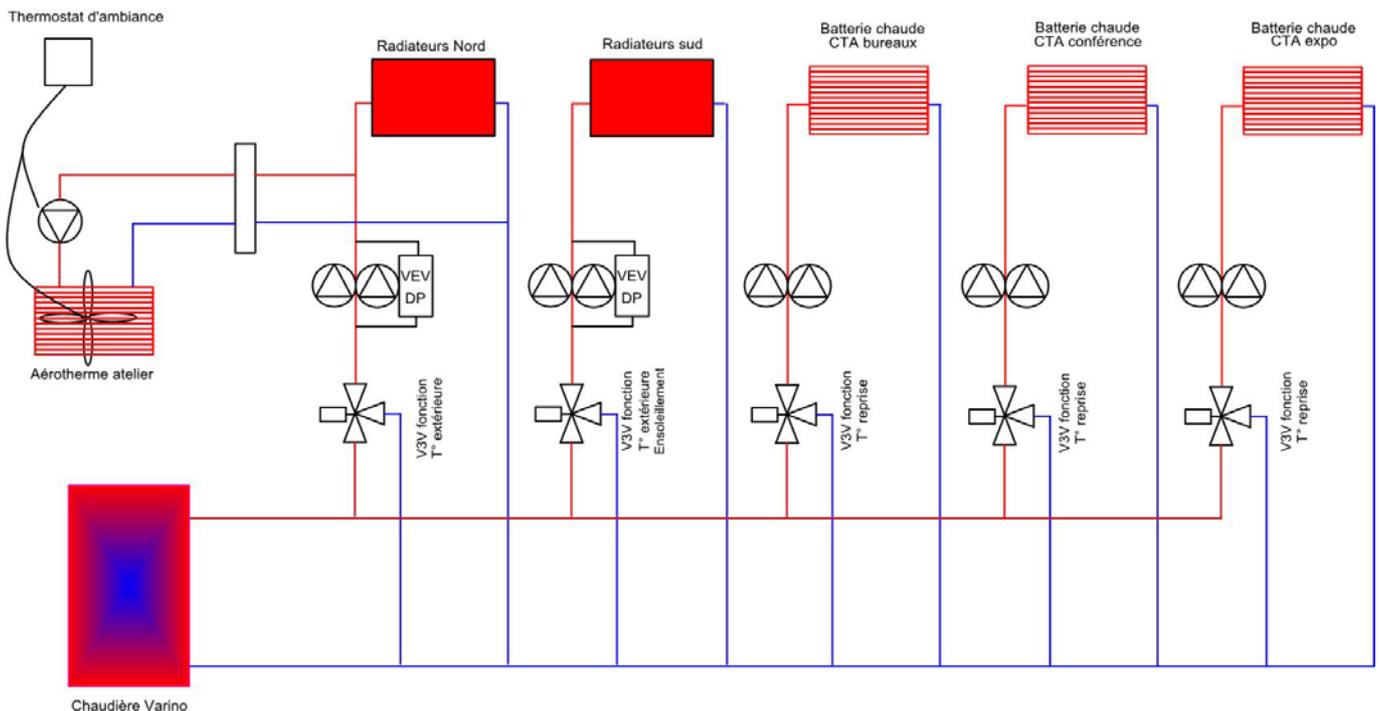


Figure 2.8 : Schéma de la distribution de chauffage

Les circuits Nord et Sud sont équipés de radiateurs tandis que les circuits CTA sont munis de batteries à eau chaude.

Chaque circuit est équipé d'une vanne trois voies pilotant la température de départ du chauffage en fonction de la température extérieure (Nord) et d'une sonde d'insolation (Sud).

Pour les circuits CTA conférence et CTA exposition, les vannes trois voies pilotent la température de départ en fonction de la température de reprise afin de maintenir constante cette dernière.

Pour le circuit de la CTA bureaux, l'air est préchauffé à 18°C à l'aide d'une batterie chaude. Régulation par vanne trois voies et sonde de gaine.

Un groupe froid de marque CIAT (32 kW frigo – 18 kW électrique) est installé en toiture. Il est dédié à la salle de conférence dont la CTA est munie d'une batterie froide régulée par vanne trois voies maintenant au point de consigne la température de l'air extrait. Une pompe permet la circulation de l'eau glacée du groupe froid (en terrasse) jusqu'à la CTA de la salle de conférence (en sous sol).

II.2 DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

L'instrumentation exhaustive de l'ensemble des usages et des compteurs EDF et GDF a été effectuée grâce à de nombreux appareils de mesures. L'instrumentation complète a été effective à partir du 12/09/2008 (en réalité, à l'exception de la sonde extérieure, tous les mesureurs étaient déjà en place à partir du 09/09/2008). La dépose des mesureurs a eu lieu le 10/09/2009.

II.2.1 Métrologie mise en œuvre

Voici quelques précisions sur les appareils de mesure mis en place.

II.2.1.1 Le wattmètre pince

Les Wattmètres pinces (qui utilisent des pinces ampèremétriques ou des tores, comme l'indique leur nom) ont été conçus pour être utilisés principalement en amont de l'installation électrique (Tableau de distribution, armoire, coffret...). A chaque Wattmètre pince est associé un « pulse mètre » électronique de petite taille chargé de l'enregistrement des données.

Le Wattmètre pince transforme l'information d'énergie active en impulsions électriques mémorisables par le pulse mètre. Le poids de l'impulsion est de 0.5 Wh.

Les pulse mètres pour Wattmètres pinces sont des enregistreurs électroniques de dimensions très réduites branchés directement sur le Wattmètre par l'intermédiaire d'une fiche avec détrompeur. Le nombre d'impulsions est mis en mémoire dans l'enregistreur toutes les dix minutes.

Les pulse mètres sont entièrement autonomes et peuvent être laissés en place plusieurs mois selon la fréquence de mémorisation de données choisie.



Figure 2.9 : Wattmètre pince, avec son pulse mètre et sa pince ampèremétrique

II.2.1.2 Le système Multivoies

Le système multivoies assure la mesure de la puissance active d'usages électriques en aval des tableaux électriques. La consommation est enregistrée au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type « datalogger » stocke les informations dans sa mémoire jusqu'à la fin de la campagne de mesure.

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

- le concentrateur qui permet d'effectuer une seule prise de tension pour l'ensemble des mesures effectuées dans une même armoire électrique,
- les modules équipés de tores fermés, pinces ampèremétriques ou tores flexibles permettent la mesure de courant,
- un « Palm » permettant la programmation de l'ensemble,

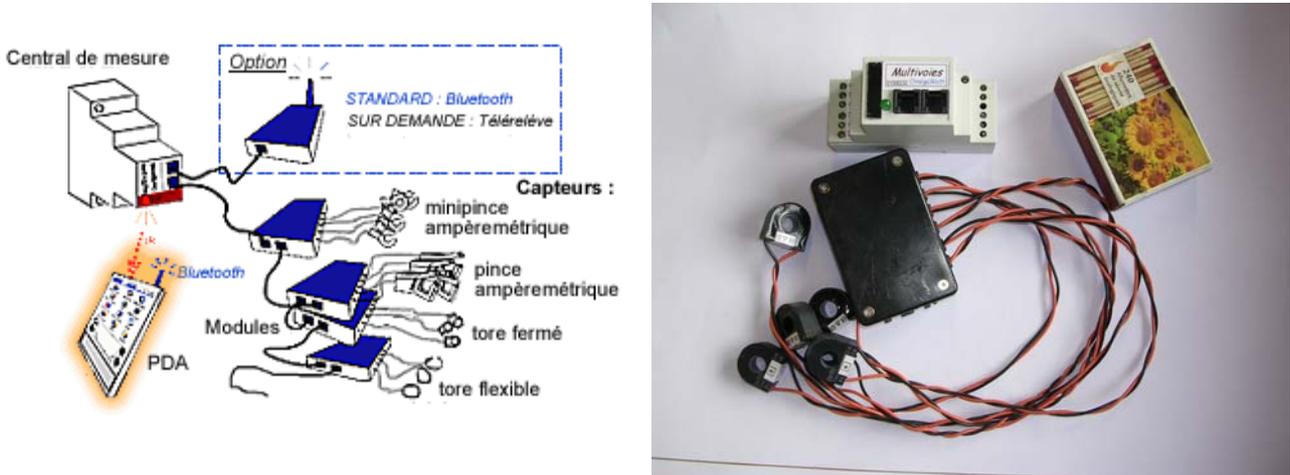


Figure 2.10 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

Le système multivoies permet non seulement un stockage des puissances électriques mais également une visualisation en temps réel des puissances appelées par les différents départs grâce au « palm ».

II.2.1.3 Le wattmètre série

Il s'agit d'un boîtier de 12 x 6,5 x 4 cm qui se place en série sur n'importe quel usage raccordé sur une prise de courant. Pour cela il dispose de prises mâle et femelle 16A. Il mesure l'énergie avec un pas de temps de 10 minutes. Il dispose d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



Figure 2.11 : Wattmètre série

II.2.1.4 Le lecteur optique

Le lecteur optique est un appareil qui compte les impulsions lumineuses (flash) émises par les compteurs électroniques à chaque pulse. L'ensemble des compteurs en place de manière permanente dans le bâtiment ont été suivis à l'aide de ce type d'appareil.

Ces enregistreurs sont totalement autonomes (piles), la mémoire ayant par ailleurs une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.



Figure 2.12 : Lecteur optique

II.2.1.5 Le compteur d'impulsions

Le compteur d'impulsions permet la comptabilisation d'impulsions provenant de compteurs munis d'émetteur d'impulsions tels que compteurs de chaleur ou compteurs gaz. Ce comptage s'effectue au pas de temps de 10 minutes.

Ces enregistreurs sont totalement autonomes, la mémoire alimentée par pile ayant une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an (plus de 52.000 valeurs).

II.2.1.6 Les thermomètres

Le thermomètre autonome est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un capteur de température. Il effectue une mesure toutes les deux minutes, fait la moyenne de ces valeurs toutes les dix minutes et stocke le résultat en mémoire. Le thermomètre possède une plage de mesure très large (-50°C à 120°C) qui autorise des usages variés. Sa précision est de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre -20 et $+80^{\circ}\text{C}$. Ce mesureur a été utilisé pour suivre l'évolution des températures d'air, ou celle des réseaux de chauffage, etc...



Figure 2.13 : Thermomètre avec sa sonde et son microprocesseur – Echelle donnée par grosse boîte d'allumettes

II.2.1.7 Les thermohygromètres

Les thermohygromètres utilisés lors de cette campagne de mesures sont des appareils de la marque Testo (Testo 177 H1) étalonnés dont la précision en température et en hygrométrie sont respectivement de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et $\pm 2\%$ HR.

Ils permettent l'enregistrement des données au pas de temps de 10 minutes sur une période de 4 mois. Leur mémoire doit être régulièrement vidée lorsque la mesure porte sur une année.



Figure 2.14 : Thermo hygromètre

II.2.1.8 Les détecteurs de présence

Des détecteurs sans fil ont été choisis afin de pouvoir collecter des informations sur la présence sans modifier les installations électriques des locaux. Ainsi les détecteurs ont été installés à l'aide de fixation provisoire (enlevé en fin de campagne) et sans aucun câble électrique. Les récepteurs des détecteurs ont été placés à distance des utilisateurs afin de ne pas les déranger avec le bruit généré par les contacteurs des récepteurs.

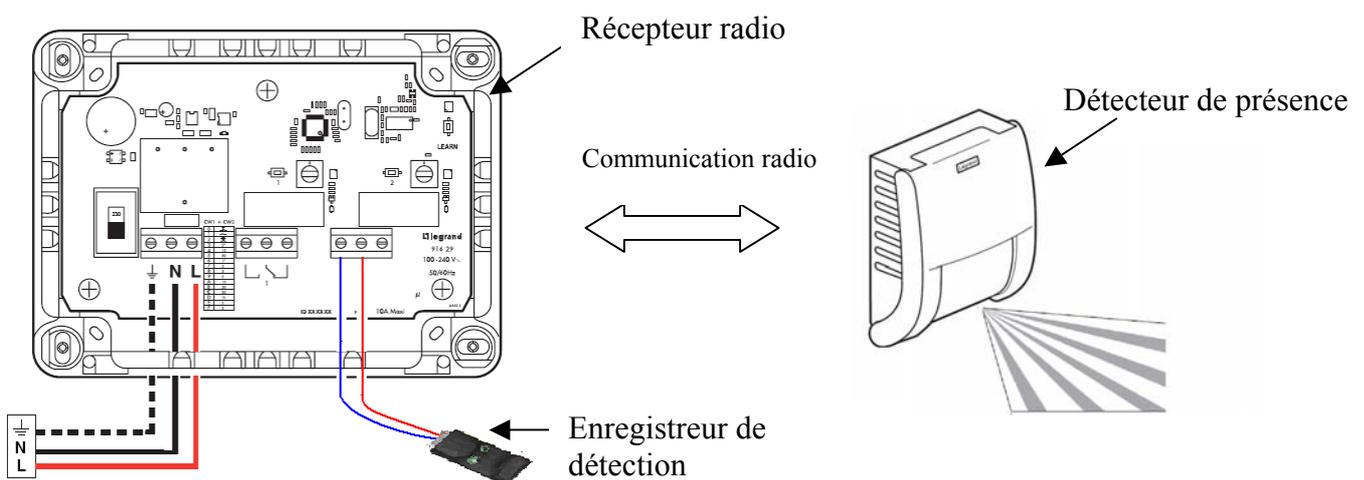


Figure 2.15 : Synoptique de la détection de présence

Les réglages suivants ont été effectués :

- Le seuil de détection crépusculaire n'a pas été activé afin d'observer la présence d'une personne même en plein jour
- La temporisation du détecteur a été réglée à 30 secondes afin d'avoir un pas de temps suffisamment petit pour se rapprocher au maximum de la présence sans déclencher le détecteur trop souvent.

II.2.1.9 Capteur d'ensoleillement

L'ensoleillement est mesuré chaque période de 10 minutes au moyen d'un module photovoltaïque au silicium mono cristallin calibré, placé sur le toit du bâtiment. Les données sont stockées dans un enregistreur spécifique et lues en fin de campagne de mesures.

II.2.1.10 Mesureur de débit d'air

La mesure du débit de la centrale de ventilation a été rendue nécessaire car l'installation est à débit d'air variable. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un organe déprimogène, d'un capteur de pression différentiel et d'un capteur de vitesse de rotation du moteur.

L'organe déprimogène génère localement une perte de charge en jouant non sur la distance mais sur la géométrie de la canalisation ce qui permet de faire une mesure de pression différentielle en un seul point. La loi de Bernoulli permet ensuite de faire la relation entre débit et perte de charge (mesurée à l'aide du capteur de pression différentielle) lors d'un changement de section de la canalisation.

Le capteur de vitesse de rotation est un capteur magnétique générant une impulsion à chaque passage d'une aube du ventilateur. Avec le nombre d'aubes et le nombre d'enregistrements, on peut ainsi déduire la vitesse de rotation du moteur.

Ce capteur a été mis en place lors de l'instrumentation en septembre 2008. Mais on n'est arrivé à joindre le constructeur de la CTA que le 04/03/2009 et suite à ses préconisations, nous avons déplacé la sonde. A partir de cette date les données mesurées ont été correctes. Le débit d'air réel s'obtient à partir de la courbe nominale débit/pression du fabricant et des mesures effectuées.

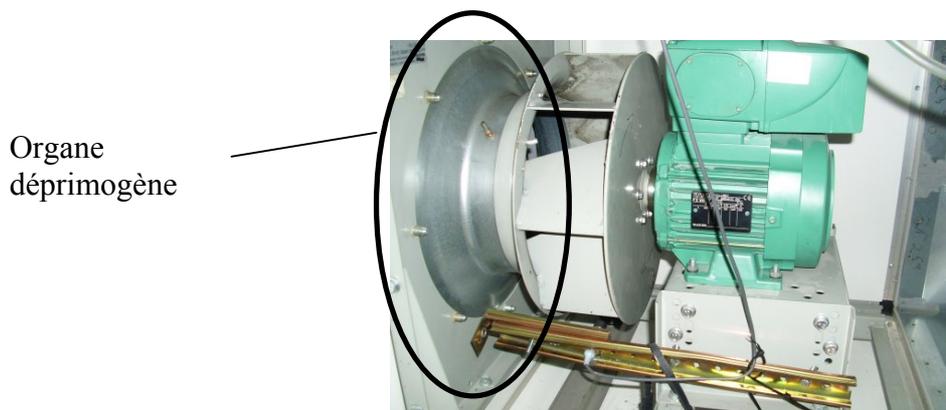


Figure 2.16 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène

II.2.2 Liste détaillée des usages suivis

Au total, **721 mesureurs ont été installés dans le bâtiment**. Le tableau de la figure 2.17 reprend l'ensemble des types d'appareils de mesure avec le nombre d'appareils de chaque type installés et les principales affectations des mesureurs.

| Type de mesureur | Suivi | Nombre |
|--------------------------|--|--------|
| Multivoies | Mesures des consommations électriques au départ des armoires divisionnaires | 35 |
| Wattmètre pince | Mesures des consommations électriques au départ des armoires divisionnaires | 160 |
| Détecteur de présence | Mesure de la présence (dans les salles de réunion) | 14 |
| Lampmètre | Mesure des durées de fonctionnement de tous les circuits d'éclairage | 221 |
| Lecteur optique | Comptage impulsions sur les compteurs d'énergie électrique de tableau | 13 |
| Compteur impulsion | Comptage impulsions sur les compteurs de chaleur et compteurs gaz | 13 |
| Thermo-Hygromètre | Mesures de la température et de l'hygrométrie extérieure, intérieure (dans 3 bureaux) et entrée sortie du puits canadien | 8 |
| Thermomètre | Mesure de la température dans tous les bureaux, au niveau des CTA, des canalisations de chauffage... | 107 |
| Wattmètre série | Mesure des consommations électriques sur les appareils de bureautique, bouilloire, radiateur électrique... | 148 |
| Mesureur débit d'air | Mesure du débit d'air sur le réseau de soufflage de la CTA bureaux | 1 |
| Capteur d'ensoleillement | En toiture | 1 |

Figure 2.17 : Tableau récapitulatif des mesureurs posés

II.2.3 Traitement des données

II.2.3.1 Annualisation

Du fait de la durée de la campagne de mesures (une année complète), aucune annualisation n'est nécessaire ce qui limite la possibilité d'erreur d'extrapolation. Notons aussi que l'année 2008-2009 est intéressante car l'hiver a été particulièrement froid et l'été très chaud.

Partie III : Les performances générales du bâtiment

III.1 TEST A LA PORTE SOUFLANTE

Le premier élément de qualification du bâtiment a été le test à la porte soufflante. Il s'est déroulé au mois de décembre ce qui a permis une visualisation des infiltrations d'air au moyen de la caméra infrarouge (grâce à l'écart de température entre l'intérieur et extérieur).

Ce test n'a pas été très bon. La valeur de n_{50} (débit de fuite sous un ΔT de 50 Pa) atteinte est de **1,8 vol/h** sous 50 Pa, et la valeur de **Q4 est de 1,3 m³/h/m²**. Toutefois il faut se rappeler que ce bâtiment a été conçu en 2003, à une époque où la question de l'étanchéité à l'air n'était pas encore vraiment d'actualité en France. Le seul élément sur lequel des efforts avaient été faits était l'étanchéité entre menuiseries extérieures et maçonnerie. Mais aucun travail sérieux n'avait été entrepris sur l'étanchéité entre toiture et murs extérieurs, et cette liaison a constitué la plus importante faiblesse de l'enveloppe.

Les grandes leçons de ce test sont :

- environ les deux tiers des infiltrations d'air se produisent à la jonction des toitures et des murs. Ceci signifie que la performance aurait été proche de 0,6 vol/h sous 50 Pa si l'étanchéité murs/toiture avait été maîtrisée.

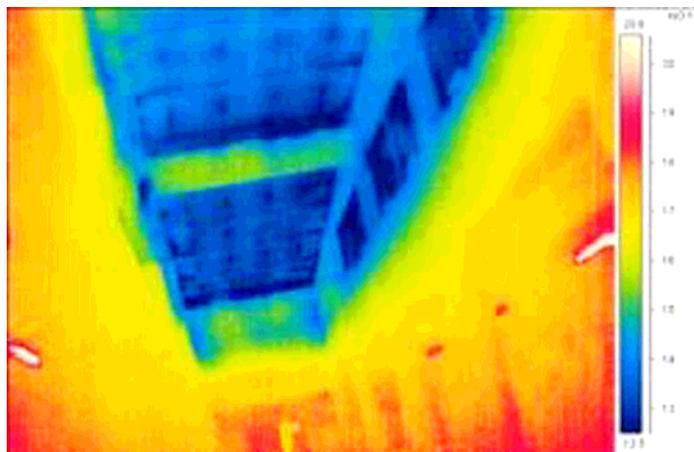


Figure 3.1 : Infiltrations (en bleu) dans le plafond « diffusant » sous toiture de l'aile Ouest

Ceci est dû à une non prise en compte de ce phénomène lors de la conception, et à une absence d'architecte sur cette opération pendant le chantier (phénomène très rare), donc à un fonctionnement autonome des entreprises. Il y a peu de choses à faire aujourd'hui pour « rattraper » cette erreur. En partie Ouest l'accès à la jonction toiture-mur est problématique du fait du vide toute hauteur. Côté Est, il faudrait démonter une partie de la toiture pour pouvoir intervenir, et cela ne paraît pas non plus possible.

- le rôle des joints de dilatation dans l'étanchéité à l'air des bâtiments est apparu essentiel. Le bureau de la directrice était adjacent à un joint de dilatation, si bien que les jours de grand vent (le Mistral est exactement dans l'axe du joint de dilatation) sa température pouvait chuter de 2°C. La figure 3.2 montre l'impact du joint de dilatation visionné par la caméra infrarouge.

La solution passe par une occultation périphérique du joint au moyen d'un adhésif fixé sur les deux lèvres du joint, et sur les quatre faces du bâtiment (murs, toiture, sous sol).

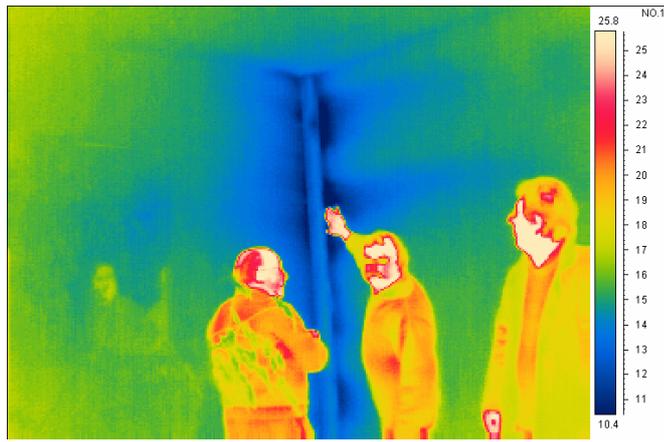


Figure 3.2 : Impact (en bleu) d'un joint de dilatation dans l'infiltration d'air d'un bureau

- l'étanchéité menuiseries extérieures/maçonnerie est de bonne qualité,
- on a pu détecter sur les deux vantaux d'une même fenêtre, que l'un des doubles vitrages peu émissifs avait été posé à l'envers. Contrairement à une rumeur qui circule actuellement, il n'est pas du tout neutre d'inverser la position de la glace comportant le revêtement peu émissif. La déperdition du vitrage est plus importante lorsque la face peu émissive est placée vers l'extérieur plutôt que vers l'intérieur.

III.2 CONSOMMATIONS TOTALES DE GAZ ET D'ELECTRICITE

III.2.1 Bilan général du bâtiment

Les tableaux qui suivent reprennent les valeurs de consommation qui seront développées plus en avant dans le rapport. Ils ne prennent pas en compte la production photovoltaïque (7424 kWh_{ep}).

La répartition de la consommation exprimée en énergie finale permet surtout de connaître la part de l'atelier et des bureaux :

| Energie | Bureaux | Ateliers | Total |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Electricité | 68 250 (80,3 %) | 16 750 (19,7 %) | 85 000 (100 %) |
| Gaz | 92 103 (76,7 %) | 27 904 (23,3 %) | 120 007 (100 %) |

Consommation annuelle des locaux en énergie finale (en kWh)

Le bilan en énergie primaire est beaucoup plus représentatif de la réalité physique puisqu'il se réfère à la ressource « origine », celle qui nous coûte, qui est rare et que l'on doit économiser. Pour convertir l'énergie finale en énergie primaire, nous utiliserons le coefficient 1,0 pour le gaz, et 3,2 pour l'électricité. Pourquoi 3,2 et non le fameux coefficient 2,58 ? Parce que ce dernier est un coefficient « conventionnel ». Il ne reflète pas du tout la réalité et n'en a même pas l'intention. C'est une invention ministérielle dont les visées sortent du cadre de cette étude. Le vrai coefficient de conversion n'est pas très compliqué à déterminer. Il tient compte de la quantité d'électricité produite par chaque filière (et son rendement spécifique). Il se situe entre 3,2 et 3,3. Les ministères utilisent le coefficient de 3,23. Pour faire un bilan honnête et dans le respect des lois de la physique, nous retiendrons donc la valeur de 3,2.

| Energie | Bureaux | Ateliers | Total |
|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Electricité | 218 400 (80,3 %) | 53 600 (19,7 %) | 272 000 (100 %) |
| Gaz | 92 103 (76,7 %) | 27 904 (23,3 %) | 120 007 (100 %) |
| Total | 310 503 (79,2 %) | 81 504 (20,8 %) | 392 007 (100 %) |

Consommation annuelle des locaux en énergie primaire (en kWh)

L'atelier, qui ne fait que 280 m², apparaît comme très consommateur d'énergie comparé aux bureaux (2612 m²). Il est le siège d'activité énergivore (séchage), et sa grande porte extérieure fréquemment en mouvement rend difficile le chauffage des locaux. Dans la suite de ce paragraphe, nous ne nous intéresserons plus qu'à la zone de bureaux.

Le tableau qui suit fournit la décomposition par énergie et par usage dans le bâtiment, à l'exception de l'atelier :

| | | Consommation (kWh) | Consommation (kWh) | Par type d'usage |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Electricité | <i>Usages spécifiques</i> | 206 345 | 206 345 (66,5 %) | Usages spécifiques de l'électricité |
| | <i>Groupe froid</i> | 4 186 | 4 186 (1,3 %) | Froid |
| | <i>Chauffe eau</i> | 7 050 | 7 050 (2,3 %) | ECS |
| | <i>Radiateurs électriques</i> | 819 | 92 922 (29,9 %) | Chauffage |
| Gaz | <i>Chauffage</i> | 92 103 | | |
| Total | | 310 503 | 310 503 (100 %) | |

Consommation annuelle des bureaux par énergie et par usage, exprimées en énergie primaire (en kWh)

La consommation totale des bureaux, tous usages confondus sans exception, est de 310 503 kWh_{ep}/an, soit 118,6 kWh_{ep}/m²_{SU}/an. La part du chauffage est de 29,9 %, celle des usages spécifiques de l'électricité de 66,5 %. Les usages thermiques de l'électricité sont ici marginaux (froid de la salle de conférence (1,3%) et ECS (2,3%)), que **dans le bilan en énergie primaire, les usages thermiques représentent exactement un tiers, et les usages spécifiques de l'électricité deux tiers.**

Les trois principaux usages spécifiques de l'électricité représentent 78% de ce poste. Ce sont la ventilation (29%), la bureautique (25%) et l'éclairage (24%). La figure 4.1 au chapitre 4 fournit un détail de la structure de cette consommation.

III.2.2 Consommation totale d'électricité

L'INEED possède un abonnement tarif jaune de 42 kVA. La puissance maximale appelée durant l'année de mesure est de 37 kVA, soit 32 kW. La consommation annuelle d'électricité du bâtiment (hors atelier) est de 68 250 kWh/an (soit **26,1 kWh_{el}/an/m²_{SU}**). L'atelier, dont les usages sont très spécifiques (séchage, machines, etc) consomme 16 750 kWh/an (soit **60 kWh_{el}/an/m²_{SU} !**).

Le coût total de la facture électrique (du 19/08/2008 au 18/08/2009) est de 6 432,5 € H.T (sans prendre en compte les minorations des factures) dont 5 646 € HT (87 %) pour la consommation, soit **2,22**

€ H.T/m²_{SU}. La figure 3.3 représente la répartition des consommations d'électricité en fonction des différentes tranches horosaisonnnières, et la figure 3.4 la structure du coût de la facture d'électricité en fonction de la part fixe et des différentes tranches horosaisonnnières. On observe que 75% des consommations ont lieu durant les heures pleines d'hiver et d'été, à parts sensiblement identiques. En revanche, 59% de la facture annuelle est imputable aux heures pleines de l'hiver qui apparaissent clairement comme la première source de dépense.

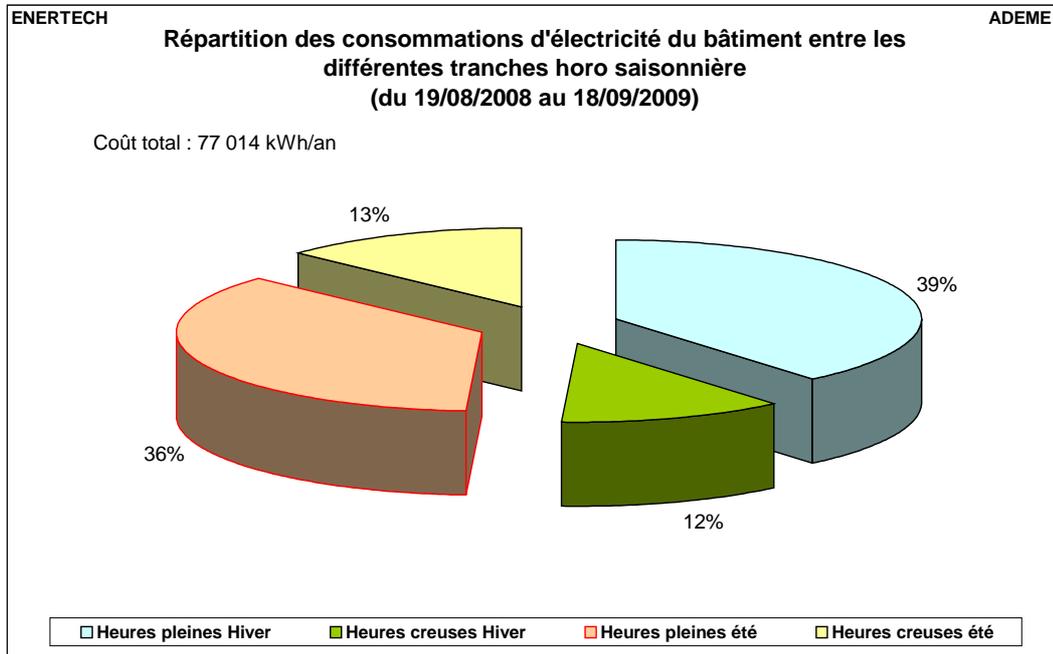


Figure 3.3 : Structure de la consommation d'électricité en fonction des différentes tranches horosaisonnnières

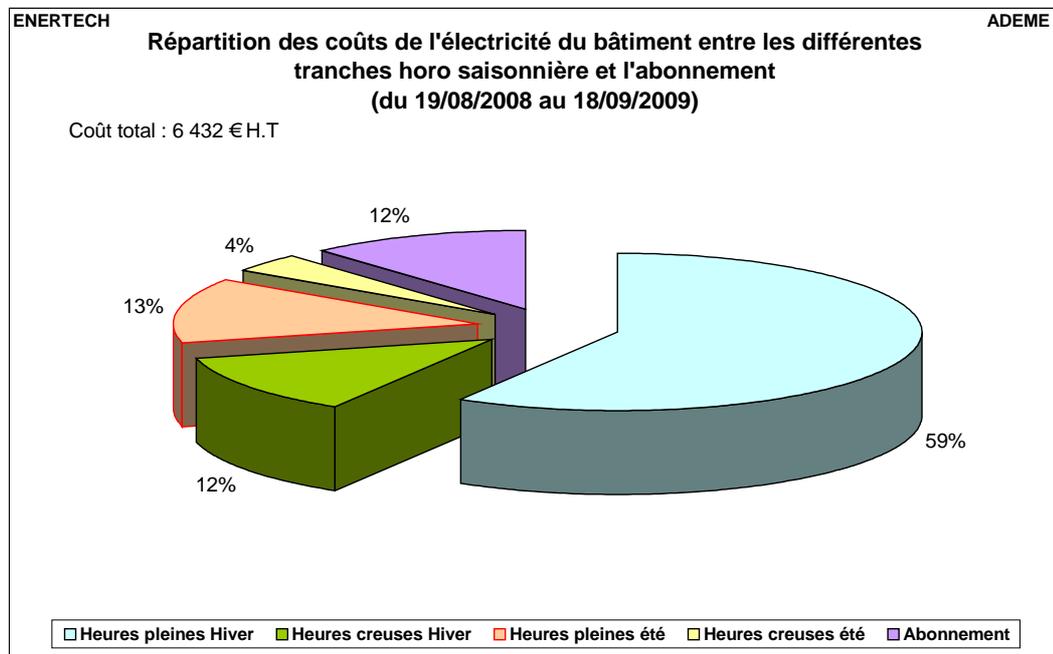


Figure 3.4 : Structure de la facture d'électricité en fonction des différentes tranches horosaisonnnières

La figure 3.5 représente la consommation journalière moyenne pour chaque mois de la campagne de mesures. La consommation moyenne journalière est de 186 kWh/jour (hors atelier) et 232 kWh/jour

(avec atelier). Cette consommation est évidemment maximale durant les mois d'hiver (maximum de 284 kWh/jour en Janvier) et minimale en été (la valeur minimale en mai 2009 est de 176 kWh/jour). Le mois de Juillet 2009 est atypique. La consommation journalière y a été curieusement de 280 kWh/j, c'est à dire autant qu'en hiver. Ceci est dû à la mise en route le 3 Juillet de la pompe d'eau glacée et du groupe froid. Mais la pompe d'eau glacée ne s'est plus jamais arrêtée ensuite....

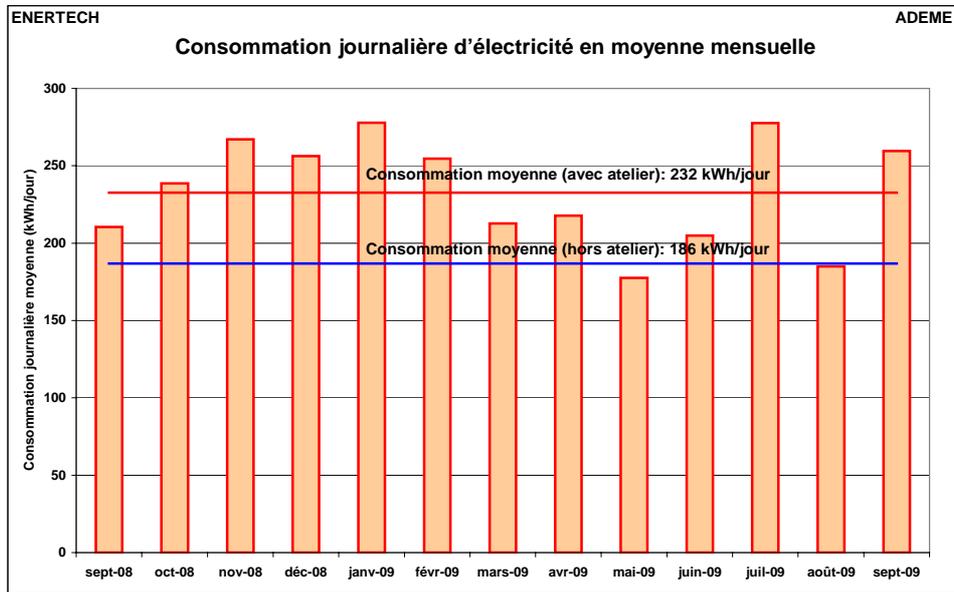


Figure 3.5 : Consommation journalière d'électricité en moyenne mensuelle

La figure 3.6 représente les courbes de charge moyennes du bâtiment (hors atelier) les jours ouvrés et non ouvrés. Le « pic » moyen a lieu (les jours ouvrés) entre 11h00 et 13h00 avec environ 13 kW. On remarque immédiatement l'importance de la puissance appelée en veille (par exemple entre 0 et 2h du matin) au regard de la puissance maximale avec en moyenne 6,5 kW les jours ouvrés et 4 à 5 kW les jours non ouvrés. Certes, il ne s'agit pas exclusivement de puissance de veille au sens strict du mot puisqu'il y a probablement dans cette puissance un certain nombre d'usages (chauffage par exemple) qui ont leur raison d'être à cette heure là. Mais majoritairement, on verra qu'il s'agit d'usages qui sont sous tension et consomment, sans nécessité. Il s'agit bien là de veille.

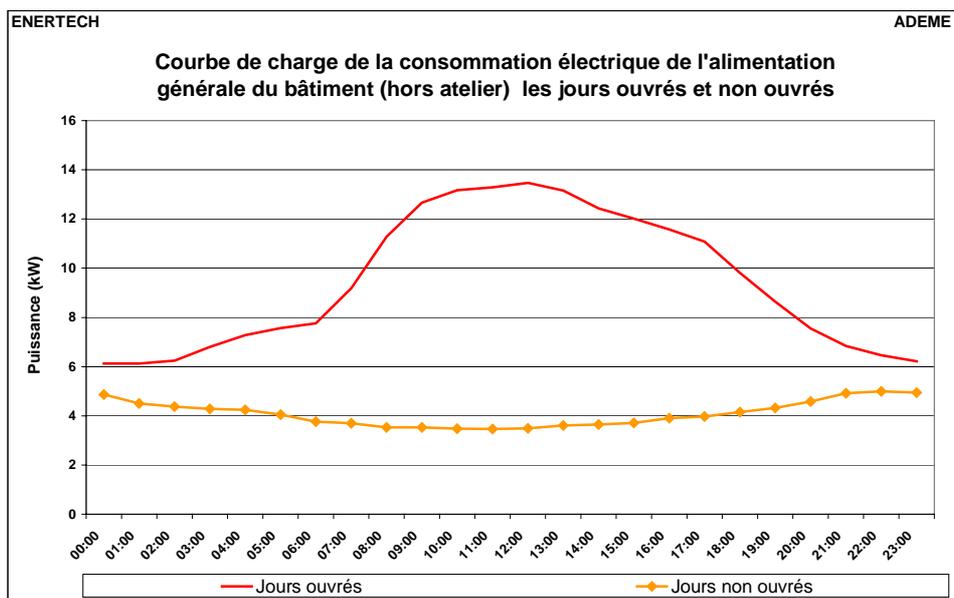


Figure 3.6 : Courbes de charge moyennes du bâtiment (hors atelier) les jours ouvrés et non ouvrés

La figure 3.7 offre le même type de représentation, mais pour l'ensemble du bâtiment, atelier inclus. Celui-ci « pèse » en moyenne 2 kW supplémentaires lors de l'inoccupation du bâtiment (nuits et jours non ouvrés), et entre 2,5 et 3 kW pendant l'occupation.

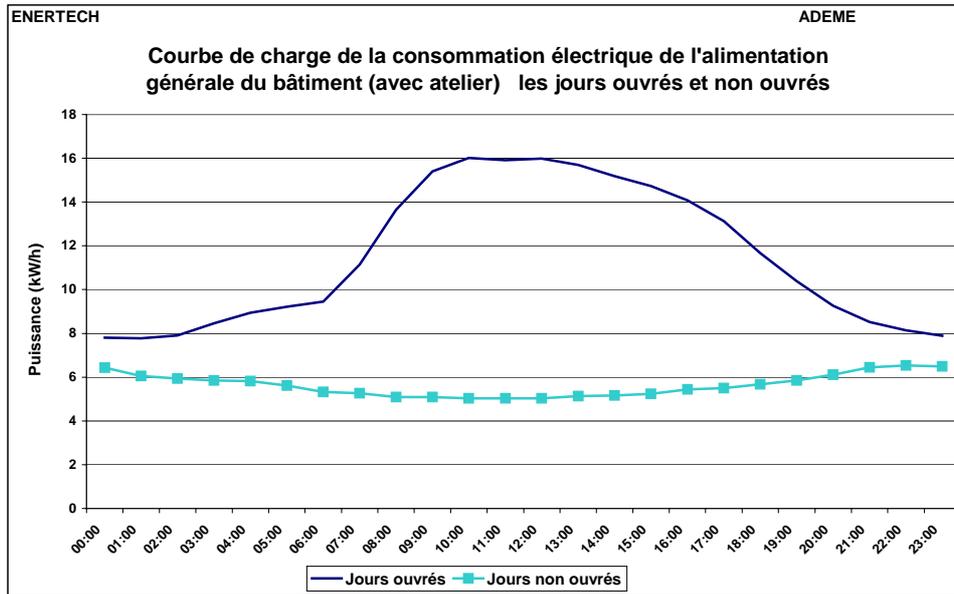


Figure 3.7 : Courbes de charge moyennes du bâtiment (atelier inclus) les jours ouvrés et non ouvrés

La figure 3.8 représente la courbe des fréquences cumulées des puissances électriques appelées en une année. La valeur maximale est de 29,7 kW hors atelier (soit 11,3W/m²_{SU}) et 34 kW avec atelier (soit 11,8 W/m²_{SU}). Ce niveau de puissance est évidemment ponctuel. La puissance de 20 kW hors ateliers (soit 7,7 W/m²_{SU}) n'a été atteinte ou dépassée qu'environ 1% du temps, soit environ 100 h/an.

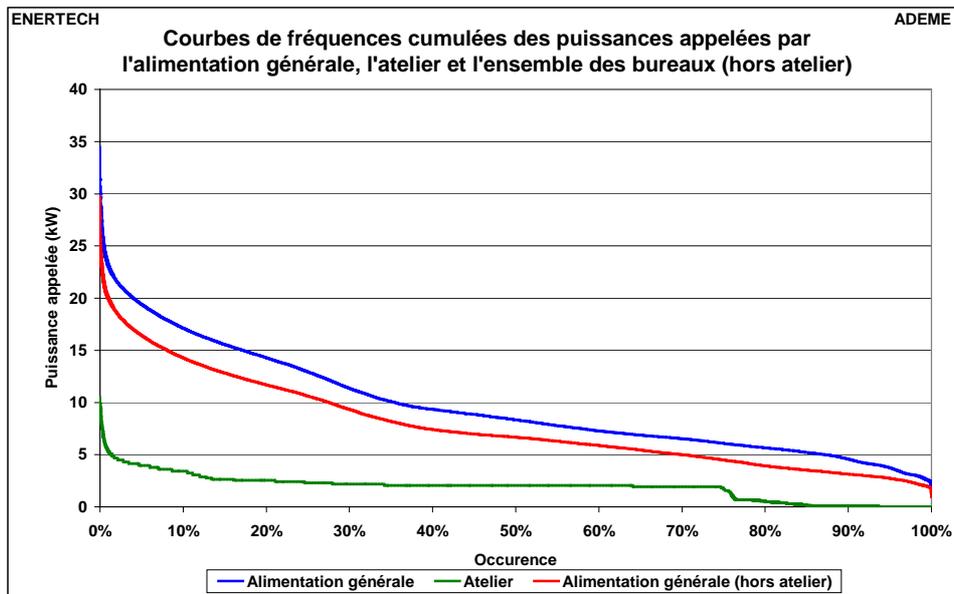


Figure 3.8 : Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées dans le bâtiment

Ce graphique est très intéressant car il montre sans ambiguïté que les puissances réellement nécessaires à un bâtiment n'ayant recours qu'à des usages spécifiques de l'électricité (dimensionnés au plus juste dans un souci de maîtrise des consommations) sont de l'ordre de 10 à 12 W/m²_{SU}, ce qui est une valeur très faible. La principale leçon à retenir est qu'on surdimensionne toujours les abonnements

électriques souscrits, ce qui a pour conséquence un renchérissement des coûts d'exploitation, et parfois même des coûts de construction (transformateurs surdimensionnés). Il serait urgent d'adopter de nouvelles valeurs de foisonnement lorsqu'on calcule les puissances susceptibles d'être appelées sur une installation lors de la conception. Les données recueillies au cours d'une campagne de mesures comme celle-ci devraient permettre d'apporter des réponses à ces questions complexes, mais ceci sort du champ de la présente étude. Il est en effet possible, par une analyse fine, de déterminer le poids de chaque usage dans la constitution de la puissance maximale appelée en une année. Il est évident qu'une seule opération ne pourrait suffire à donner des valeurs fiables pour l'ensemble des bâtiments d'un même type, et qu'il faudrait donc conduire cette même analyse sur d'autres opérations ayant également fait l'objet de campagnes de mesures.

III.2.3 Production d'électricité d'origine photovoltaïque

L'INEED possède environ 20 m² de panneaux photovoltaïque utilisés en brise soleil sur la façade Sud. Il ne faut pas oublier que les tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque sont apparus en 2006, et donc que le bâtiment de l'INEED n'a pas pu en bénéficier au moment de sa conception. L'estimation de production était de 2000 kWh/an. La production annuelle mesurée a été de 2 320 kWh/an soit une couverture à hauteur de 3,4 % des consommations électriques totales de l'INEED, et une production annuelle, rapportée à la surface utile de bureaux, de **0,89 kWh_{el}/m²_{SU}/an**.

La figure 3.12 représente la production moyenne journalière au cours de l'année. La production la plus importante a lieu au mois d'août avec en moyenne 8,9 kWh/jour.

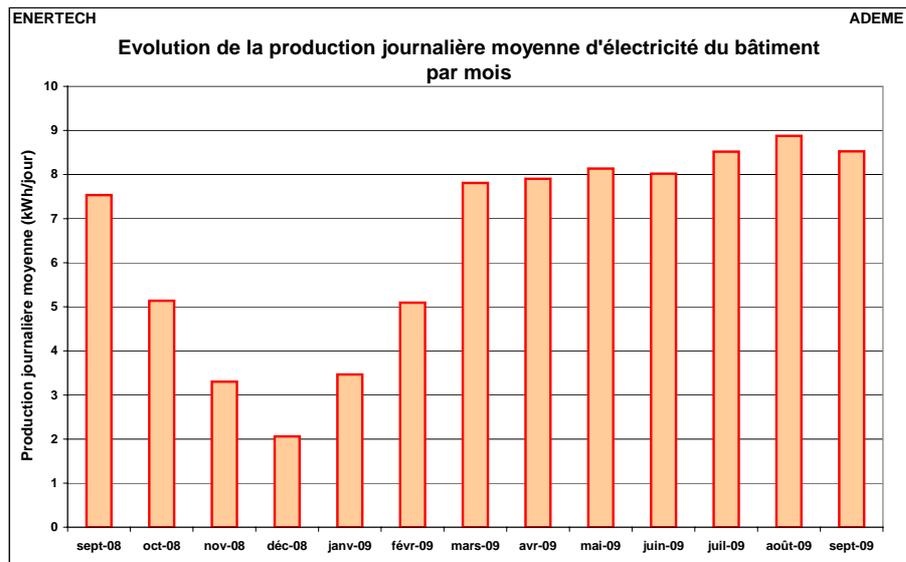


Figure 3.12 : Production journalière moyenne d'électricité d'origine photovoltaïque

Les fréquences cumulées de la production journalière (figure 3.13) font apparaître un maximum le 20 mars 2009 avec 12,3 kWh, c'est à dire le jour de l'équinoxe. Mais cette situation particulière s'explique par la présence de masques (brise soleil) qui dégradent la performance en plein été. Notons aussi que pendant 13% du temps la production est inférieure à 1 kWh/jour, et qu'en moyenne sur l'année elle est de 6,3 kWh/j.

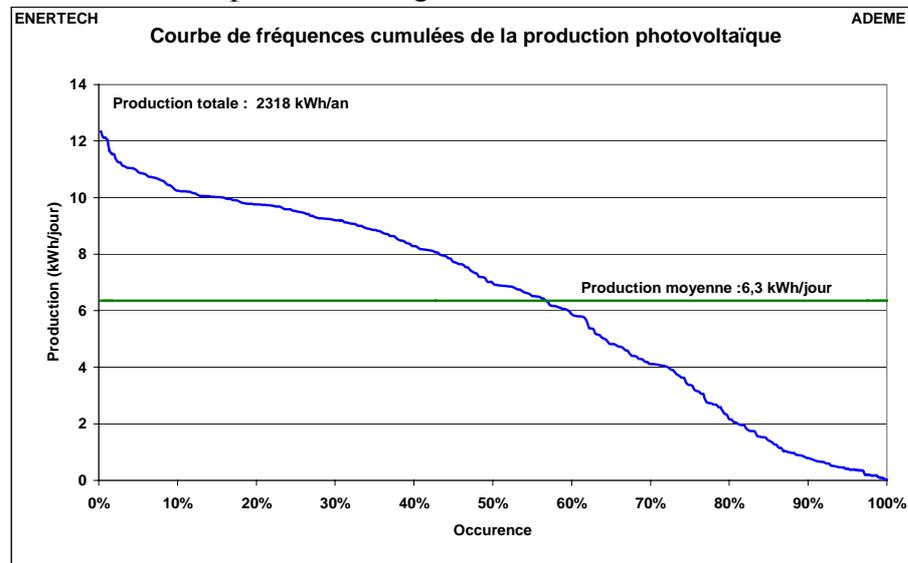


Figure 3.13 : Fréquences cumulées de la production journalière d'électricité photovoltaïque

III.2.4 Consommation de chauffage (gaz)

Le seul usage du gaz dans ce bâtiment est le chauffage.

Le compteur gaz a été suivi au pas de temps de 10 minutes grâce à un émetteur d'impulsions intégré au compteur (poids de l'impulsion : $0,1\text{m}^3$ soit environ 1 kWh) et à un enregistreur que nous avons posé sur l'émetteur d'impulsions.

La consommation annuelle de gaz de l'INEED est de 10 517,5 m³ sur l'année de suivi. Afin de convertir le volume de gaz en énergie, il est nécessaire d'utiliser (pour la pression à laquelle le gaz est livré) le pouvoir calorifique supérieur connu en principe mensuellement. Celui-ci varie en fonction de la provenance du gaz (pays d'origine) mais également en fonction de la température extérieure.

Le fournisseur de gaz de l'INEED (EDF), malgré de très nombreux appels, n'a pas pu nous fournir le pouvoir calorifique mensuel du gaz. On s'est donc basé sur un pouvoir calorifique supérieur moyen sur l'année de 11,03 kWh/m³. Nous avons toutefois voulu améliorer notre résultat en utilisant les variations relatives de ce pouvoir calorifique au cours de l'hiver (essentiellement dû aux variations de la température du gaz) à partir des valeurs mensuelles connues pour d'autres opérations. On a donc appliqué cette variation au pouvoir calorifique moyen. Le tableau de la figure 3.9 donne le pouvoir calorifique que nous avons utilisé pour chaque mois.

Nous avons parfaitement conscience que cette approche n'est que moyennement satisfaisante. Mais nous avons fait ce que nous avons pu pour pallier une carence très surprenante du fournisseur de gaz totalement incapable de nous dire finalement, sur quelles bases il avait établi ses factures. Il y a là quelque chose de très inquiétant, qui n'existait pas lorsque le marché n'était pas ouvert. Il nous semble que l'information du pouvoir calorifique mensuel est un élément essentiel dans la transparence légitime de l'information qui doit exister entre un fournisseur et son client....

Sur ces bases là, la consommation de gaz est de **120 007 kWh_{pcs}/an** soit **41 kWh_{pcs}/an/m²_{SU}** (en incluant l'atelier qui est une partie beaucoup plus « fragile » sur le plan thermique (moindre isolation et fonctionnement avec grande porte extérieure souvent ouverte) et qui possède des usages spécifiques comme le séchage de pièces de bois, etc).

On peut cependant avoir une idée de la consommation de gaz de la partie bureaux seule grâce aux compteurs de chaleur placés sur l'installation. On sait ainsi que la part de l'atelier est de 23,25% de la consommation totale (thermique) fournie par la chaudière. La consommation de gaz des bureaux est donc de **92 103 kWh_{pcs}/an** soit **35,2 kWh_{pcs}/an/m²_{SU}**.

| Mois | Pouvoir calorifique supérieur (kWh/m ³) |
|----------------|---|
| Janvier | 11,182 |
| Février | 11,277 |
| Mars | 11,003 |
| Avril | 11,035 |
| Mai | 10,858 |
| Juin | 10,835 |
| Juillet | 11,248 |
| Août | 10,916 |
| Septembre | 10,922 |
| Octobre | 10,789 |
| Novembre | 11,027 |
| Décembre | 11,269 |
| Moyenne | 11,030 |

Figure 3.9 : Valeurs estimées du pouvoir calorifique supérieur mensuel du gaz

La consommation énergétique moyenne journalière de gaz au cours de l’année pour la totalité du bâtiment (figure 3.10) correspond bien sûr à la charge de chauffage, avec des demandes bornées à la période Octobre-Avril et avec un maximum en Janvier. La valeur maximale moyenne journalière est de 1060 kWh_{pcs}/j, soit 0,37 kWh_{pcs}/m²_{SU}/j.

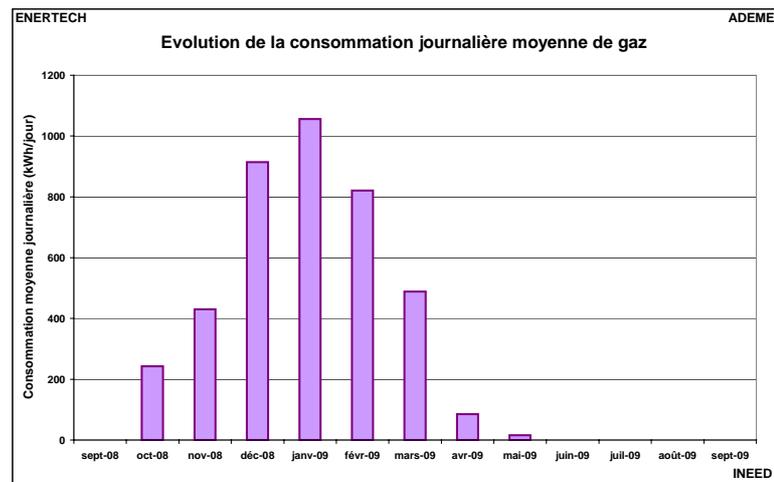


Figure 3.10 : Consommation moyenne journalière d’énergie gaz au cours de l’année (atelier inclus)

La figure 3.11 représente les courbes de charge les jours ouvrés et non ouvrés de la consommation de chauffage du bâtiment (avec atelier). L’unité est bien celle d’une puissance, mais elle est exprimée ici en énergie par heure (donc en kWh/h, soit en kW) uniquement parce que la seule information dont on dispose par mesure est celle d’une énergie toutes les dix minutes.

On observe parfaitement la relance matinale ainsi que la « coupure » du chauffage entre 17 et 18 heures. Le second « pic » correspond à plusieurs phénomènes dont la mise en route, certains jours, du chauffage de la salle de conférence (ce second pic n’existe pas du tout les jours non ouvrés).

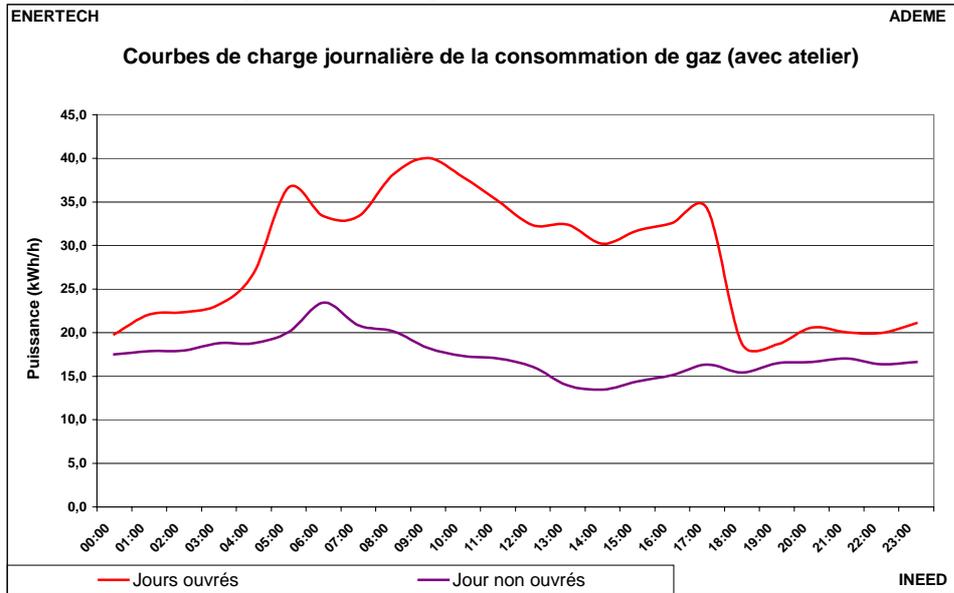


Figure 3.11 : Consommation moyenne journalière d'énergie gaz au cours de l'année (atelier inclus)

III.2.5 Consommation d'énergie primaire totale

Si on inclut la production photovoltaïque, la consommation énergétique totale résiduelle, exprimée en énergie primaire, vaut :

$$E_{\text{primaire}} = E_{\text{gaz}} + (E_{\text{Electrique}} - E_{\text{Photovoltaïque}}) \times k$$

où k est le coefficient de conversion d'énergie primaire en énergie finale. Rappelons que l'énergie primaire est celle qui se trouve dans « la nature » (le sol, les océans, etc) et que l'énergie finale est celle qui est livrée aux bornes des utilisateurs.

En France, on impose dans tous les calculs un coefficient de conversion dit « conventionnel » de 2,58. On convient donc tous ensemble que le coefficient de conversion vaut 2,58, alors que la réalité physique est de 3,23. Les ministères prennent cette valeur là pour leurs travaux. Pourquoi donc se mentir sur la réalité physique des phénomènes ? Nous proposons donc dans ce qui suit une approche avec la valeur conventionnelle, mais aussi une approche plus réaliste basée sur un coefficient de conversion réel de 3,2.

Dans ce qui suit, l'atelier, qui fonctionne de manière atypique et avec des usages spécifiques très consommateurs (séchage), ne sera pas pris en compte et on ne raisonnera que sur la surface des bureaux (2618 m²). Les consommations et productions du site, en énergie finale, sont, rappelons le, de 92.103 kWhpc de gaz, 68.250 kWh d'électricité consommée et 2.320 kWh d'électricité produite.

III.2.5.1 Bilan avec la production photovoltaïque

Si on prend en compte la production photovoltaïque, le bilan de consommation est le suivant, en fonction de la valeur du coefficient de conversion primaire/finale adoptée :

| Conversion primaire/finale | Energie primaire kWh _{ep} /an | Energie primaire par m ² kWh _{ep} /m ² _{SU} /an | Part de l'électricité (%) |
|----------------------------|--|---|---------------------------|
| 2,58 | 262.202 | 100,1 | 64,9 |
| 3,2 | 303.079 | 115,8 | 69,6 |

Rappelons qu'il s'agit là d'un bilan incluant tous les usages sans exception, et pas seulement les usages pris en compte dans le calcul réglementaire conventionnel.

Les valeurs obtenues sont finalement assez faibles (compte tenu de la présence de l'ensemble des usages) et on est frappé par la part des usages électriques qui représentent près de 70 % de la consommation totale d'énergie du bâtiment. Cette tendance sera d'ailleurs encore amplifiée avec les bâtiments à énergie positive pour lesquels l'électricité à usages spécifiques représente 85 à plus de 90 % des consommations totales.

III.2.5.2 Bilan sans la production photovoltaïque

Le bilan **sans** la production photovoltaïque est plus intéressant car il traduit la performance intrinsèque du bâtiment et de ses équipements, sans le prisme déformant de la production photovoltaïque qui peut, dans certains cas, masquer un déficit flagrant des performances de base.

Le tableau qui suit fait apparaître comme au paragraphe précédent, les consommations d'énergie primaire en fonction du coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale :

| Conversion primaire/finale | Energie primaire kWh _{ep} /an | Energie primaire par m ² kWh _{ep} /m ² _{SU} /an | Part de l'électricité (%) |
|----------------------------|--|---|---------------------------|
| 2,58 | 268.188 | 102,4 | 65,7 |
| 3,2 | 310.503 | 118,6 | 70,3 |

Les consommations d'énergie primaire restent très faibles. Rappelons qu'il s'agit là de mesures et non de calcul conventionnel.

En l'absence de production photovoltaïque, la part de la consommation d'électricité (essentiellement des usages spécifiques) est légitimement plus importante. Elle dépasse cette fois les 70%.

III.2.6 Comparaison avec le label allemand Passivhaus

Rappelons que le label Passivhaus est la référence de la performance énergétique des bâtiments en Allemagne, et il tend à l'être en Europe grâce aux travaux scientifiques et techniques en profondeur qui le sous tendent et qui sont menés par le Passivhaus Institut de Darmstadt.

Ce label a une expression à la fois très simple et universelle. Très simple en ce sens qu'il ne comporte que 3 critères. Universel car il s'applique indistinctement à tous les types de bâtiments.

Les trois conditions à satisfaire pour bénéficier du label sont :

1a – Soit : les besoins de chauffage du bâtiment doivent être inférieurs à 15 kWh/m²_{SHAB}/an. Attention, les besoins ne sont pas égaux à la consommation. Entre les deux se trouve toute la chaîne des rendements,

1b – Soit : la puissance de chauffage installée doit être inférieure à 10 W/m². Mais en France, la méthode de calcul de la puissance installée interdit de prendre en compte l'ensemble des apports gratuits, si bien que ce critère n'est pratiquement jamais satisfait, même dans les bâtiments les plus performants, et bien que le climat français soit globalement plus clément que le climat allemand,

3 – La valeur de la perméabilité à l'air (n₅₀) obtenue au test de la porte soufflante doit être inférieure à 0,6 vol/h sous 50 Pa,

4 – la consommation en énergie primaire, tous usages confondus, doit être inférieure à 120 kWh/m²_{SHAB}/an. Cette valeur est en principe déterminée de manière conventionnelle par la méthode de calcul PHPP. Mais on peut supposer que l'objectif est de pouvoir atteindre réellement cette valeur et que l'ambition de la méthode PHPP est de se rapprocher le plus possible de la réalité !

Attention, la surface de référence n'est pas comme en France la SHON, mais très légitimement la Surface habitable, ou la surface utile (tertiaire). Ceci conduit à des valeurs de consommation « en apparence » plus élevées puisque la surface de référence est plus faible. En tenir compte dans les comparaisons.

Si on cherche à rapprocher les performances **mesurées** de l'INEED aux critères du label Passivhaus, on obtient des résultats très contrastés :

- le niveau de besoins est insuffisant. Pour une température de 19°C, ils doivent être de l'ordre de 17 à 18 kWh/m²_{SHAB}/an (avec 19°C de température intérieure). C'est 15 % de trop,
- la puissance de chauffage installée est de l'ordre de 40 W/m², soit beaucoup plus que les 10 exigés éventuellement par le label allemand,
- le test à la porte soufflante a montré une mauvaise qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe puisque n₅₀ vaut 1,8 vol/h, soit 3 fois trop,
- en revanche, le dernier critère, et finalement celui qui est le plus important puisqu'il est la synthèse de tout, à savoir la consommation d'énergie primaire de l'ensemble des usages, est satisfait par l'INEED, quelle que soit la valeur du coefficient de conversion entre énergie primaire et énergie finale : il vaut 118,6 kWh_{ep}/m²_{SU}/an avec le coefficient réel de 3,2 c'est à dire moins que les 120 kWh_{ep}/m²_{SU}/an exigés par le label Passivhaus. Ce résultat est intéressant car il montre que, malgré tous les dysfonctionnements présents dans cette année de mesure (voir dans la suite du rapport), malgré un hiver rigoureux et un été particulièrement chaud, il est possible d'atteindre des performances de consommation du même niveau que ce qu'exigent les meilleurs labels européens.

Ceci dit, il est important de noter que ce résultat a pu être obtenu, dans le cas de l'INEED, par un travail original en 2003-2004 sur les usages électriques dans le but d'en réduire le plus possible la consommation. L'objectif était notamment de réduire les apports de chaleur en été afin de ne pas installer de climatisation. Aujourd'hui, chacun sait que les usages spécifiques de l'électricité constituent de très loin la principale source de consommation des bâtiments performants. Ce qui précède en est une première illustration, mais certainement pas la dernière.

III.2.7 Comparaison avec les consommations observées la première année d'occupation du bâtiment

La campagne de mesure s'est déroulée entre septembre 2008 et septembre 2009. Mais lors de la première année d'occupation des locaux (entre 2006 et 2007), un relevé global des consommations avait été effectué à partir des compteurs EDF et GDF. Les valeurs étaient les suivantes :

- consommation de gaz (chauffage) des bureaux seuls : 25,8 kWh/m²_{SHAB}/an, soit 20,9 kWh/m²_{SHON}/an,
- consommation d'électricité (tous usages confondus et hors production photovoltaïque) : 21,8 kWh_{el}/m²_{SHAB}/an, soit 17,5 kWh_{el}/m²_{SHON}/an.

En ramenant toutes ces consommations en énergie primaire, on obtenait 82 kWh_{ep}/m²_{SU}/an avec le coefficient conventionnel de 2,58, et 96 kWh_{ep}/m²_{SU}/an le coefficient réel de 3,2.

Ces valeurs sont très sensiblement plus faibles que celles observées durant la troisième année d'utilisation. Ainsi la consommation de chauffage a augmenté de 36,4 %, et celle d'électricité de 19,7 % entre la première et la troisième année. Pour quelles raisons ?

Sans chercher à anticiper sur le reste de cette étude, on peut néanmoins avancer les raisons plausibles suivantes, sans pour autant être vraiment capable de quantifier chacune d'elle précisément, comme on le verra au chapitre IX :

A – Augmentation de la consommation de chauffage

- hiver 2008-2009 beaucoup plus rigoureux que l'année 2006-2007,
- dérèglement majeur de la CTA qui a fonctionné 24h/24 toute l'année, hormis les Week Ends au lieu de fonctionner seulement aux heures d'ouverture des bureaux,
- température de chauffage désormais de 20,9°C en moyenne en période d'occupation, et de 20,3°C en période d'inoccupation, soit environ 1°C de plus que la première année.

B – Augmentation de la consommation d'électricité

Cette augmentation est essentiellement due, comme on le verra dans la suite de cette étude, aux dérèglements nombreux (dysfonctionnements) intervenus sur les équipements. Le retour à une situation normale sera donc relativement aisé.

Partie IV : Etude détaillée des consommations d'électricité

Nota : dans ce chapitre, les consommations sont des consommations d'électricité, donc de l'énergie finale.

IV.1 STRUCTURE DE LA CONSOMMATION ET DE LA POINTE

IV.1.1 Structure de la consommation annuelle par usage

La consommation annuelle d'électricité pour les bureaux, tous usages confondus sans exception, s'élève à 68.250 kWh/an (soit 26,1 kWh/an/m²), soit 1 050 kWh/personne.an. Cette valeur doit être rapprochée des 1552 kWh/an/personne mesurés pour les seuls usages bureautique + éclairage dans 50 bâtiments de bureaux en région PACA. Sans que cette consommation de 1.050 kWh/personne/an soit exceptionnelle (elle doit être de 200 kWh/personne/an à Enertech...), elle est un progrès par rapport à tout ce qu'on peut observer.

La figure 4.1 représente la structure de la consommation d'électricité par usage, hors atelier.

Trois postes de consommation ont à peu près la même importance et représentent 77 % de la consommation totale. D'abord la ventilation : 18 960 kWh/an (28 % de la consommation totale), suivie de la bureautique 17 350 kWh/an (25 %) et de l'éclairage 16 310 kWh/an (24 %). Dans tous les bâtiments performants ces trois usages représentent toujours une part comprise entre 75 et 80 %.

On relève aussi que seuls 1,1 % des usages n'ont pas été identifiés et mesurés lors de la campagne de mesure, ce qui est très peu. On considère que le suivi est complet car le pourcentage manquant correspond plutôt à l'incertitude des appareils de mesures.

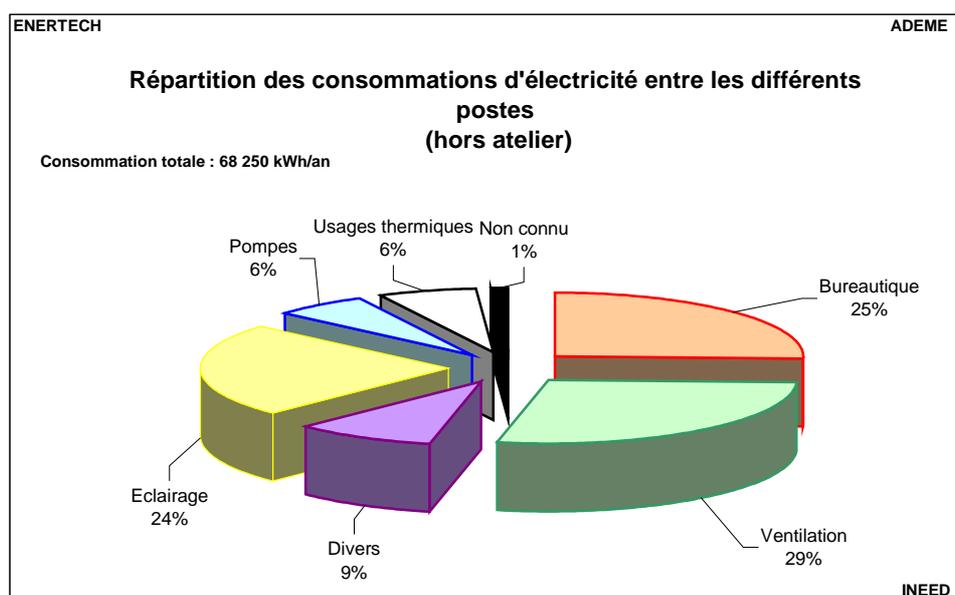


Figure 4.1 : Structure de la consommation d'électricité par usage (hors atelier)

IV.1.2 Part de la consommation par usage en période d'occupation et d'inoccupation

La figure 4.2 montre de façon surprenante que **51 % de la consommation d'électricité (tous usages confondus) a lieu en période d'inoccupation du bâtiment (nuit de 19h à 7h30, WE et jours fériés).**

Comme pour la consommation annuelle globale, ce sont la bureautique, la ventilation et l'éclairage qui consomment le plus en dehors des périodes d'occupation (76,5 %), mais leur part est la même que dans la consommation globale.

Il faut aussi admettre que la part importante de la consommation du poste éclairage (13 %) en période d'inoccupation est imputable en partie à l'éclairage extérieur (5 %) dont l'usage est en principe exclusivement nocturne. Pour ce qui concerne l'éclairage intérieur, ce sont les veilles qui sont majoritairement responsables de cette consommation en période d'inoccupation.

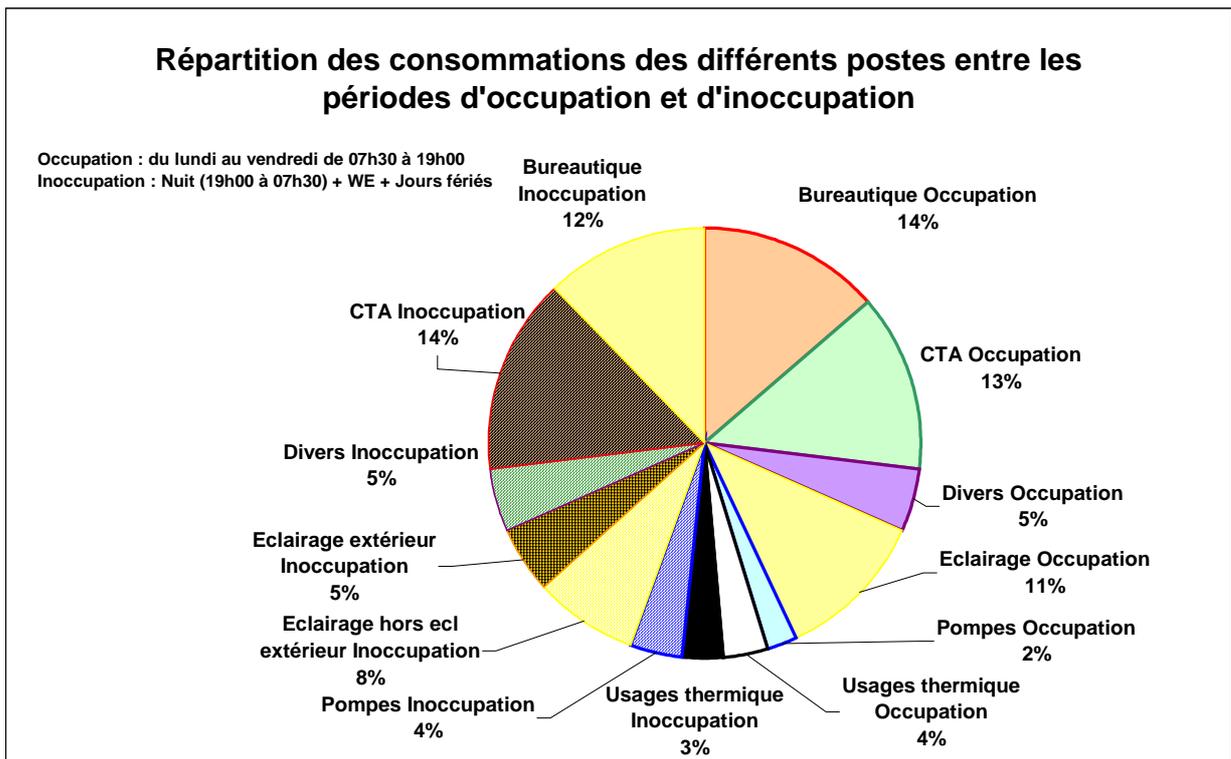


Figure 4.2 : Part de la consommation d'électricité par usage (hors atelier) entre période d'occupation et d'inoccupation

IV.1.3 Structure par usage de la puissance de pointe

L'un des grands intérêts des campagnes de mesure est de pouvoir connaître et analyser la structure des appels de puissance, notamment en pointe, et d'en déduire quels sont les usages qui jouent un rôle important dans le niveau de la puissance à souscrire. Ceci fait suite à la remarque que nous avons faite précédemment sur le surdimensionnement quasi général des abonnements souscrits, surdimensionnement dont l'origine provient simplement du fait qu'on n'a jamais mesuré auparavant le rôle et l'importance de chaque usage dans la puissance maximale appelée.

Dans ce qui suit, on aborde cette question, sans prétendre apporter une réponse universelle. Pour cela, on a étudié la structure de deux types de puissances maximales :

- La première est la puissance maximale (consommation observée pendant 10 minutes) appelée pendant toute la campagne de mesure : 34 kW le 1/12/2008 à 12:10,

- La seconde correspond aux 10 plus importants appels de puissance observés dans l'année de mesure (sana atelier) :

- 18/12/2008 à 12:10
- 09/12/2008 à 11:10
- 09/12/2008 à 10:10
- 06/07/2009 à 09:00
- 06/07/2009 à 12:00
- 09/12/2008 à 11:30
- 06/07/2009 à 14:10
- 18/12/2008 à 12:20
- 09/12/2008 à 10:40
- 09/12/2008 à 11:40

Les figures 4.3 et 4.4 représentent la structure par usage de la puissance appelée lors de la pointe maximale d'une part, et lors des dix plus importants appels de puissance d'autre part.

A quelques différences assez minimes près, les structures de la pointe maxi, et de la moyenne des dix premières pointes sont très semblables. C'est toujours l'éclairage qui est l'usage le plus important avec 6,8 kW lors des dix plus importants appels de puissance. Ce sont les pompes qui ont la plus faible contribution avec 1,2 kW.

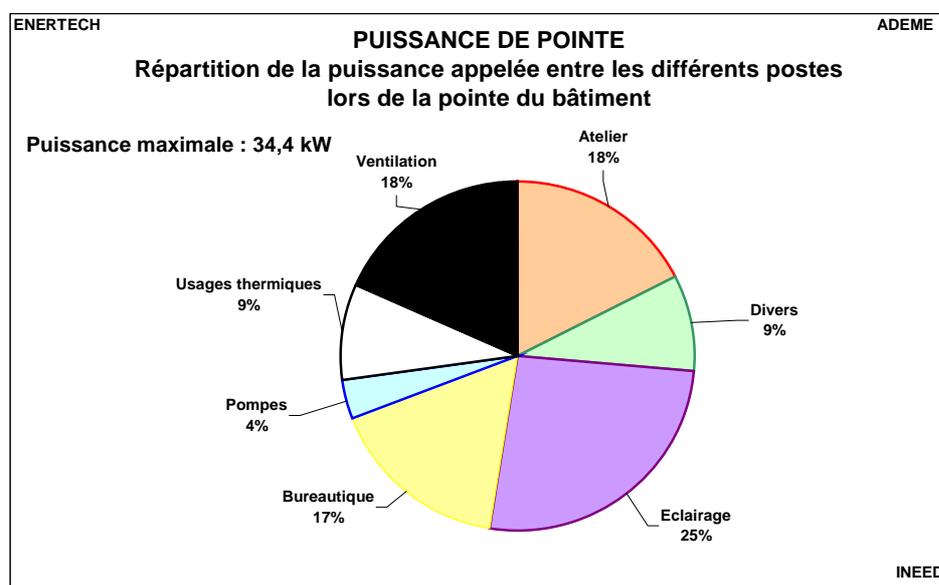


Figure 4.3 : Structure par usage de l'appel de puissance maximal du 1/12/08 à 12h10

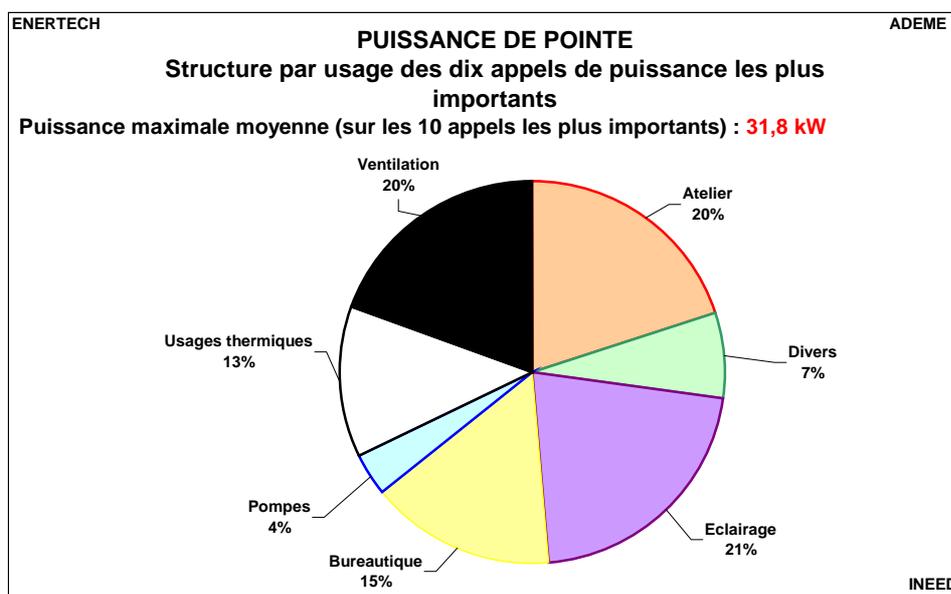


Figure 4.4 : Structure par usage des dix appels de puissance les plus importants

A partir de ces observations, on peut fournir des éléments nouveaux sur les coefficients de foisonnement à prendre en compte pour déterminer de façon plus fine la puissance maximale qui sera atteinte en période de pointe (on n'analyse ici que les usages bureaux, **à l'exclusion de l'atelier**) :

| Usage | Pointe maximale | Moyenne dix appels maxi | Puissance installée totale (W/m ²) | Coefficient de foisonnement |
|-------------------|--|--|--|-----------------------------|
| | Puissance atteinte (W/m ²) | Puissance atteinte (W/m ²) | | |
| Eclairage | 3,28 | 2,55 | 7,0 | 0,36 à 0,47 |
| Ventilation | 2,37 | 2,43 | 2,77 | 0,86 à 0,88 |
| Bureautique | 2,23 | 1,82 | 5,47 | 0,33 à 0,41 |
| Usages thermiques | 1,18 | 1,58 | 12,97 | 0,09 à 0,12 |
| Pompes | 0,53 | 0,49 | 0,88 | 0,55 à 0,6 |
| Divers | 1,18 | 0,85 | 4,23 | 0,20 à 0,28 |
| Total | 10,77 | 9,72 | 33,31 | 0,29 à 0,32 |

N.B. : les surfaces de référence ici sont les surfaces utiles.

Figure 4.5 : Part de chaque usage dans la puissance surfacique appelée en pointe – Détermination du coefficient de foisonnement de chaque usage

Ce tableau est, à notre connaissance, la première tentative pour déterminer le poids de chaque usage dans la constitution de la puissance de pointe. Cela permet de déterminer des coefficients de foisonnement beaucoup plus précis qu'auparavant, et donc de dimensionner ses réseaux et surtout les puissances à souscrire de manière beaucoup plus optimale. Attention, ces valeurs ne sont valables que pour des bâtiments de bureaux, et elles devront être confirmées par d'autres campagnes de mesure afin d'être certain qu'elles ne représentent pas un cas trop particulier.

IV.2 L'ECLAIRAGE

IV.2.1 Récapitulatif des consommations d'éclairage des différents locaux

La consommation d'éclairage totale est de 17 962 kWh/an (**16 310 kWh/an hors atelier ou 6,2 kWh_{el}/m²_{surface utile}.an**), soit 24% de la consommation totale d'électricité du bâtiment. Au total, 8% de cette consommation est absorbée par les détecteurs de présence dont la puissance en « veille » est de 1 à 3 W (environ 1300 kWh_{el}/an), cellules photosensibles et dispositifs de gradation. La puissance des gradateurs en « veille » est de 18 W en moyenne. Cette quête Le graphique de la figure 4.6 représente la répartition de la consommation d'éclairage entre les différents locaux (hors atelier).

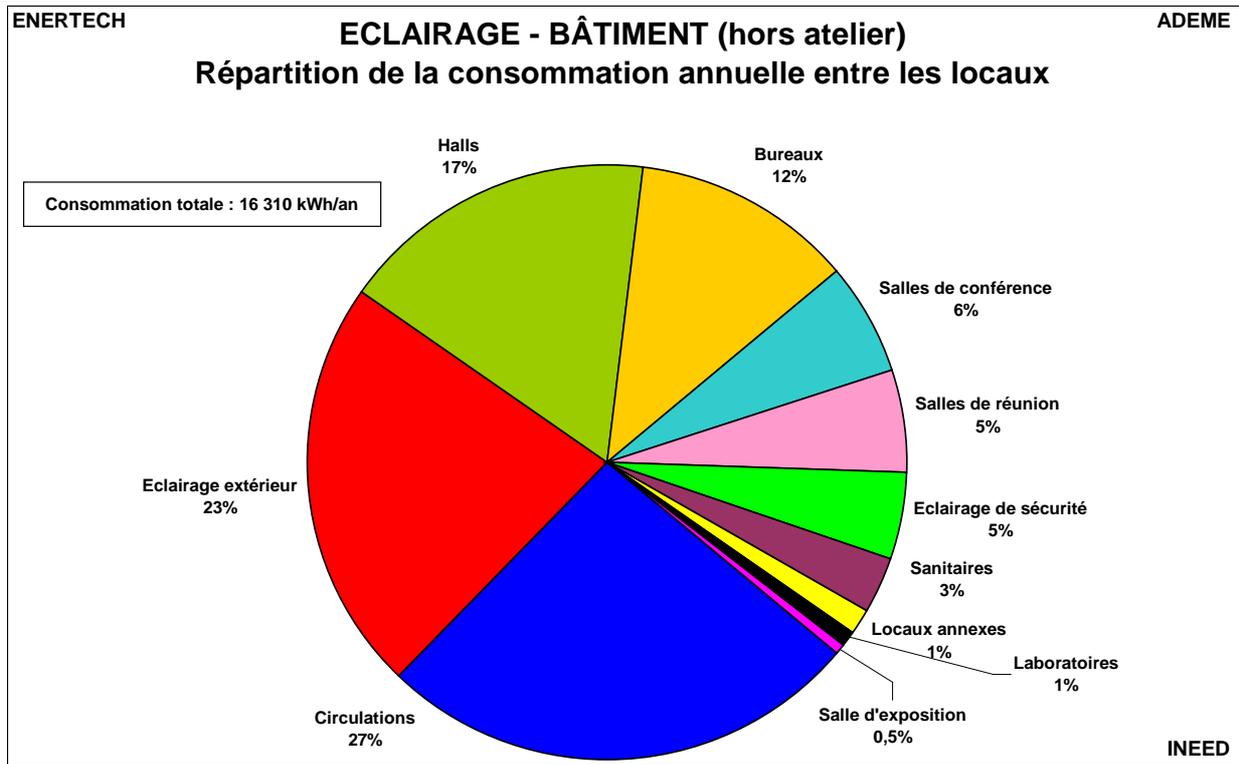


Figure 4.6 : Répartition de la consommation d'éclairage entre les différents locaux

Le tableau de la figure 4.7 donne le détail des consommations par type de locaux. La consommation spécifique totale d'éclairage de l'INEED est **4,3 fois plus faible** que ce qui a été observé lors d'une campagne précédente portant sur 50 immeubles de bureaux en Région PACA (2004). La consommation des locaux de bureaux eux-mêmes a été réduite d'un facteur 7,3 (2 kWh_{el}/m².an contre 14,6 en PACA). Cela s'explique par une durée de fonctionnement des luminaires 2,7 fois plus faible et par une puissance installée réduite également d'un facteur 2,7.

Par contre des améliorations importantes sont encore possibles, notamment pour l'éclairage extérieur, les circulations, et le hall. Dans ces trois cas, les dispositifs permettant l'optimisation sont en place, il suffira de revoir leur paramétrage. Ces modifications devraient permettre des réductions importantes de durées de fonctionnement sans affecter le confort à l'intérieur du bâtiment. **Si tous les ajustements proposés dans ce rapport sont mis en œuvre la consommation du poste éclairage devrait pouvoir être réduite de 37%.**

| Désignation local | Durée de fonctionnement (h/an) | | Consommation avant amélioration (kWh _{el} /an) | Consommation spécifique (kWh _{el} /m ² .an) avant améliorations | | kWh _{el} /personne.an | | Economies envisageables (kWh _{el} /an) |
|-----------------------|--|------------------------------------|---|---|-------------|--------------------------------|-------------|---|
| | INEED | « PACA 50 » | | INEED | « PACA 50 » | INEED | « PACA 50 » | |
| Circulations | Couloir : 1582 ⁽¹⁾ Escaliers : 4914 ⁽²⁾ | Couloir : 2740 Escaliers : 1125 | 4 264 | 8,9 | 7,1 | 65,6 | 176 | 1 859 |
| Eclairage extérieur | Lamp. sud : 4332 Autres : 112 | - | 3 655 | | | 56,2 | | 2 632 |
| Halls | RDC ⁽³⁾ : 2617 Etages : 551 | 1742 | 2 816 | 14,0 | | 43,3 | | 980 |
| Bureaux | Porte : 514 Fenêtre : 396 | 1155 | 1 947 | 1,9 | 14,6 | 29,9 | 369 | |
| Atelier | 4 284 | - | 1 652 | 5,9 | | 25,4 | | |
| Salles de conférence | 567 ⁽⁴⁾ | - | 1 010 | 2,9 | | 15,5 | | 485 |
| Salles de réunion | 408 ⁽⁵⁾ | 530 | 896 | 4,3 | | 13,8 | | 31 |
| Eclairage de sécurité | 8760 | 8760 | 768 | 0,27 | | 11,8 | | |
| Sanitaires | Cabine : 434 Lavabo : 200 | Cabine : 669 Lavabo : 1084 | 508 | 4,7 (gros dysfonct.) | 1,2 | 7,8 | 32 | 89 |
| Locaux annexes | - | - | 210 | 2,7 | | 3,2 | | |
| Laboratoires | Porte : 346 Fenêtre : 281 | - | 153 | 2,4 | | 2,4 | | |
| Salle d'exposition | 62 ⁽⁶⁾ | - | 81 | 0,5 | | 1,3 | | 39 |
| | | TOTAL | 17 962 | 6,2 | | 276 | | 6 115 |
| | | TOTAL hors atelier | 16 310 | 6,2 | 26,7 | 251 | 674 | 6 115 (-37%) |

(1) : Principaux couloirs hors sous sol et ateliers / (2) : hors sous sol / (3) : hors sas et accueil / (4) : uniquement la grande salle / (5) : durée où au moins une zone est éclairée / (6) : hors stockage

Figure 4.7 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour l'éclairage – Comparaison avec campagne sur bureaux en Région PACA

IV.2.2 L'éclairage extérieur

Il existe 5 circuits distincts d'éclairage extérieur :

- Eclairage extérieur atelier : 3 luminaires sodium haute pression de 70W
- Le circuit de lampadaires coté sud (parking) : 6 lampadaires équipés d'ampoules sodium haute pression de 100W
- Le circuit de bornes lumineuses coté sud (parking)
- L'éclairage porche sud
- L'éclairage porche nord

Les deux premiers circuits fonctionnent sur horloge entre 20h00 et 07h30 du matin. Les autres circuits sont allumés de façon très aléatoire et leurs consommations sont négligeables. Le graphique de la figure 4.8 représente la structure des consommations de l'éclairage extérieur. Les deux circuits commandés par horloge (lampadaires sud et atelier) représentent la quasi totalité de la consommation. Mais on peut se demander légitimement quelle est la pertinence de laisser en fonctionnement des luminaires de 22h00 à 06h00 alors que le bâtiment est inoccupé et que cet éclairage concerne le parking qui est par ailleurs clos. Le coût afférant à cet usage est de 396 € H.T an (hors abonnement).

Consommation de l'éclairage extérieur : **3655 kWh/an**, soit **1,40 kWh_{el}/m²_{SU}/an**
(NB : la surface de référence est la surface des bureaux (atelier exclus).

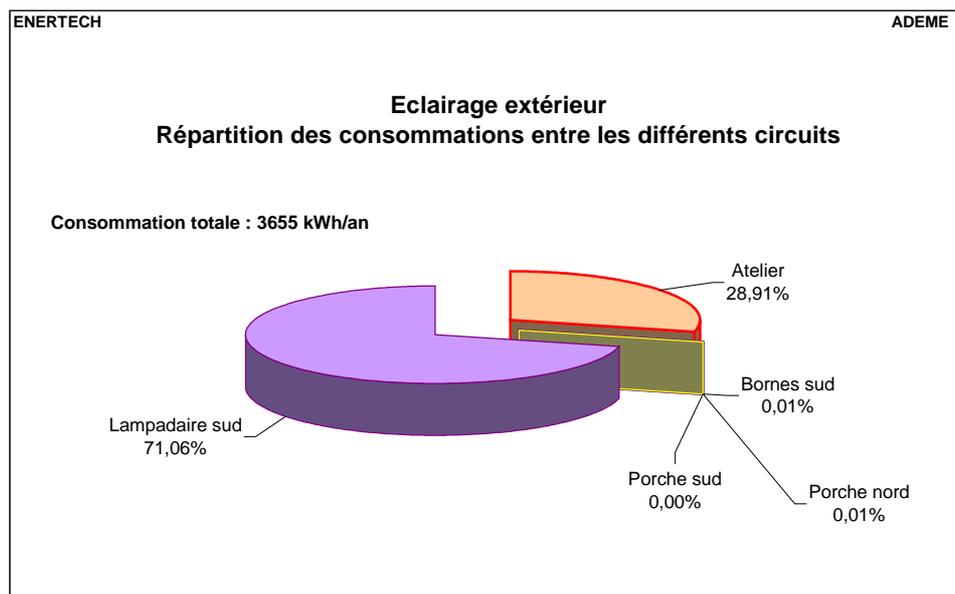


Figure 4.8 : Structure de la consommation de l'éclairage extérieur

IV.2.3 Les bureaux

L'éclairage des bureaux est réalisé en base (éclairage plafonnier direct) par des luminaires à haut rendement (81%) équipés de tubes T5 de 28W avec ballasts électroniques et grilles à défilement. Ils sont alimentés par deux circuits (zone fenêtre et zone couloir) pilotés de manière indépendante par deux interrupteurs. Cette installation est complétée dans la plupart des cas par des lampes de bureau qui permettent un éclairage complémentaire permettant à chacun d'adapter son niveau d'éclairement. Une originalité de ce projet est d'avoir livré les lampes de bureau avec le bâtiment. Dans la pépinière d'entreprises, les sociétés se succèdent, mais les lampes de bureau (correctement dimensionnées et choisies) restent sur place. On assure ainsi une constance du service.

Le niveau d'éclairage de base (sans lampe de bureau) est de l'ordre de 200 à 250 lux.

La puissance moyenne installée vaut environ 7 W/m² (surface de bureau), dont 5 W/m² au plafond et 2 W/m² de lampe de bureau.

La consommation totale d'éclairage de l'ensemble des bureaux vaut **1 947 kWh/an** soit, réferé à la surface des locaux de bureaux (1045 m²) **1,86 kWh/m².an** ou **30,0 kWh/an.personne** dont 93% pour les plafonniers (1 806 kWh/an) et 7 % pour les lampes de bureau (141 kWh/an).

IV.2.3.1 Les plafonniers

La figure 4.9 présente l'histogramme des durées d'éclairage en fonction de la zone. La durée moyenne d'allumage des zones « porte » et « fenêtre » est respectivement de **514** et **396** heures/an. A titre de comparaison on a mesuré 1150 heures/an en Région PACA (échantillon de 403 bureaux) et 1247 heure/an à Strasbourg (échantillon de 92 bureaux).

A notre avis, cette réduction de la durée de fonctionnement doit être uniquement attribuée à la sensibilisation des usagers qui sont « actifs » et « vigilants » et arrêtent l'éclairage dès qu'ils n'en ont plus besoin. En effet, la taille des vitrages dans ce bâtiment est très réduite (à cause des problèmes de confort d'été le rapport surface vitrée/surface au sol est d'environ 15%) ce qui réduit en principe l'éclairage naturel. Et il est donc intéressant d'observer que, malgré cela, les usagers utilisent peu l'éclairage artificiel.

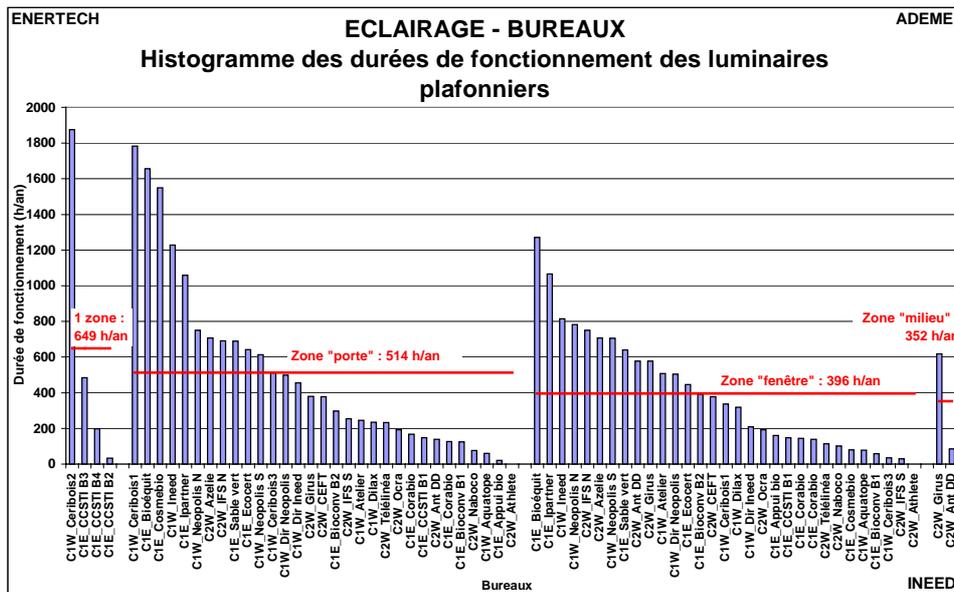


Figure 4.9 : Durées de fonctionnement des luminaires plafonniers

91% de la consommation a lieu pendant les heures d'ouverture du bâtiment.

Mais environ 20 % des bureaux oublient parfois d'éteindre la nuit. Ces oublis sont peu fréquents et ne représentent qu'une augmentation de 0,6 % de la consommation totale annuelle d'éclairage des bureaux (plafonniers et lampes de bureau).

La saisonnalité de l'éclairage est mise en évidence sur la figure 4.10. On remarque que les durées d'éclairage varient, entre les mois de janvier et d'août, dans un rapport 1 à 23 pour la zone fenêtre et 1 à 9 pour la zone porte. Certes, le mois d'août est un mois très « creux » qui amplifie l'effet étudié. Mais

malgré cela, ces valeurs sont très supérieures à celles qu'on a pu observer lors d'autres campagnes de mesures (de l'ordre de 1 à 1,6).

Il y a probablement plusieurs explications à ce phénomène. Pour avoir souvent visité ce bâtiment, on observe que les usagers, notamment en été, estiment ne pas avoir besoin de « tout » l'éclairage plafonnier disponible et préfèrent utiliser l'éclairage secondaire (beaucoup plus économe) mis à leur disposition avec les lampes de bureau. Alors que dans de nombreux bâtiments, seul l'éclairage plafonnier est disponible et donc utilisé, bien que l'éclairage qu'il délivre soit jugé excessif, comme les enquêtes l'ont montré. **Ce choix d'une double source de lumière avec une base plafonnière d'intensité moyenne (150 lux suffit) et un éclairage ponctuel réglable sur la tâche de travail, semble une très bonne solution en terme d'usage.** Elle paraît être une bonne source d'économie d'énergie. Elle acceptée par la plupart des maîtres d'ouvrage.

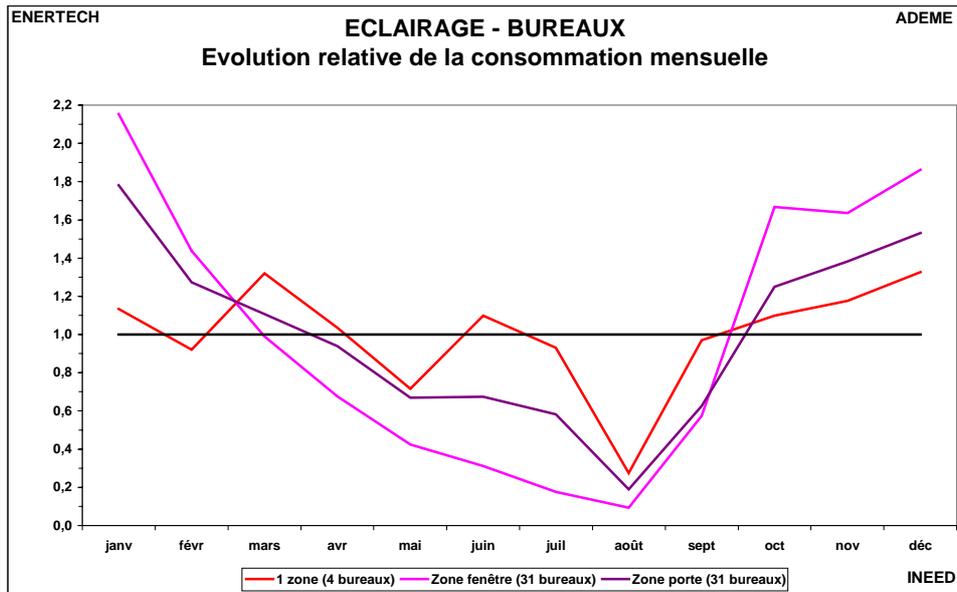


Figure 4.10 : Variation de la consommation mensuelle d'éclairage des bureaux (plafonniers)

L'étude de la courbe de charge horaire annuelle de l'ensemble des plafonniers du bâtiment (figure 4.11) montre que la pointe a lieu entre 11 heures et midi. La puissance appelée l'après midi est toujours moins importante. L'allure de cette courbe est proche de ce qui a été observé dans d'autres immeubles de bureaux.

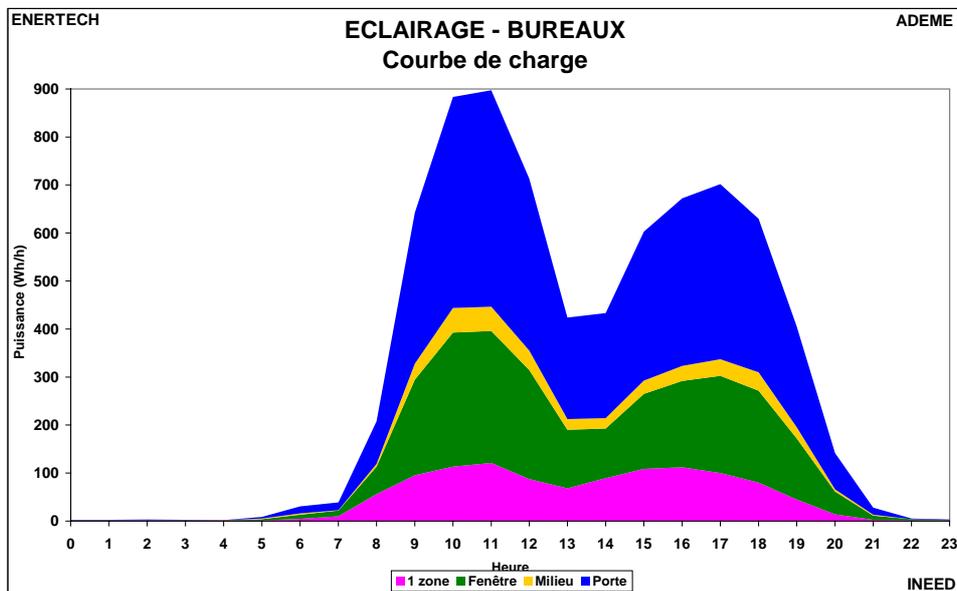


Figure 4.11 : Courbe de charge horaire de l'éclairage des bureaux (plafonniers) – jours ouvrés

IV.2.3.2 Les lampes de bureau

Rappelons que tous les locaux de bureau, sans exception, ont été pourvus de lampe de bureau à la livraison du bâtiment, et ces lampes font partie du bâtiment (elles ne peuvent pas être emportées).

La durée moyenne de fonctionnement des lampes de bureau est de **214 heures/an**, soit environ 2,5 fois moins que ce qu'on a observé lors de précédentes campagnes de mesures dans des bâtiments du même type. Un tiers des lampes a fonctionné moins de 20 heures au cours de l'année.

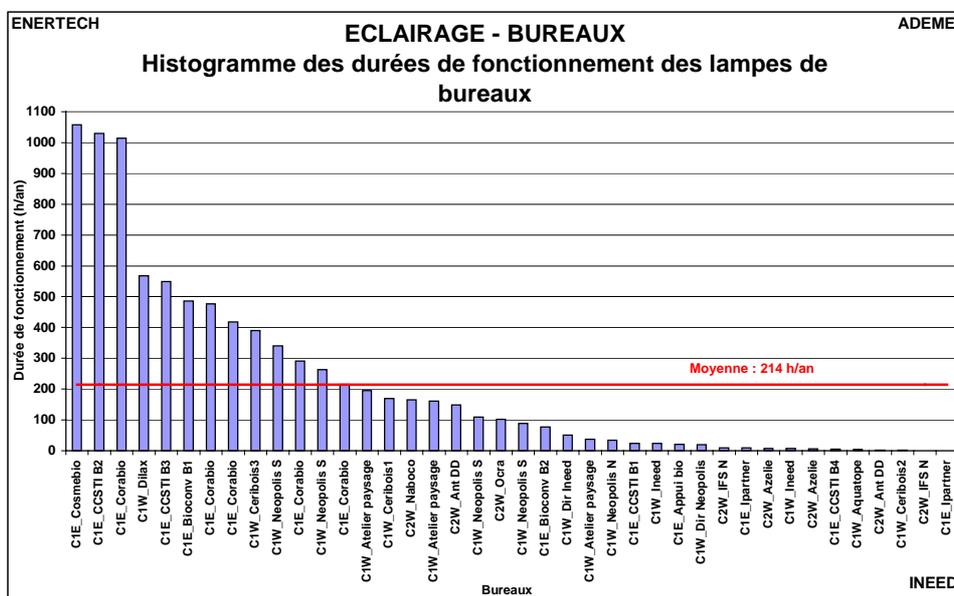


Figure 4.12 : Durées de fonctionnement des lampes de bureau

On relève que 93% de la consommation a lieu pendant les heures d'occupation du bâtiment. Les 7% restant se produisent en dehors des heures ouvrées traditionnelles. A deux reprises seulement, en une année, on a constaté qu'une lampe de bureau était resté allumée toute la nuit.

L'évolution de la consommation mensuelle au cours de l'année est semblable à celle des éclairages plafonniers. La durée de fonctionnement est bien sûr maximale en janvier et minimale en août.

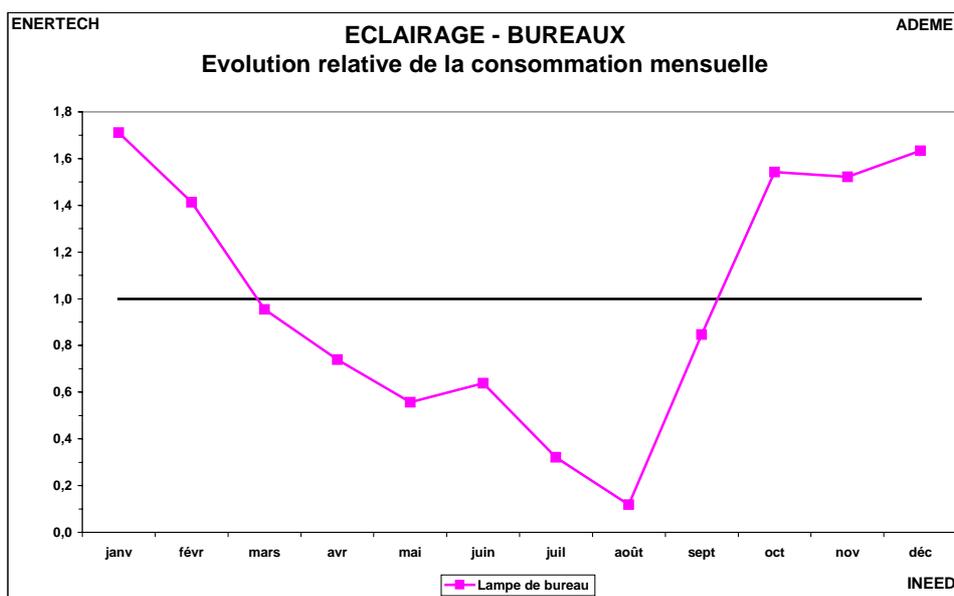


Figure 4.13 : Evolution de la consommation mensuelle d'éclairage des lampes sur bureau

La courbe de charge horaire des lampes de bureau sur l'ensemble de la période (figure 4.14) est également très proche de ce qu'on observe pour les éclairages plafonniers, ce qui n'a rien de très surprenant.

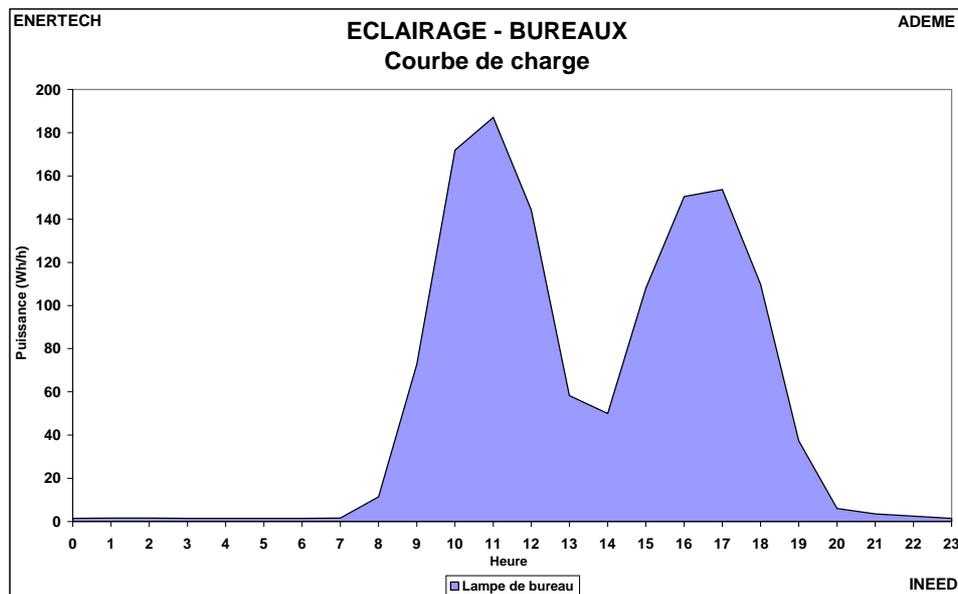


Figure 4.14 : Courbe de charge horaire de l'éclairage des lampes sur bureau – jours ouvrés

IV.2.4 Les laboratoires

On dénombre deux « laboratoires » dont l'installation d'éclairage est réalisée par des luminaires à haut rendement (81%) équipés de deux tubes T5 de 28W avec ballasts électroniques et grilles à défilement. Le mode de pilotage est identique à celui des bureaux.

La consommation d'éclairage des laboratoires est de **153 kWh/an** dont 45% pour la zone porte. La durée de fonctionnement moyen pour les zones « porte » et « fenêtre » est respectivement de 346 et 281 heures/an. Enfin, 17% de la consommation a lieu en dehors des heures de d'occupation mais aucun luminaire n'a fonctionné une nuit entière.

IV.2.5 Les salles de réunion

Le bâtiment comporte les salles de réunions suivantes :

- Au rez de chaussée : - Baie d'Halong
- Johannesburg
- Kyoto
- Rio
- Au 1^{er} étage : - Aldabra
- CCSTI
- Au 2^{ème} étage : - Néopolis

Leur éclairage est réalisé à partir de luminaires identiques à ceux des laboratoires complétés par des luminaires « tableau » (un tube T8 de 36W par local). Dans les salles Baie d'Halong et Aldabra il est possible de faire varier manuellement le niveau d'éclairage (ballast dimmable).

L'éclairage des salles de réunion représente 896 kWh/an, soit près de la moitié de la totalité de la consommation d'éclairage des bureaux. Le graphique de la figure 4.15 donne la répartition de la consommation entre les différentes salles. On remarque que la salle Aldabra qui possède un système de gradation manuelle représente près d'un quart de la consommation du poste éclairage des salles de réunion alors qu'elle possède la plus faible durée d'éclairage des sept salles.

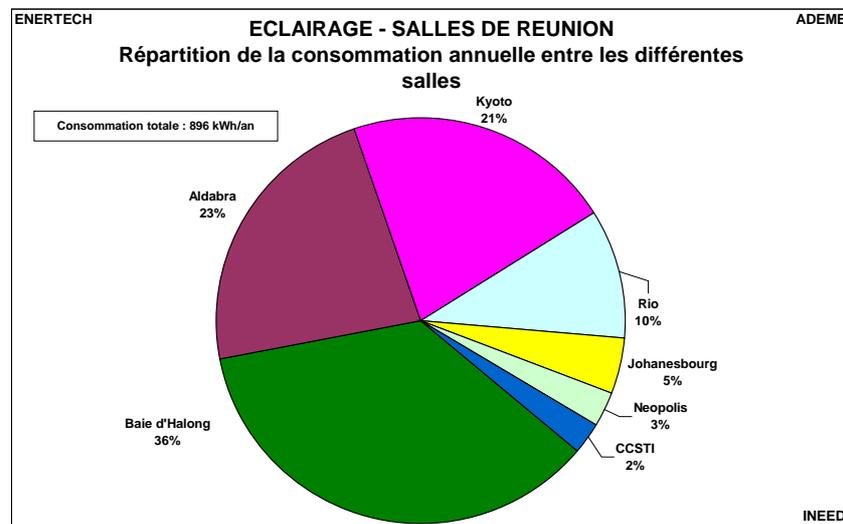


Figure 4.15 : Répartition de la consommation d'éclairage entre les différentes salles de réunion

Le graphique de la figure 4.16 représente, pour l'ensemble des salles de réunion, la structure de la consommation en fonction des différentes zones (couloir, fenêtre, locaux mono-zone, etc) et des composants de l'installation comme les systèmes de gradation. On tire plusieurs enseignements :

- il y a peu d'écart de consommation entre les différentes zones d'éclairage des salles de réunion. Ceci traduit ce que chacun peut observer : les salles de réunion sont rarement allumées par zone. Elle sont totalement allumées ou totalement éteintes la plupart du temps. On peut dès lors se demander s'il est utile de prévoir plusieurs circuits de commande. Ceci méritera confirmation,

- l'impact de l'éclairage du tableau est très faible (2%),

- l'impact de la consommation des gradateurs en veille est en revanche considérable, et surprenant. Cela représente 36% de la consommation totale du poste éclairage des salles de réunion. En réalité la consommation des gradateurs, pour les salles Aldabra et Baie d'Halong qui en sont munies, s'élève respectivement à 73 et 52% de leur consommation totale, c'est donc plus que la consommation de l'éclairage lui-même. La conclusion est donc simple : en l'état actuel, avec une consommation de veille de l'ordre de 18 W, ces gradateurs sont une fausse bonne idée. Ils ne doivent être pas être utilisés, sauf s'ils permettent de diminuer de façon importante un flux lumineux, ou si les industriels mettent sur le marché des modèles beaucoup plus sobres, ce qui ne saurait tarder dès qu'ils auront pris conscience de la faillite du dispositif actuel.

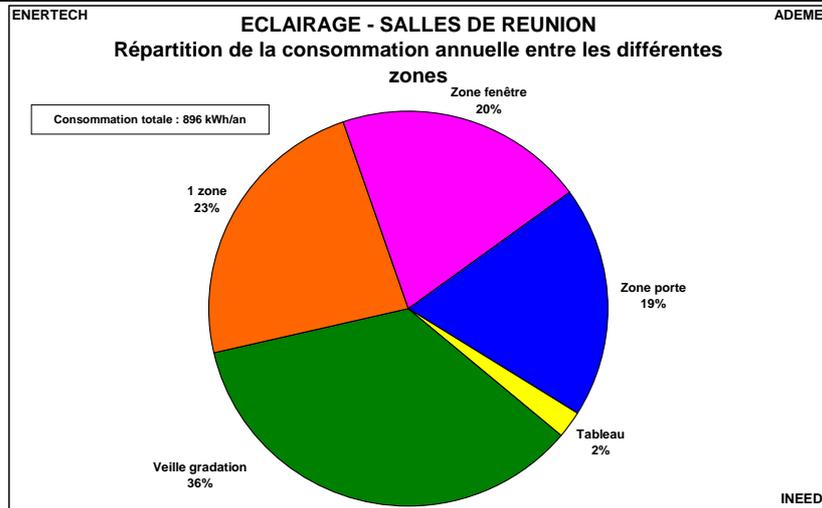


Figure 4.16 : Structure de la consommation d’éclairage des salles de réunion entre les différents zones et les composants de l’installation

Les durées de fonctionnement moyennes (figure 4.17) sont les suivantes :

- Locaux mono zone : 402 heures/an
- Zone fenêtre : 345 heures/an
- Zone porte : 291 heures/an
- Tableau : 262 heures/an

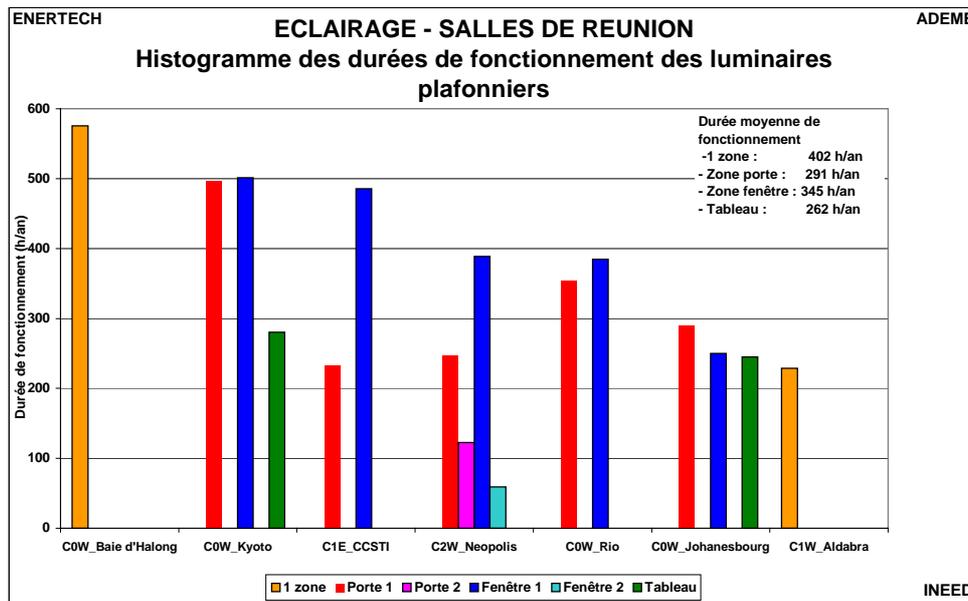


Figure 4.17 : Durées de fonctionnement des luminaires des salles de réunion

Pour les salles de réunion contrairement aux bureaux c’est donc la zone fenêtre qui est le plus souvent éclairée, mais l’écart entre fenêtre et couloir n’est pas très important. Ces salles fonctionnent de manière assez uniforme, sans distinction de zones à l’intérieur.

Pour ces locaux comme pour les bureaux on observe une saisonnalité marquée. Cependant l’aspect moins régulier des courbes tend à prouver que la durée de fonctionnement de l’éclairage artificiel est influencée davantage par le taux d’occupation des salles que par le niveau d’éclairage naturel.

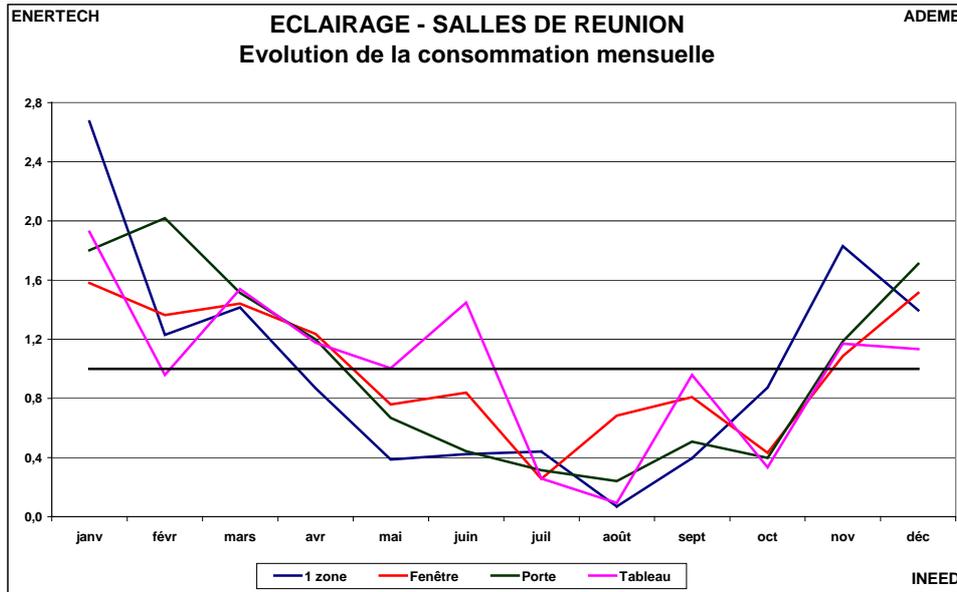


Figure 4.18 : Evolution de la consommation mensuelle de l'éclairage des salles de réunion

Comme pour les bureaux la puissance maximale est appelée entre 10 et 12 heures. On remarque cependant des appels de puissance encore importants les soirs jusqu'à 21 heures.

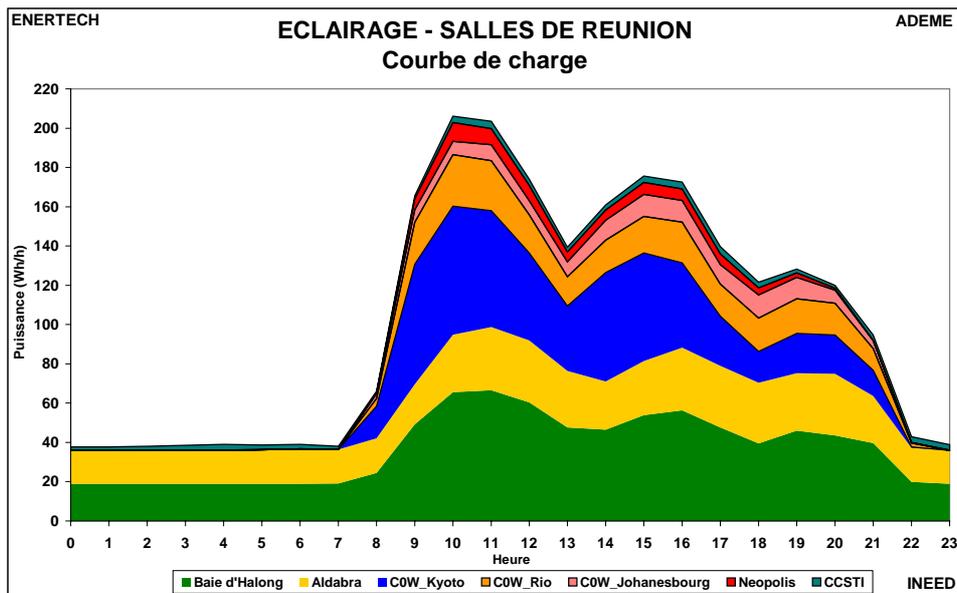


Figure 4.19 : Courbe de charge horaire moyenne annuelle – Eclairage des salles de réunion

Nous avons installé des détecteurs de présence dans la plupart des salles pour comparer la présence effective aux durées de fonctionnement de l'éclairage. On s'aperçoit que le fonctionnement de l'éclairage est très proche de la présence. On estime que les oublis d'extinction correspondent à seulement 31 kWh/an (soit 4% de la consommation).

IV.2.6 La salle de conférence

Dans l'espace conférence on compte deux salles : Forêt de Tronçais et Frazer, de plus petite taille. L'éclairage de ces salles est réalisé grâce à des luminaires suspendus direct/indirect en ligne continue équipés de tubes fluorescents T5 de 35W équipés de ballasts électroniques. Il est commandé par un gradateur.

La consommation des salles Frazer et Forêt de Tronçais est de **1 010 kWh/an, soit 2,94 kWh_{el}/m²_{SU}/an**. Ceci représente 13 % de plus que l'éclairage de l'ensemble des sept autres salles de réunion. Le graphique de la figure 4.18 donne la répartition de la consommation entre les différents locaux de la zone conférence. On remarque, comme dans le cas des locaux étudiés précédemment, que la part de la consommation de veille du gradateur n'est pas négligeable (18%), ce qui correspond à une consommation de veille de 20 W. De plus, la grande salle de conférence couvre plus des deux tiers du total.

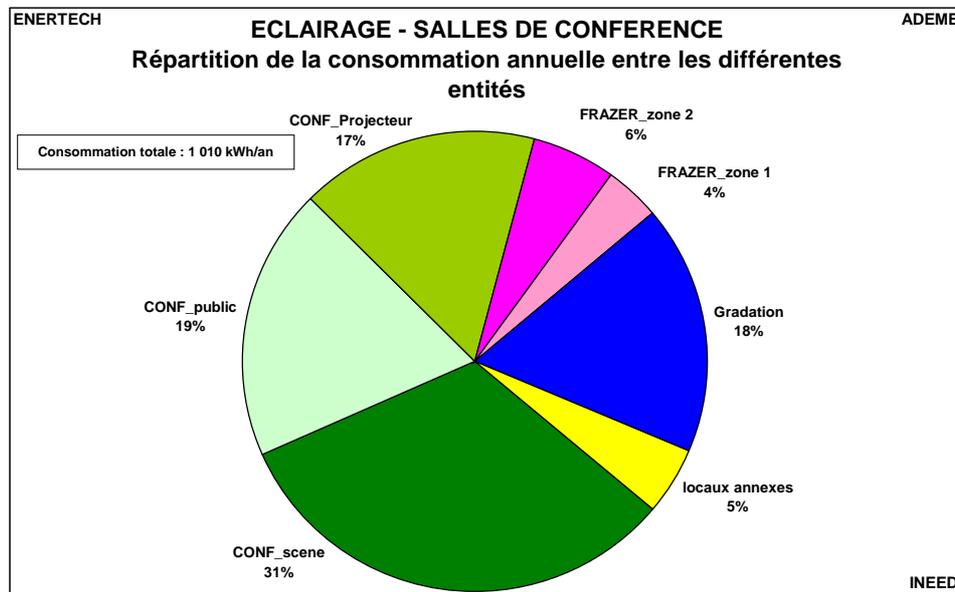


Figure 4.20 : Répartition de la consommation entre les différentes entités – salle de conférence

Nous avons installé des détecteurs de présence pour suivre l'occupation effective de la salle de conférence et pouvoir la comparer à la durée d'éclairage. **On remarque de nombreux moments où l'éclairage fonctionne alors que la salle est vide.** La zone « public » a notamment fonctionné pendant plus de 16 jours sans arrêt. Pour calculer l'économie possible grâce à l'ajustement de la durée d'éclairage à la présence effective on prend une hypothèse conservatrice. Ainsi lorsqu'on observe une présence même courte pendant une heure on considère une heure entière d'occupation. L'économie obtenue s'élève malgré cela à 129 kWh/an pour la zone « public » et 234 kWh/an pour la zone « scène », **soit une économie de l'ordre de 70% pour la salle.** On réalise aussi une économie de 122 kWh/an sur la consommation des projecteurs (72% de leur consommation initiale).

IV.2.7 La salle d'exposition

La consommation d'éclairage de la salle d'exposition est de 81 kWh/an, dont plus de la moitié pour le local de stockage.

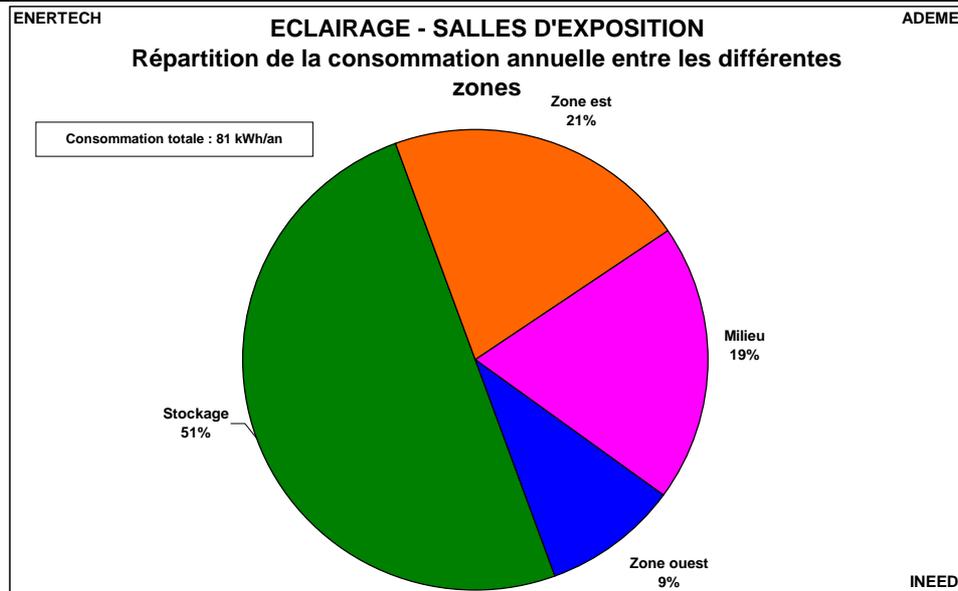


Figure 4.21 : Structure de la consommation d'éclairage de la salle d'exposition

Les durées de fonctionnement sont les suivantes :

- Local stockage : 407 heures/an
- Zone est : 29 heures/an
- Zone centrale : 75 heures/an
- Zone ouest : 82 heures/an.

On observe de nombreux oublis d'extinction du local de stockage (certains durant plus de deux jours !). Les fonctionnements supérieurs à une demi heure (qui sont selon toute vraisemblance des oublis) représentent 96 % de la consommation. S'il n'existait pas on aurait donc pu économiser 39 kWh (48 % de la consommation de la salle d'exposition !). Cela plaide pour l'utilisation de détecteur de présence (à faible consommation de veille) pour ce type de local et de sources à faible puissance (ampoule fluocompacte plutôt qu'ampoule à incandescence, à condition de les choisir correctement, notamment au regard du nombre d'allumages supporté).

IV.2.8 Le hall d'entrée et les paliers d'étage

L'éclairage du hall et des paliers d'étages consomme 2 816 kWh/an. **C'est une consommation supérieure de plus de 40 % à celle de tous les bureaux réunis.**

1-Le Hall d'entrée

L'éclairage du hall d'accueil représente plus des trois quarts de ce poste et 45% pour la seule zone sud (voir figure 4.22) qui est pourtant la plus favorisée en terme d'éclairage naturel. On peut même se demander à quoi sert d'avoir de grandes surfaces vitrées pour favoriser l'éclairage naturel, si c'est pour arriver à la conclusion que de toute façon on laisse allumer l'éclairage, même lorsque c'est inutile....

Les durées de fonctionnement des divers éclairages sont les suivantes :

- Hall sud : 4 366 heures/an
- Hall centre : 1 452 heures/an
- Hall nord : 2034 heures/an

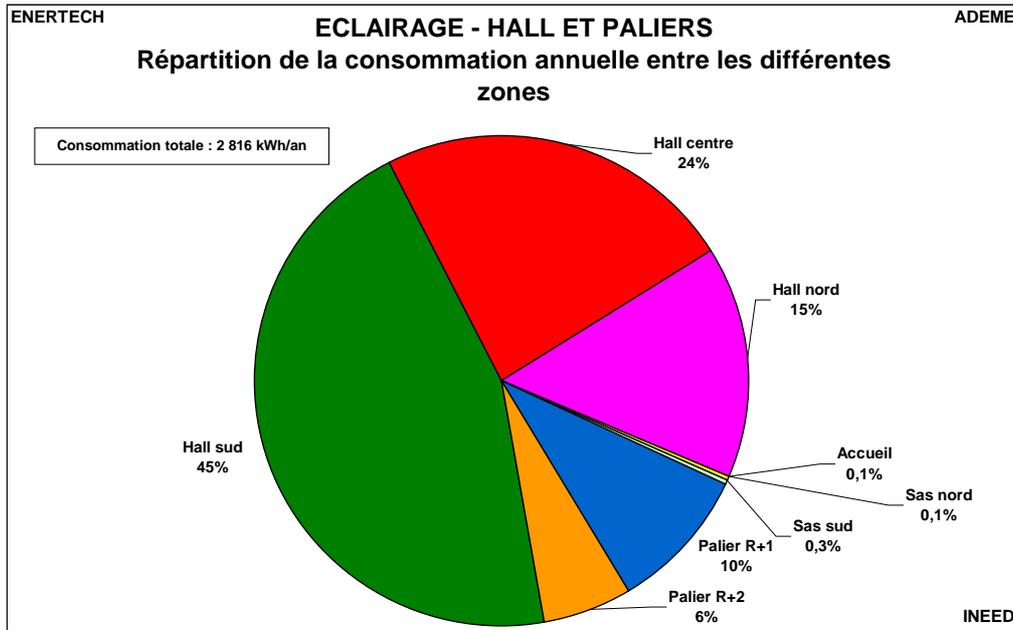


Figure 4.22 : Répartition de la consommation d'éclairage du hall et des paliers de l'escalier central

L'étude des variations saisonnières de consommation de l'éclairage du hall (figure 4.23) semble confirmer qu'il n'y a pas un lien aussi simple entre éclairage naturel et consommation d'éclairage.

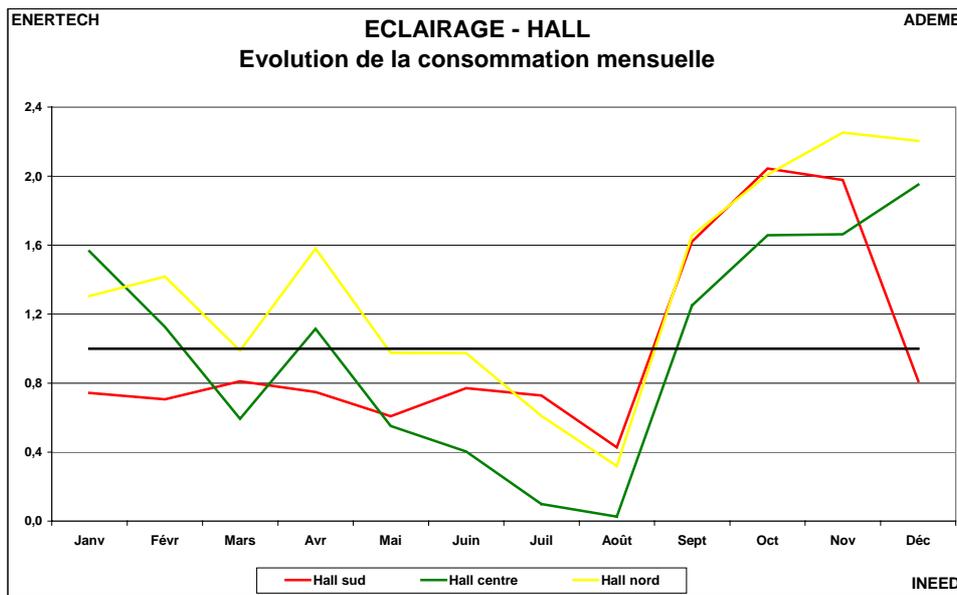


Figure 4.23 : Evolution de la consommation mensuelle d'éclairage du hall

Ainsi, à l'exception des mois de Septembre à Novembre (au § IV 2.7.1 on verra que durant ces trois mois, un dysfonctionnement a conduit à une alimentation continue de l'éclairage), le Hall Sud, situé au pied de grandes baies vitrées, ne présente quasiment pas de variation mensuelle de consommation : la consommation des mois de Janvier, de Mars et de Juin est la même ! Il est probable que ceci est dû à un mauvais réglage des seuils de déclenchement en fonction de l'éclairage naturel. En l'occurrence, le déclenchement est probablement fait sur des valeurs trop basses qu'il faudrait remonter. D'importantes sources d'économie sont donc possibles.

La conclusion est importante : il ne suffit pas d'avoir pris de bonnes dispositions constructives pour faire des économies. Il faut aussi mettre en place des dispositifs qui vont permettre de réduire les consommations et récupérer les économies potentielles. Faute de quoi, dans le cas de l'éclairage, on a tout simplement un niveau d'éclairage trop élevé toute l'année.

Ceci est également mis en évidence lorsqu'on étudie la zone centrale du hall. Cette zone est celle qui est *a priori* la plus éloignée des ouvertures et devrait donc être la plus souvent allumée. Or c'est elle dont la durée d'éclairage est la plus faible (1452 heures contre 4366 pour le hall sud), et c'est aussi elle dont la consommation d'éclairage varie le plus en fonction de la période de l'année. **Ceci confirme la nécessité de régler avec un soin extrême les commandes de tous les types d'éclairage.**

Il faut pourtant souligner que ces réglages avaient été faits au moment de la livraison du bâtiment, que nous avons passé beaucoup de temps à cela, mais que ce devait être insuffisant puisque que le résultat aujourd'hui n'est pas satisfaisant. Ceci confirme ce que nous avons appris depuis, à savoir que le réglage des systèmes de commande d'éclairage est très délicat et nécessite beaucoup de temps en fin de chantier. Il faut aussi que ces réglages puissent être « verrouillés » afin de ne pas être modifier par n'importe qui, ce qui suppose un choix adapté de détecteurs.

2-Les sas

La durée de fonctionnement de l'éclairage des sas est beaucoup plus courte que celle du hall. La temporisation des détecteurs de présence est d'environ 30 secondes côté sud et 100 secondes côté nord. Le seuil de détection de l'éclairage naturel paraît aussi bien choisi.

3-Les paliers

La durée de fonctionnement de l'éclairage des paliers est de :

- R+1 : 932 heures/an
- R+2 : 169 heures/an

La temporisation des détecteurs de présence est de 107 secondes (R+1) et 70 secondes (R+2). La figure 4.24 montre qu'il est probablement envisageable de revoir à la baisse ces temporisations et le réglage du seuil de détection de l'éclairage naturel pour le palier du R+1.

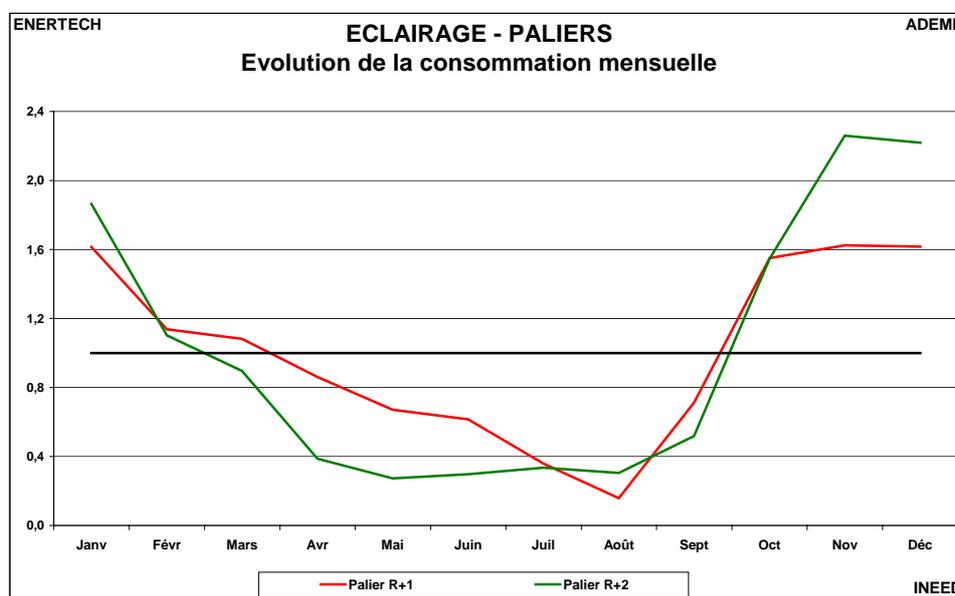


Figure 4.24 : Evolution de la consommation mensuelle d'éclairage des paliers au cours de l'année

IV.2.8.1 Economies envisageables

On note un dysfonctionnement important du départ « hall sud ». En effet ce circuit d'éclairage a fonctionné en permanence jusqu'au 04 décembre soit près de trois mois. On estime la surconsommation associée à environ 340 kWh.

Pour le départ « hall centre » on note aussi quelques dysfonctionnements, à savoir 8 cycles d'éclairage continu de deux jours. Ces cycles commencent systématiquement des samedis. Il faudrait comprendre pourquoi le système de commande a été bloqué. Y a-t-il eu une mise en fonctionnement forcé ?

Si on part de l'hypothèse que les réglages de la zone centre du hall sont les plus performants et les plus adaptés au regard de l'éclairage naturel et de la présence, et si on applique le nombre d'heures de fonctionnement ainsi obtenu en zone centre à l'ensemble des trois zones, on réalise une **économie de 980 kWh/an**, soit une réduction de la consommation d'éclairage du hall de 40%.

IV.2.9 Les circulations

IV.2.9.1 Circulations Horizontales

La consommation associée à l'éclairage des couloirs vaut **3 477 kWh/an**. L'analyse de la structure de cette consommation en fonction des différentes postes (voir figure 4.25) montre que le premier étage ouest, malgré l'éclairage naturel en partie haute, est le plus gros consommateur avec 41% de la consommation totale. **Mais la principale surprise vient de la consommation de veille des détecteurs de présence qui représente près de 10% du total, soit plus de 300 kWh/an....**

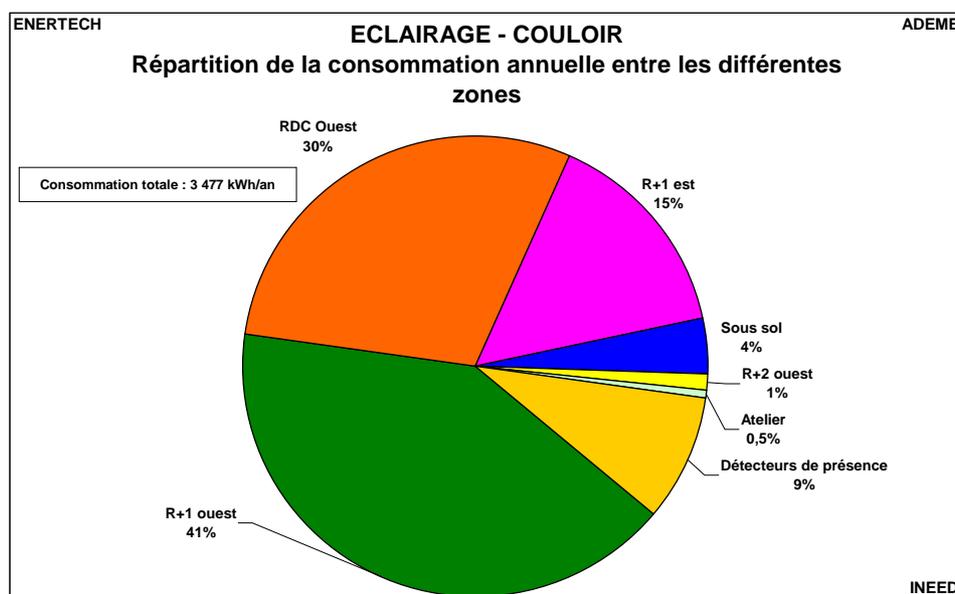


Figure 4.25 : Répartition de la consommation entre les différentes zones –Couloirs

Il apparaît une nouvelle fois que les systèmes de commande et de pilotage mal conçus peuvent avoir des conséquences très importantes sur la consommation globale d'un usage. On ne répétera jamais assez aux constructeurs qu'ils doivent étudier un système non seulement lorsqu'il est actif, mais également lorsqu'il est en veille, de manière à garantir dans ce régime passif des puissances extrêmement faibles très inférieures au Watt.

Le nombre d'heures de fonctionnement annuelles varie beaucoup d'un couloir à l'autre (figure 4.26).

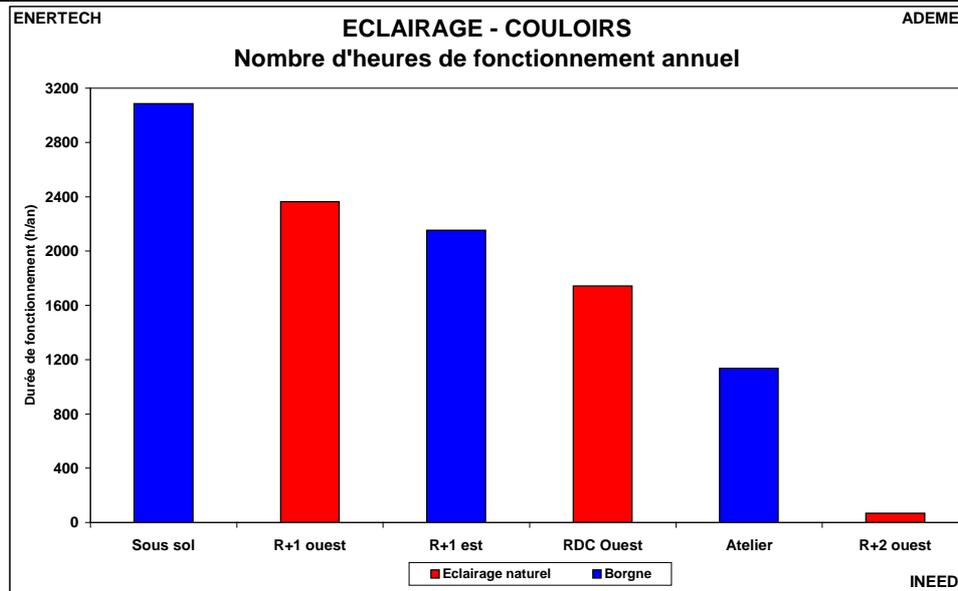


Figure 4.26 : Durées de fonctionnement annuelles des couloirs

Plusieurs observations s'imposent :

1 - le couloir du sous-sol, qui n'est pas sur détection de présence, est la zone la plus longtemps en fonctionnement ! Or ce n'est pas une zone très fréquentée puisqu'on y trouve essentiellement des archives ! Il y a de nombreux oublis d'extinction, notamment un fonctionnement de 9 jours consécutifs. Si on estime que tous les cycles de plus de 5 minutes correspondent à des oublis et qu'on les remplace par des cycles de 5 minutes la durée de fonctionnement annuel passe à 24 heures. **On réalise alors une économie de 138 kWh/an.**

Conclusion : il faut retenir de ce cas une règle générale que d'autres occasions nous ont permis de confirmer. Les interrupteurs simples doivent être bannis dans les lieux de circulation commune. Il faut utiliser soit une minuterie, soit un détecteur de présence. Tous les cas ayant dérogé à cette règle se sont révélés dysfonctionner en permanence toute l'année à cause d'oublis répétés à l'extinction de l'éclairage.

2 - **les locaux bénéficiant d'éclairage naturel ne sont pas ceux dont la durée de fonctionnement est la plus faible.** Ce phénomène a déjà été observé lors de l'étude du hall d'accueil. Les raisons de ce phénomène paradoxal peuvent être avant tout liées à un mauvais réglage des sondes crépusculaires, voire des temporisations des détecteurs de présence. Il ne paraît en effet pas concevable que des locaux bénéficiant d'éclairage naturel consomment finalement plus que des locaux borgnes. Ceci confirme l'idée qu'il ne suffit pas d'avoir pris de bonnes dispositions architecturales pour qu'un bâtiment soit économe en énergie. Il faut également des systèmes d'asservissement capables de récupérer les économies potentielles.

Ces propos sont parfaitement illustrés par l'étude de la durée de fonctionnement de l'éclairage artificiel des circulations de la zone ouest qui bénéficie d'éclairage naturel (sheds). On observe en effet de fortes disparités de la durée de fonctionnement entre les niveaux R+1 et R+2. Cela s'explique par un réglage différent des détecteurs de présence et des cellules photosensibles. Si on compare les durées de temporisation des détecteurs de présence, on constate qu'elles sont dans un rapport de près de 1 à 3 :

- couloir R+1 ouest : 94 secondes
- couloir R+2 ouest : 35 secondes

Mais l'analyse des variations de consommation mensuelle (figure 4.27) du hall sud montre également que la durée de fonctionnement de l'éclairage est constante au cours de l'année, preuve que le seuil de la cellule photosensible doit être mal réglé. Ainsi, contrairement au R+2 on ne profite pas de l'éclairage naturel.

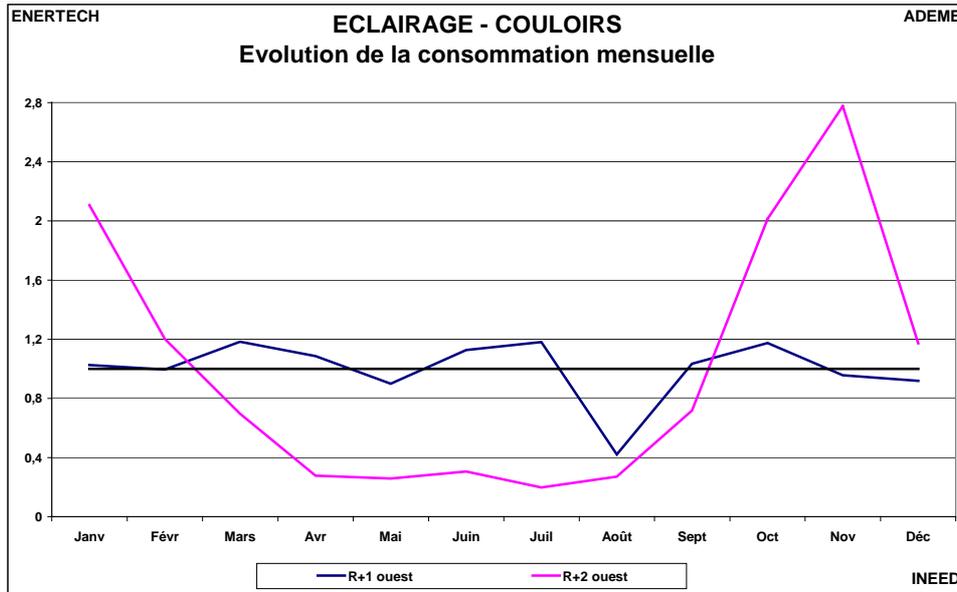


Figure 4.27 : Variation de la consommation mensuelle d’éclairage des couloirs

Si, pour évaluer le gisement d’économie d’électricité potentielle, on fait l’hypothèse qu’entre 10 et 16 heures on n’a en général pas besoin d’éclairage artificiel et qu’on modifie en conséquence le paramétrage des cellules photosensibles des couloirs ouest des 1^{er} et 2^{ème} étages, **l’économie associée vaut 1 161 kWh/an.**

IV.2.9.2 Circulations Verticales

L’éclairage des escaliers consomme **787 kWh/an**. La cage centrale couvre 41% de cette consommation alors qu’elle ne représente que 19% de la puissance installée dans l’ensemble des escaliers. Mais ceci pourrait s’expliquer parce que c’est le lieu de passage central et principal. Mais il y a une autre raison à cela : le mauvais fonctionnement du détecteur de présence et de luminosité qui a conduit à un fonctionnement quasi permanent (89% de l’année). On estime que ce circuit ne devrait pas fonctionner plus d’une demi heure par jour ouvré soit 126 heures par an. **On pourrait donc faire une économie de 317 kWh/an.**

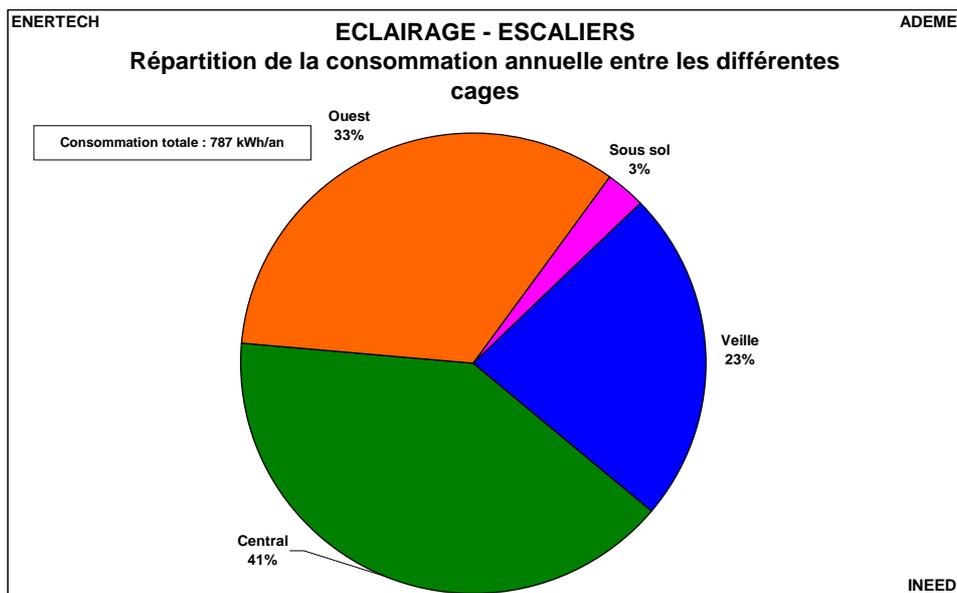


Figure 4.28 : Répartition de la consommation d’éclairage entre les différentes cages d’escaliers

La durée de fonctionnement de la cage ouest est moins élevée (2037 heures/an) mais tout de même importante pour un espace piloté par détecteur de présence dont il s'est avéré que la temporisation est de 336 secondes, soit plus de 5 minutes ce qui paraît excessif. Si on ramenait tous les cycles de plus d'une minute à...une minute (réglage simple à faire), on réduirait la durée de fonctionnement de 92% et on ferait une économie de 244 kWh/an.

Mais on est à nouveau frappé par la part considérable (23 %) de la veille des détecteurs de présence. Tout a déjà été dit sur ce sujet, mais ce bâtiment montre à quel point leur consommation est importante.

IV.2.10 Les sanitaires

L'éclairage des sanitaires consomme **508 kWh/an**, dont 25% est dû à la veille des détecteurs de présence.

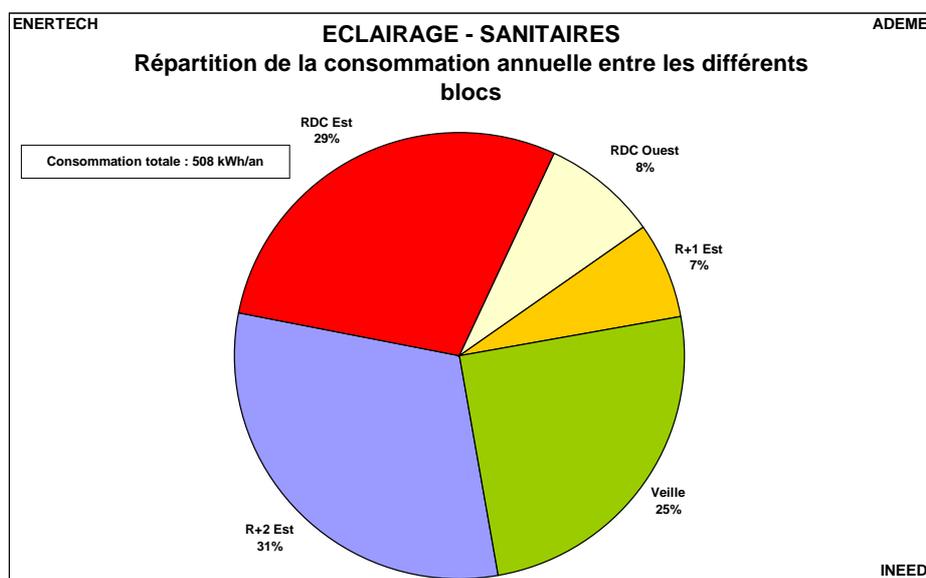


Figure 4.29 : Répartition de la consommation entre les différents blocs sanitaires

L'analyse de la durée de fonctionnement des différents foyers lumineux des blocs sanitaires fait à nouveau apparaître des dysfonctionnements importants (voir figure 4.30). Toutes les cabines n'ont pu être étudiées car la mémoire de plusieurs mesureurs a été saturée avant la fin de la campagne à cause du nombre trop important d'allumages.

Au 2^{ème} étage, la consommation du bloc sanitaire est la plus importante de tout le bâtiment. La durée de fonctionnement de l'éclairage de la cabine 3 a été 5 fois plus importante que celle de la cabine classée en second dans l'échantillon. Nouveau dysfonctionnement dû au détecteur de présence : ce luminaire a fonctionné en continu à partir du 22 avril jusqu'à la fin de la campagne de mesures (donc pendant cinq mois). Cette cabine représente à elle seule 57% de la consommation du bloc. Dans ce bloc l'éclairage d'une autre cabine (non représentée sur la graphique) a fonctionné 12 jours consécutifs avant que l'ampoule ne grille....

En faisant fonctionner l'éclairage de ces deux cabines le même temps moyen que les autres cabines de ce bloc, **on économiserait 89 kWh/an**, soit 18% de la consommation de l'ensemble des toilettes du bâtiment.

La figure 4.30 met aussi en évidence la grande dispersion des durées de temporisation qui varient de 36 à 404 secondes, soit un rapport de 1 à 11 ! De deux choses l'une : soit la durée de 36 secondes est satisfaisante et personne ne s'en est plaint durant l'année. Et dans ce cas toutes les temporisations devraient être ramenées à la même valeur. Soit cette temporisation n'est pas la bonne, des utilisateurs se

sont plaints, et dans ce cas il convient de trouver la juste valeur entre 36 et 404 secondes. Mais dans tous les cas de figure **il apparaît clairement que, au regard de l'économie d'électricité, la question du réglage de la temporisation des détecteurs de présence n'est pas du tout satisfaisante dans les sanitaires** et qu'une économie importante pourrait être faite en améliorant ces réglages, notamment en cherchant de manière systématique quelle est la valeur qui convient à la majorité des utilisateurs.

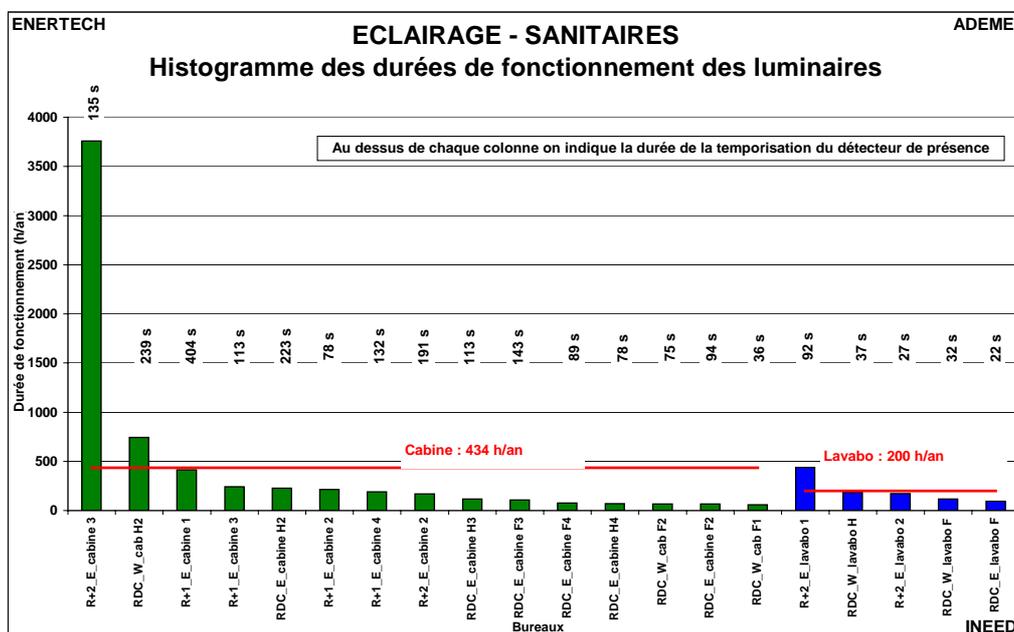


Figure 4.30 : Durées de fonctionnement des luminaires des sanitaires

IV.2.11 Locaux annexes

Le tableau de la figure 4.31 reprend les consommations et durées de fonctionnement de l'éclairage des autres locaux. Au total, cette consommation est marginale et vaut **210 kWh/an**.

| Local | Consommation (kWh/an/%veille) | Durée de fonctionnement (h/an) | Temporisation détecteur (secondes) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Atelier | 1 652 | - | - |
| Cafétéria | 91,0 10% | 382 | 592 |
| Entretien | 41,5 78% | 105 | - |
| Local imprimante | 24,0 37% | 1045 | 46 |
| Archive 1 | 18,4 | 181 | |
| Douche | 10,6 83% | 33 | 65 |
| Archive 2 | 7,2 | 71 | |
| Serveur | 5,1 | 42 | |
| TGBT | 3,8 | 38 | |
| CTA bureaux | 3,8 | 38 | |
| CTA conférence | 2,5 | 25 | |
| Vestiaires | 2,2 | 124 | |
| Salle hors sac | 0,1 | 3 | |

Figure 4.31 : Consommation et durée de fonctionnement des luminaires des locaux divers

On note un dysfonctionnement de l'éclairage du local entretien : il a fonctionné plus de quatre jours consécutifs, ce qui représente 95% de sa consommation annuelle. On relève aussi un fonctionnement continu durant un week-end, ou encore une nuit, pour le local archives 1.

Globalement les temporisations des détecteurs de présence sont bien choisies, à l'exception de celle de la cafétéria qui pourrait être raccourcie.

Toutefois, on observe à nouveau que, dans certains cas (local entretien, douches), la consommation du détecteur de présence peut devenir tout à fait anormale en valeur relative : jusqu'à 83 % de la consommation totale dans le cas du local douches. **Une minuterie est alors souvent mieux adaptée qu'un détecteur de présence pour des éclairages très peu sollicités annuellement.**

IV.2.12 L'éclairage de sécurité

Il existe 56 BAES répartis comme suit au sein de l'INEED :

| Lieu | Nombre |
|--------------|-----------|
| Chaufferie | 1 |
| Sous sol | 3 |
| RDC conf | 11 |
| RDC hall | 11 |
| C0W | 5 |
| Atelier | 1 |
| R+1E | 6 |
| R+1W | 7 |
| R+2expo | 5 |
| R+2W | 6 |
| TOTAL | 56 |

L'éclairage de sécurité consomme annuellement 768 kWh (755 hors atelier), **soit 13,7 kWh/an/bloc**. Une puissance de 88 watts est appelée en permanence pour cet usage, soit **1,57 W/bloc**.

Ceci constitue un vrai progrès. Il ne faut pas oublier que la majorité des BAES utilisés jusqu'à présent avaient une consommation de 50 kWh/an. Cette opération était la première où nous utilisions des blocs de nouvelle génération conçus pour minimiser la consommation d'électricité nécessaire au maintien en charge de la batterie. Cette première génération de blocs a donc permis une division par presque quatre des consommations courantes. Mais il faut souligner que de nouveaux matériels permettent aujourd'hui de diviser encore par deux, voire trois, les consommations obtenues à l'INEED.

IV.3 L'INFORMATIQUE

La consommation des appareils de bureautique a été suivie au moyen de wattmètre série (voir § II.2.1.3). Par mesure de précaution, un nombre conséquent d'appareils de mesure avait été installé en supplément dans les tableaux électriques afin de connaître la consommation totale des appareils sur prises de courant. En déduisant les consommations des appareils autres que la bureautique tels que cafetières, bouilloires ou lampes de bureau alimentés par ces prises de courant, il a été possible de connaître la consommation de la bureautique avec une très bonne précision.

En récupérant les données en mémoire des wattmètres séries, une partie de la consommation de bureautique manquait par suite du débranchement des mesureurs ou du déménagement de certains bureaux. Mais grâce aux mesures en tableau électrique, l'ensemble de la consommation du parc informatique a quand même pu être mesuré.

La consommation annuelle de l'équipement informatique de l'INEED est de **17 354 kWh/an** (Bureautique, baie VDI, serveur INEED et salle informatique), **soit 25 % de la consommation totale du bâtiment**. A noter, et c'est une grande caractéristique de la bureautique, que **47 % de cette consommation a lieu en dehors de la période d'occupation**.

La consommation surfacique de l'ensemble est de **6,6 kWh/an/m²** ou encore **266 kWh/an/personne**. Cette dernière consommation est certainement majorante, car un certain nombre d'équipements servent à de la formation (pour des intervenants extérieurs), et leur consommation est donc référée à une population minorée.

L'analyse des courbes de charge de la consommation d'électricité (figure 4.32) montre qu'il existe une **puissance de veille de l'ordre de 1.450 W** les jours ouvrés et de 1.250 W les jours non ouvrés, puissance qui n'aurait jamais dû exister. Cette puissance doit être rapprochée de la puissance maximale atteinte par les usages bureautiques qui est de 3500 W !

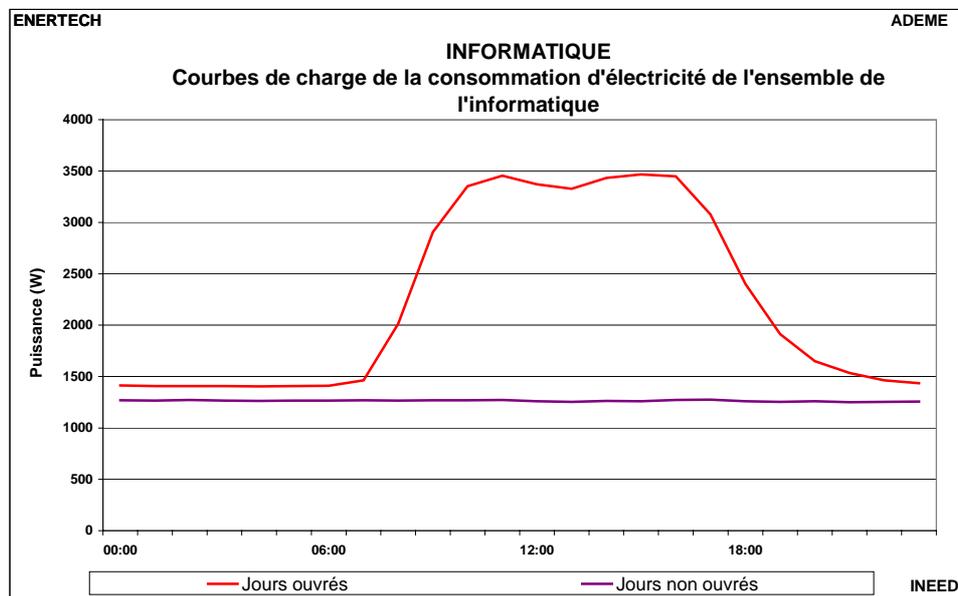


Figure 4.32 : Courbes de charge moyennes de l'ensemble des usages bureautiques, les jours ouvrés et non ouvrés

Les figures 4.33 et 4.34 représentent la structure de la courbe de charge des consommations de bureautique respectivement les jours ouvrés et non ouvrés. Ce sont les départs de l'armoire C1W (R+1 Ouest) dont la veille, en moyenne 335 W, est la plus importante (dont 120 W pour l'imprimante collective). Ces départs alimentent des ordinateurs qu'on oublie d'arrêter le soir, ou qui restent en veille et dont l'alimentation n'a pas été coupée du réseau par une barrette avec interrupteur.

Vient ensuite la baie VDI avec une puissance d'environ 300 W.

Il faut considérer toutes ces veilles comme des dysfonctionnements qu'il faudra très rapidement faire disparaître dans l'avenir.

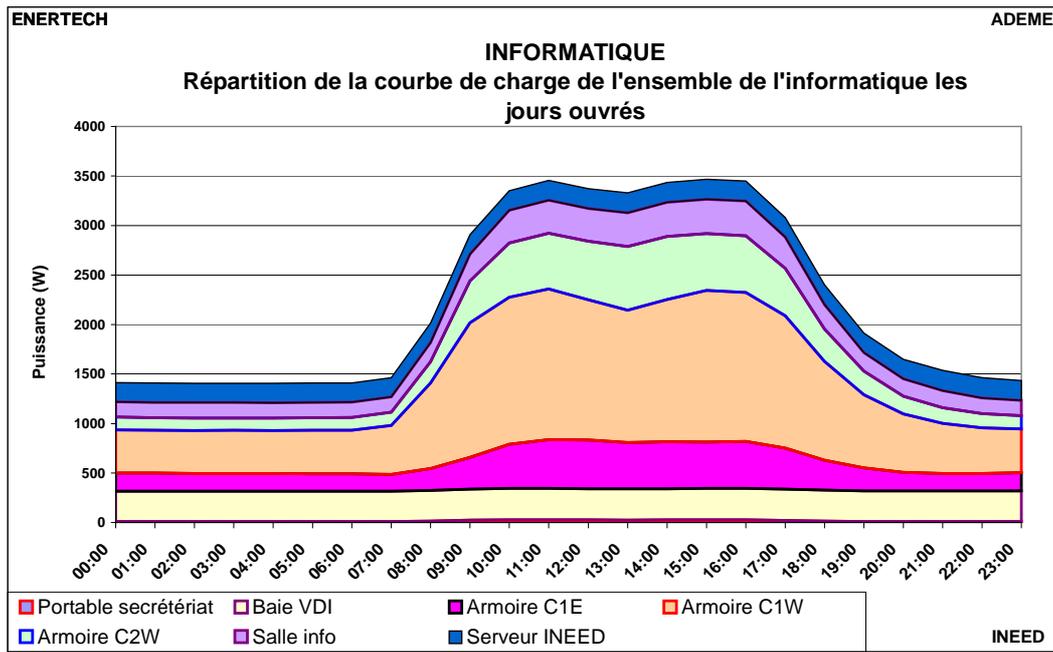


Figure 4.33 : Structure de la courbe de charge des usages bureautiques, les jours ouvrés

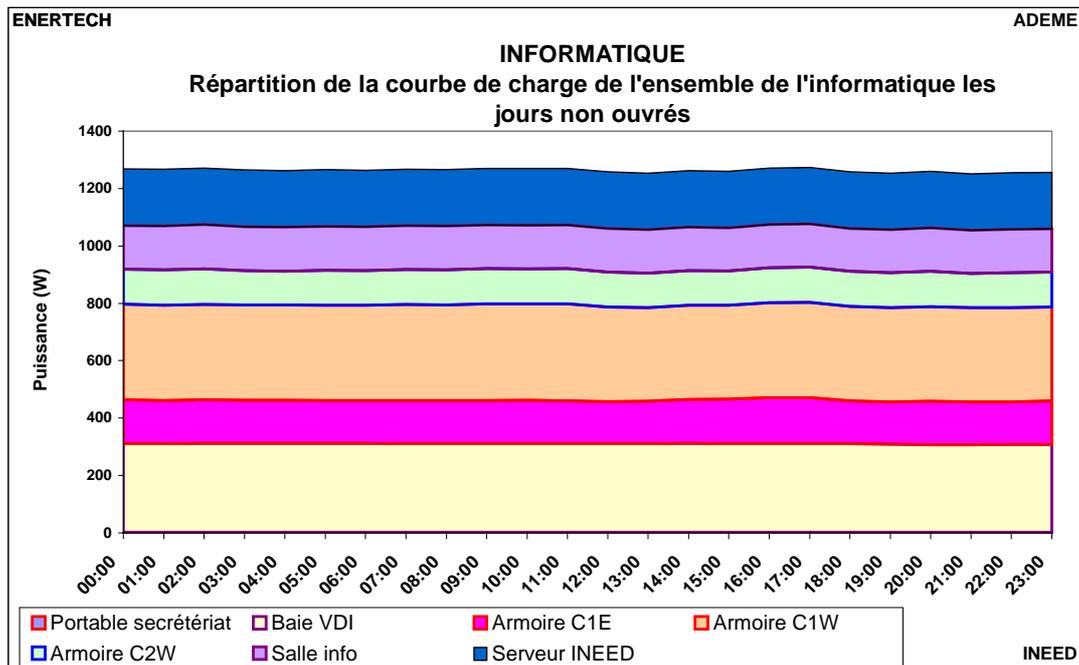


Figure 4.34 : Structure de la courbe de charge des usages bureautiques, les jours non ouvrés

IV.3.1 Récapitulatif de la consommation de la bureautique

La consommation totale de la bureautique du bâtiment est de 17 354 kWh/an. Avec 25% de la consommation totale, ce sont les unités centrales et écrans qui consomment le plus : 4006 kWh/an.

La baie de brassage VDI (16 %) vient en seconde position de consommation avec 2711 kWh/an.

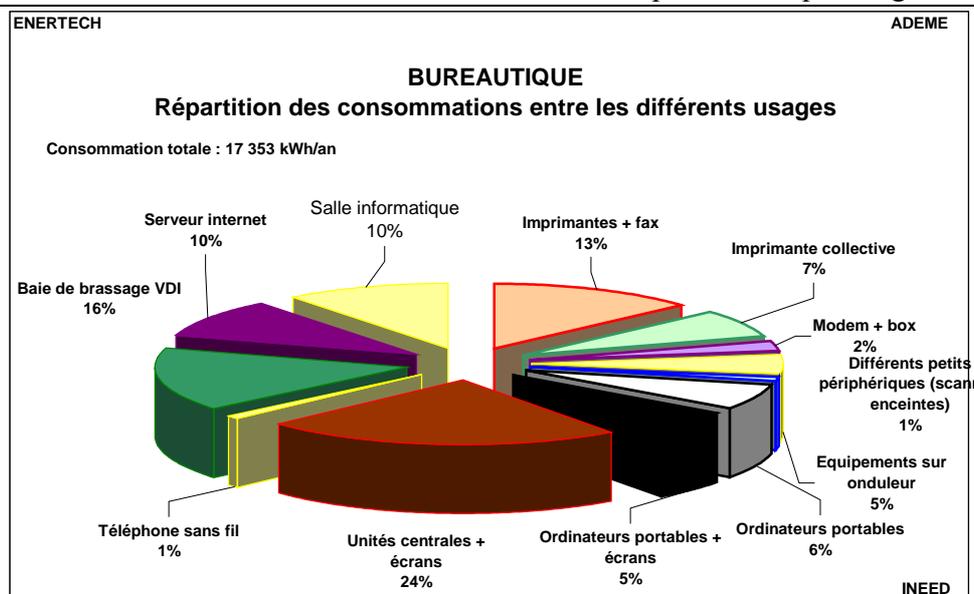


Figure 4.35 : Structure de la consommation des équipements bureautiques de l'INEED

Le tableau de la figure 4.36 regroupe, pour les différents usages de la bureautique, les consommations et les potentiels d'économie d'énergie.

| Bureautique | Consommations annuelles (kWh/an) | Economies réalisables (kWh/an) |
|--|----------------------------------|--------------------------------|
| Unités centrales + écrans | 4006 | 942 (-24 %) |
| Baie de brassage VDI | 2711 | 1807 (-67 %) |
| Imprimantes + fax | 2296 | 1 177 (-51 %) |
| Salle informatique | 1814 | 925 (-51 %) |
| Serveur internet | 1720 | 0 (0%) |
| Imprimante collective | 1238 | 826 (-67 %) |
| Ordinateurs portables | 1098 | 102 (-9 %) |
| Ordinateurs portables + écrans | 875 | 80 (-9 %) |
| Equipements sur onduleur | 793 | 351 (-44 %) |
| Modem + box | 422 | 281 (-67 %) |
| Différents petits périphériques (scanner, enceintes) | 231 | 154 (-67 %) |
| Téléphone sans fil | 149 | 99 (-67 %) |
| Somme | 17 353 | 6 745 (-39 %) |

Figure 4.36 : Caractéristiques de consommation et potentiel d'économie des appareils bureautiques

La figure 4.37 représente la structure des économies potentielles des usages de bureautique. C'est la baie informatique qui permet le plus d'économie avec 1 807 kWh/an, puis les imprimantes et, à parts égales, la salle informatique et les ordinateurs fixes (14 %)

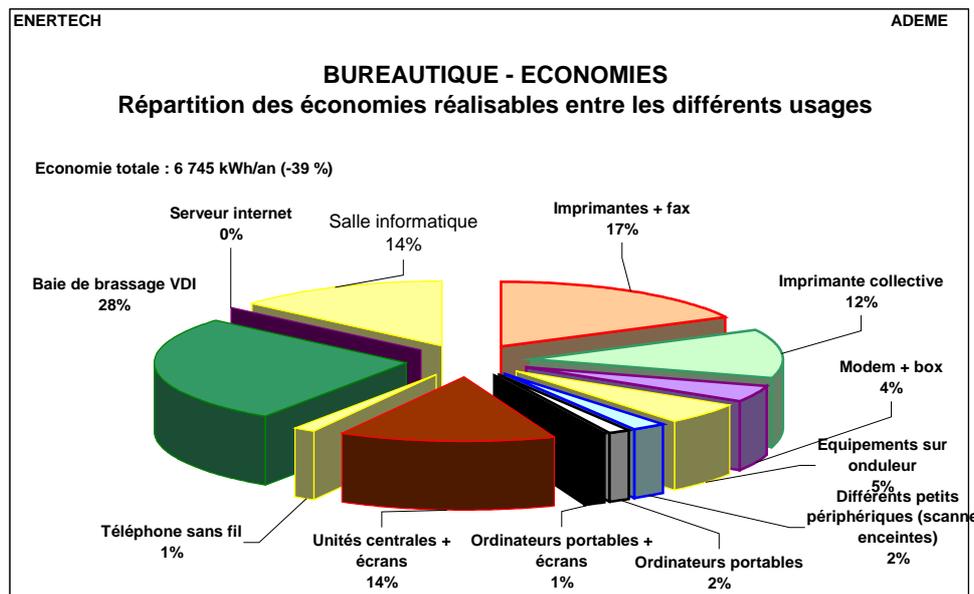


Figure 4.37 : Structure des économies potentielles réalisables sur les appareils bureautiques

IV.3.2 Consommation de la bureautique des locaux de bureaux

La consommation de la bureautique des bureaux (y compris imprimante commune mais hors salle informatique) est de 11.109 kWh_{el}/an soit une consommation surfacique de 5,3 kWh_{el}/an/m²_{SU} (en prenant en compte l'ensemble de la surface utile des bureaux, halls, circulations, sanitaires, et réunions, soit 2104 m²). A titre de comparaison, voici quelques résultats issus d'autres campagnes de mesures que nous avons réalisées dans des bureaux :

- la première en 2004 réalisée dans 50 bâtiments de bureaux en Région PACA conduisait à une consommation surfacique de 40,4 kWh_{el}/an/m²,
- pour la seconde en 2005 réalisée à l'hôtel du département du Bas Rhin à Strasbourg : 28 kWh_{el}/an/m²,
- pour la troisième en 2007 réalisée dans le siège social d'un major du BTP : 28,5 kWh_{el}/an/m².

La consommation annuelle de bureautique est de **170,9 kWh_{el}/an/personne**, ce qui reste encore beaucoup trop. Lors des autres campagnes de mesures les valeurs obtenues étaient de :

- Campagne sur 50 bâtiments de bureaux en PACA : 875 kWh/an/personne
- Campagne de l'hôtel du Bas Rhin : 907 kWh/an/personne (ensemble des usages de bureautique) ou 317 kWh/an/personne si l'on prend uniquement en compte les usages finaux de l'informatique (UC, écrans, imprimantes, photocopieurs...)

Donc, par comparaison aux consommations observées dans les autres campagnes de mesure déjà effectuées, la consommation du poste informatique est très faible à l'INEED, mais pourrait être encore bien plus faible. Si l'on raisonne en consommation surfacique, l'amélioration est d'un facteur 6 à 8. Par personne, cette amélioration est d'un facteur 5.

L'écart entre l'amélioration des consommations surfaciques et par personne provient de la densité d'occupants (personne par m²) relativement faible de l'INEED.

Le tableau suivant reprend la liste des appareils recensés à l'INEED.

| Appareil | C1E | C1W | C2W | Total |
|--------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Unités centrales | 8 | 8 | 4 | 20 |
| Ecran CRT 15 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Ecran CRT 17 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| Ecran LCD 15 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Ecran LCD 17 | 1 | 5 | 3 | 9 |
| Ecran LCD 19 | 1 | 6 | 0 | 7 |
| Ecran LCD 20 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Ecran LCD 22 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Portable | 13 | 15 | 11 | 40+1* |
| Imprimante jet encre | 7 | 6 | 6 | 19 |
| Imprimante multifonction | 4 | 3 | 0 | 7 |
| Imprimante laser | 2 | 1 | 0 | 3 |
| Scanner | 2 | 1 | 0 | 3 |
| Box | 3 | 0 | 2 | 5 |
| Modem | 1 | 2 | 0 | 3 |
| Router | 1 | 1 | 2 | 4 |
| Serveur | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Enceintes | 0 | 0 | 2 | 2 |
| DD externe | 1 | 0 | 1 | 2 |
| cadre photo | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Chargeur Palm | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Tel SF | 2 | 2 | 2 | 6 |
| Fax | 2 | 3 | 0 | 5 |

* ordinateur portable secrétariat

La figure 4.38 représente les courbes de charge les jours ouvrés et non ouvrés des appareils informatiques de l'ensemble des locaux de bureaux. La puissance appelée augmente fortement le matin, ce qui prouve que la plupart des appareils a bien été arrêtée pendant la nuit. Mais pas tous. On observe en effet une veille de 750 W en semaine et de 600 W les jours non ouvrés en période d'inoccupation, preuve que des appareils sont toujours en fonctionnement, et qu'il y en a plus la nuit des jours ouvrés que des jours non ouvrés. Environ 120 W correspondent à la veille de l'imprimante collective. On remarque aussi une très faible inflexion au niveau de la pause déjeuner, ce qui signifie que les machines ne sont quasiment pas arrêtées à ce moment là, alors qu'elles le pourraient et le devraient. La puissance maximale atteinte de façon journalière est en moyenne de **2,6 kW**. Mais la puissance maximale atteinte ponctuellement par le parc informatique des bureaux a été de **5,9 kW**.

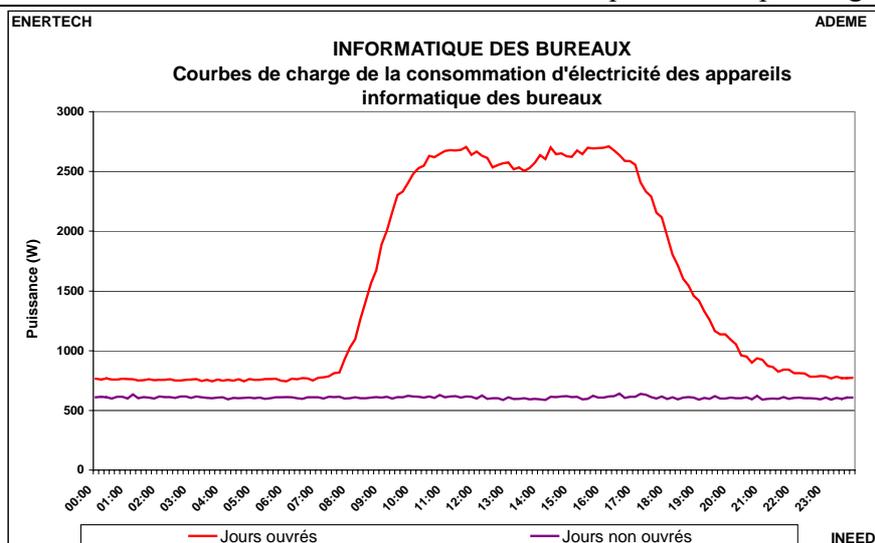


Figure 4.38 : Courbe de charge moyenne de l'ensemble de la bureautique dans les locaux de bureaux seuls, les jours ouvrés et non ouvrés

Mais une consommation de veille aussi importante a une conséquence immédiate : 39 % de la consommation bureautique des locaux de bureaux a lieu en période d'inoccupation, et seulement 61 % en période d'occupation ! **Ce qui signifie que 4 359 kWh/an sont perdus chaque année et auraient pu être économisés en arrêtant les appareils et en coupant leurs veilles.** Il s'agit là de gestes simples couramment pratiqués par exemple dans notre entreprise, et qui pourraient être mis en oeuvre sans difficulté dans n'importe quel bâtiment de bureaux, générant ainsi des économies considérables.

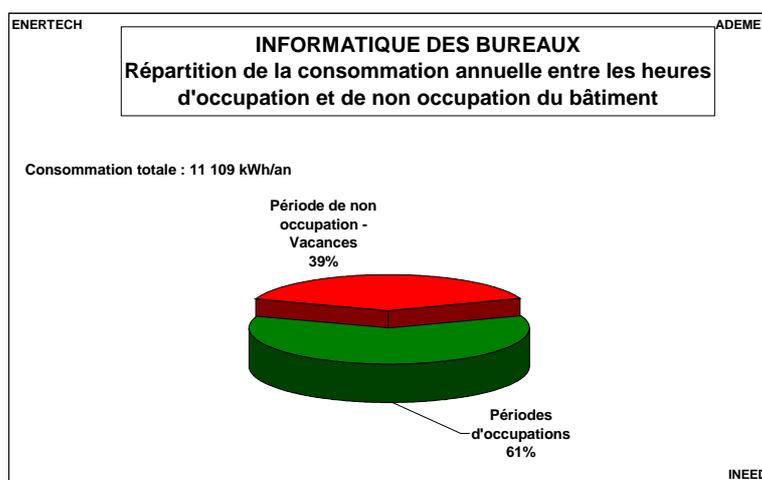


Figure 4.39 : Structure de la consommation des appareils de bureautique des locaux de bureaux entre périodes d'occupation et d'inoccupation

IV.3.3 Consommation de la bureautique par local

On a vu que la consommation moyenne de la bureautique par personne était à l'INEED de 170,9 kWh/an. Mais il existe des différences importantes d'une entité à l'autre. Il nous a semblé intéressant de les analyser.

La figure 4.40 représente la consommation par personne dans l'ensemble des bureaux : elle vaut en moyenne 152 kWh/an/personne (à l'exclusion des bureaux dans lesquels les appareils de mesure ont été retirés). Mais, d'un bureau à l'autre, les consommations varient de 396 kWh/an/personne à 23 kWh/an/personne (si l'on excepte la consommation des bureaux dont les appareils ont été débranchés

avant la fin de la campagne de mesures), soit un facteur de 1 à 17. Ces chiffres sont à manipuler avec une grande précaution car la présence des occupants varie beaucoup d'une structure à l'autre.

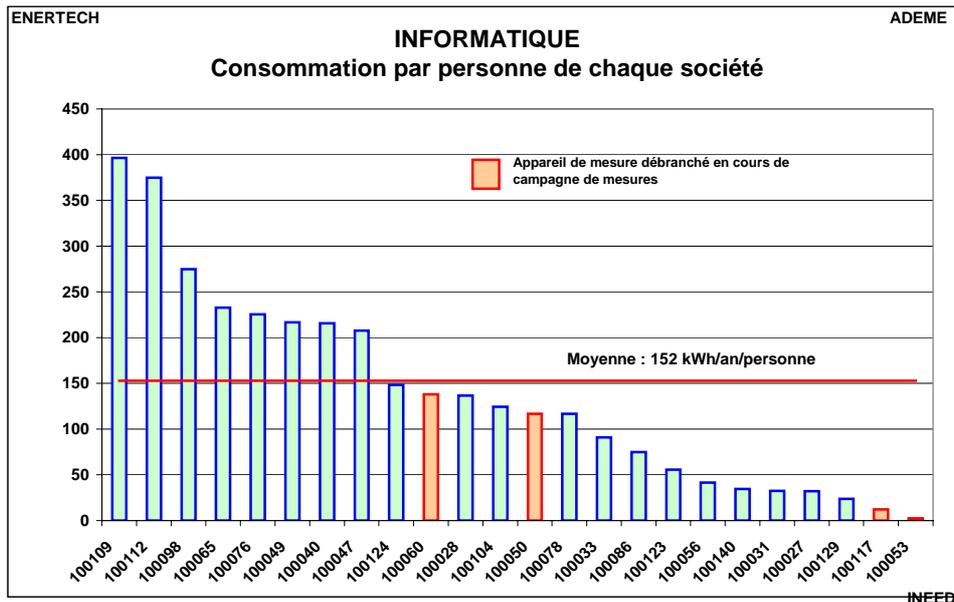


Figure 4.40 : Consommation de la bureautique par personne et par société

La figure 4.41 représente la structure des consommations de bureautique par type d'appareils. Les composantes du poste de travail (ordinateurs et écrans) ont été suivis par un seul mesureur, si bien qu'il n'est pas possible de distinguer la consommation de l'écran de celle de l'unité centrale.

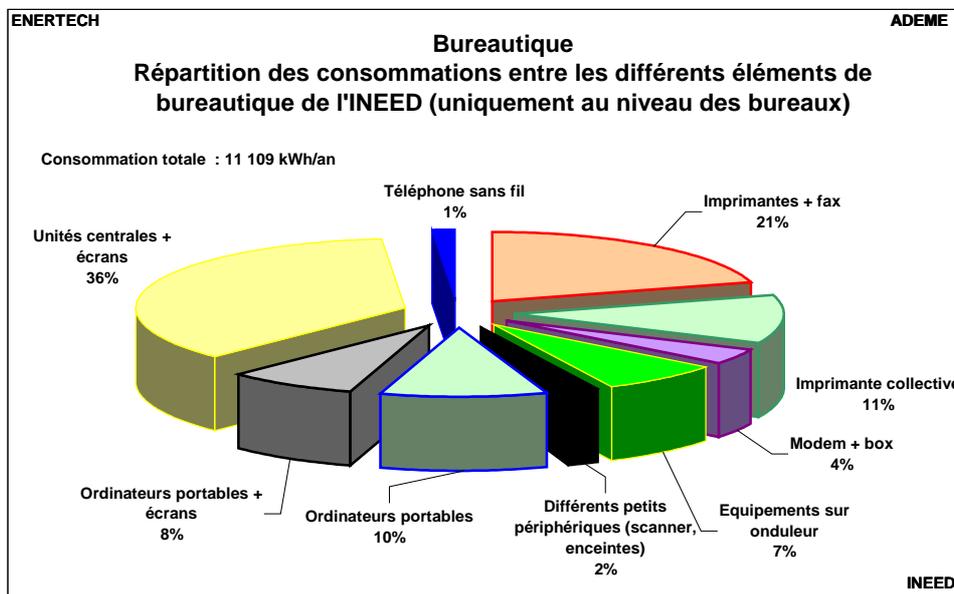


Figure 4.41 : Structure de la consommation de bureautique par type d'appareils

On observe que :

1 - L'appareil représentant la part la plus importante est l'ensemble « unité centrale et son écran » avec 36 % de la consommation totale de la bureautique (4.000 kWh/an),

2 – Curieusement, ce sont ensuite les imprimantes + fax avec 21 % (2296 kWh/an). Ces appareils sont probablement très consommateurs parce qu'ils ne sont pratiquement jamais éteints, et que c'est même souvent là une recommandation (au demeurant incompréhensible...) des revendeurs. Mais comme pour n'importe quel ordinateur, tous les périphériques, et notamment les imprimantes et les fax, peuvent

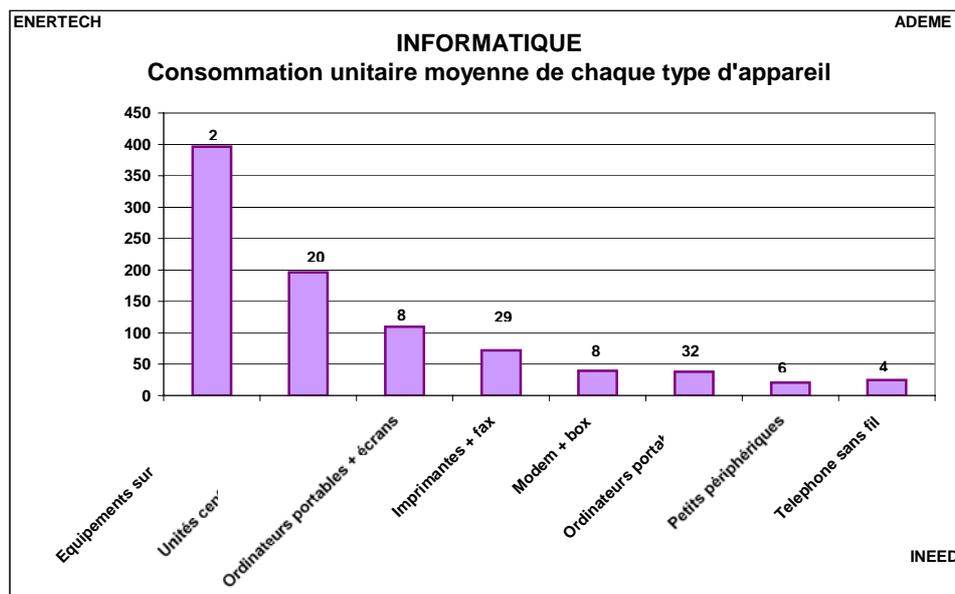
être arrêtés lors ce qu'on ne les utilise pas, notamment les nuits et les week-ends ou même en cours de journée,

3 - Les ordinateurs portables ne représentent que 10 % de la consommation totale alors qu'ils sont nombreux dans le bâtiment. C'est bien la preuve de leurs qualités intrinsèques de très faibles consommateurs d'énergie,

4 - Le poste baptisé « Equipements sur onduleur » concerne deux onduleurs installés dans un des bureaux pour alimenter 2 ordinateurs, une imprimante et divers périphériques. A lui seul il absorbe 7 % de la consommation totale du poste bureautique. On a là une signature classique des onduleurs qui sont de très gros consommateurs d'énergie, généralement très surdimensionnés, et travaillant dès lors avec une efficacité énergétique extrêmement réduite. Lors de la conception de l'INEED, nous avons fait le choix de supprimer l'ensemble des réseaux ondulés ainsi que des onduleurs individuels, et nous avons recommandé de travailler avec des ordinateurs portables ce qui permettait de répondre malgré tout aux besoins de sécurité face aux coupures de courant. Le cas de ce bureau, qui est un des rares à utiliser des onduleurs, montre que la stratégie que nous avons adoptée était la bonne. **Il faut recommander à tous les concepteurs d'éviter autant que faire se peut l'usage d'onduleurs dans les bureaux. Cela conduit toujours à des consommations d'électricité très importantes et inutiles.**

Les informations qui précèdent concernent les parcs de matériels, ce qui signifie qu'elles agrègent le taux d'équipement de chaque matériel et sa consommation élémentaire moyenne.

La figure 4.42 représente la consommation moyenne de chaque type d'appareil de bureautique. Seuls les appareils ayant pu être suivis pendant une année complète ont été pris en compte.



N.B. : les valeurs sur chaque barre indiquent le nombre d'éléments de chaque échantillon

Figure 4.42 : Consommation unitaire des différents appareils de bureautique

Le nombre indiqué sur chaque « barre » correspond au nombre d'éléments de l'échantillon.

Ce qu'il faut retenir de ce graphique :

1 - Les ordinateurs sur onduleur sont les plus gros consommateurs. Voir ce qui précède....
 2 - Avec 196 kWh/an, les solutions d'unité centrale avec écran sont également des solutions très consommatrices. Ce n'est pas une surprise, mais une confirmation.

3 - A contrario, avec 38 kWh/an, les ordinateurs portables apparaissent comme la meilleure solution. Avec un fonctionnement optimisé fondé sur un paramétrage très « court » du gestionnaire d'énergie, et avec un arrêt de l'alimentation (interrupteur) à chaque fois que l'utilisateur quitte son bureau, la consommation d'un portable peut être inférieure à 20 kWh/an. Ce sont des solutions à encourager à tout prix. Toutefois, avec 109 kWh/an, la solution de l'ordinateur portable associé à un écran est à éviter car elle réduit considérablement l'intérêt du portable.

4 – Enfin, les machines de type imprimante + fax apparaissent bien comme de très gros consommateurs, sans que cela se justifie vraiment : il existe d'autres solutions rendant le même service en consommant beaucoup moins d'énergie. Quand on songe qu'avec 71 kWh/an ces machines consomment presque le double des ordinateurs portables, on réalise qu'il y a une vraie anomalie qu'on espère vite voir corrigée par les constructeurs.

IV.3.4 Etude des ordinateurs portables

IV.3.4.1 Description de l'usage

La figure 4.43 représente la consommation annuelle des ordinateurs portables suivis et utilisés (c'est à dire dont la consommation annuelle n'a pas été nulle). Elle est en moyenne de **37,8 kWh/an**.

Cette consommation varie dans une plage de 1 à 14 avec un maximum de 138 kWh/an et un minimum de 10 kWh/an.

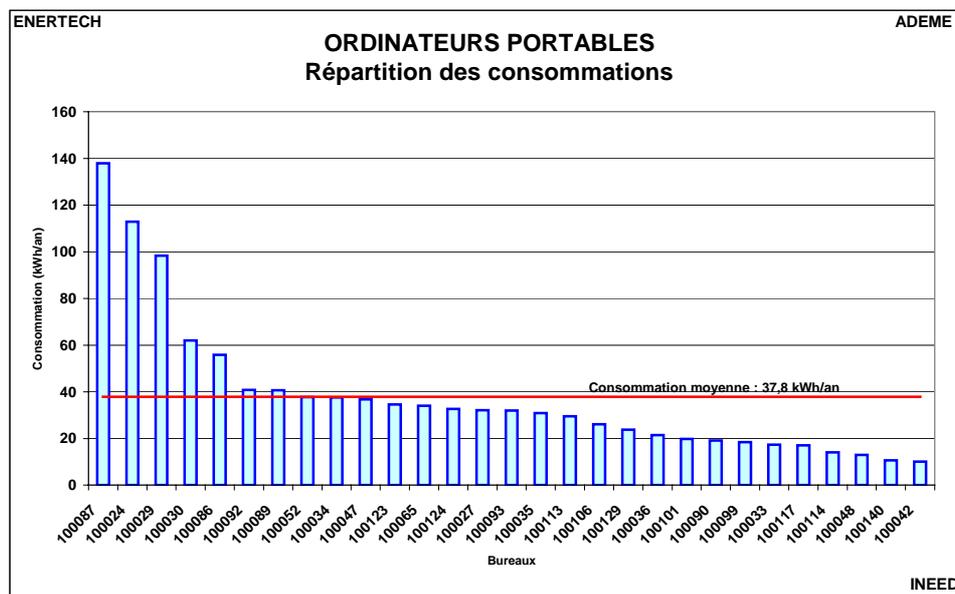


Figure 4.43 : Consommation des ordinateurs portables

On note aussi que la consommation moyenne des 5 ordinateurs les plus consommateurs est de 94 kWh/an et qu'à eux cinq, ils représentent 43% de la consommation de tous les portables du bâtiment. A contrario, la consommation moyenne de tous les autres ordinateurs n'est que de 26 kWh/an, soit une valeur finalement très proche des 20 kWh/an dont nous parlions précédemment.

La figure 4.44 représente la part du temps annuel (en %) pendant lequel chaque ordinateur est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille. Toutefois, l'état de « marche » ne signifie pas que l'ordinateur est utilisé, mais seulement qu'il absorbe sa puissance nominale. Nous n'avons pas analysé l'usage, mais seulement la consommation des appareils. Ces durées ont été calculées sans prendre en compte les machines qui n'ont jamais été allumées au cours de l'année.

Les durées annuelles moyennes sont :

- arrêt : 4.778 h/an,
- veille : 2 700 h/an
- marche (avec ou sans utilisation) : 1 282 h/an.

Ces valeurs traduisent que la majorité des machines utilisent un gestionnaire d'énergie (généralement Energy Star) qui est correctement configuré, même si, au regard des campagnes déjà effectuées, une optimisation pourrait encore réduire sensiblement le temps de marche pour le rapprocher du temps moyen d'utilisation observé sur d'autres sites (3h/j, soit 675 h/an). Mais elles traduisent aussi

une négligence récurrente, **celle de ne pas couper l'alimentation de la machine après l'avoir arrêtée le soir**. Ceci se traduit par temps de veille important. L'arrêt de l'alimentation ne semble pratiquer que le WE, les jours fériés et les jours de vacances. Il y a donc là d'importantes améliorations potentielles. Mais elles reposent sur des changements de comportement.

A titre anecdotique, la durée maximale de marche observée est de 4 500 heures/an (il s'agit du portable qui a la consommation la plus élevée). Pour quelqu'un travaillant 225 j/an, cela ferait 20h/j.....

La part de la consommation de veille sur la consommation totale des ordinateurs portables est de 10 % soit environ 3,6 kWh/an. Cette consommation doit être considérée comme totalement inutile.

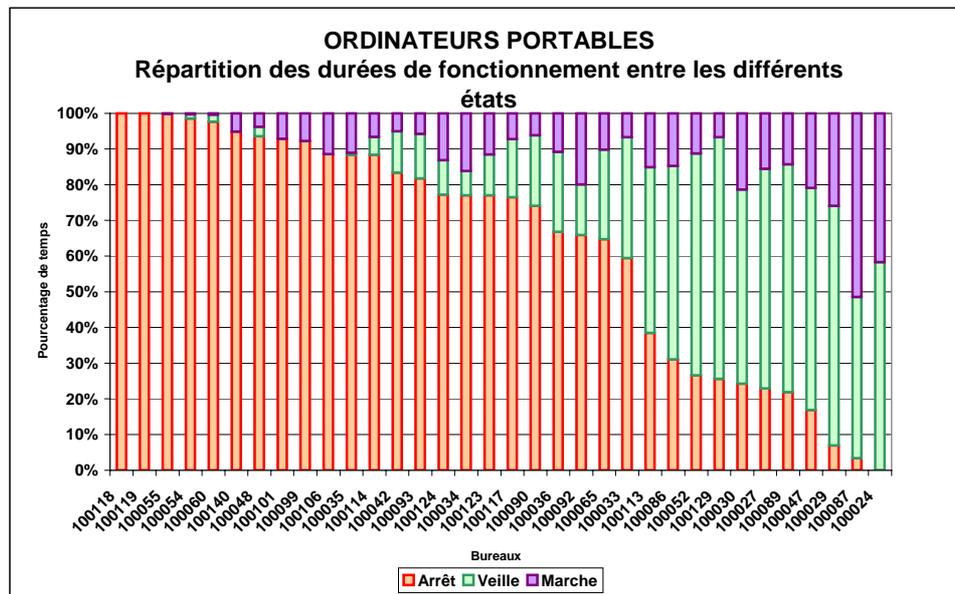


Figure 4.44 : Part du temps annuel pendant lequel chaque ordinateur est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille

Les figures 4.45 et 4.46 représentent respectivement les puissances observées en état de « marche » et en état de « veille » pour les ordinateurs portables étudiés. On observe que :

1 - la puissance appelée en état de « marche » par les portables suivis varie de 61 W à 20 W, soit un rapport de 1 à 3. Il est donc impératif, lors de l'achat d'un portable, de bien s'assurer de la puissance de la machine. Car les différences de puissance correspondent rarement à des différences de performance. La plus petite puissance donne souvent les mêmes résultats que les puissances plus élevées. En revanche, l'impact de la diagonale de l'écran est déterminant sur la consommation des portables.

2 - La puissance moyenne appelée en fonctionnement est de 29,1 W.

3 - Curieusement, la machine qui a la consommation de marche la plus faible est aussi celle qui a la consommation en veille la plus élevée.

4 - Les consommations de veille varie de 0,6 à 3,0 W, soit une plage de 1 à 5.

5 - En moyenne, la consommation de veille des portables étudiés est de 1,1 W. Une machine fonctionnant 4h/j et laissée en permanence en veille consommerait donc en moyenne 8,5 kWh/an. Si on vise une consommation annuelle globale du portable de 20 kWh/an, il est certain que la veille n'est plus du tout acceptable ni possible....

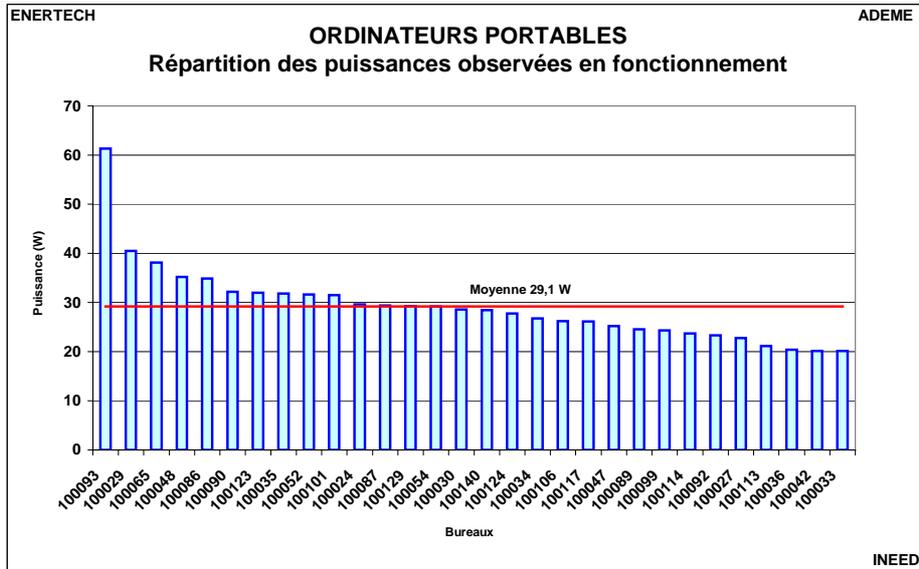


Figure 4.45 : Puissance en mode « marche » des ordinateurs portables

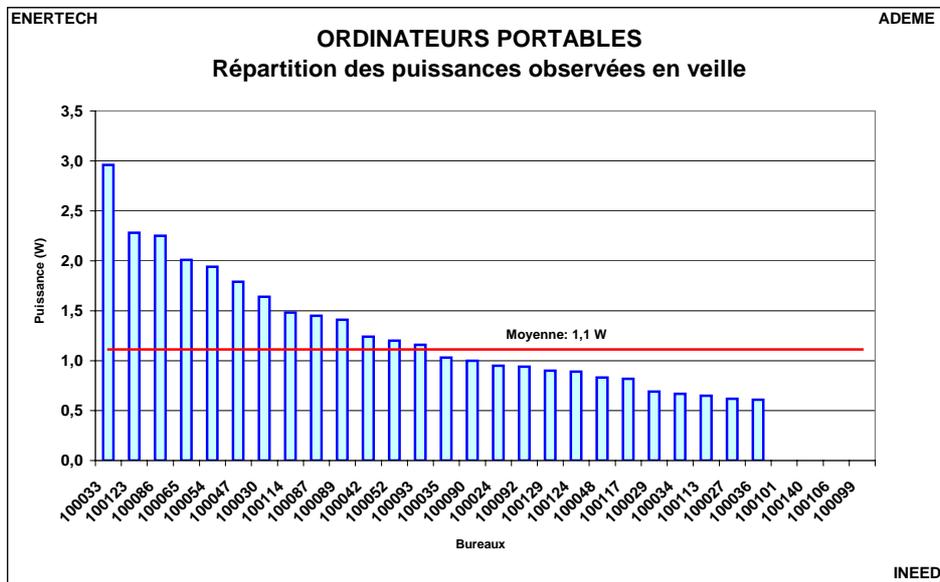


Figure 4.46 : Puissance en mode « veille » des ordinateurs portables

IV.3.4.2 Economies réalisables

Les graphiques qui précèdent montrent que 9,3 % de la consommation des ordinateurs portables, soit **102 kWh/an** à l'échelle du bâtiment, peut être économisé simplement en supprimant intégralement les veilles à l'aide d'une barrette multiprise équipée d'un interrupteur, ou en débranchant l'appareil lorsqu'il n'est pas utilisé.

IV.3.5 Etude des ordinateurs portables avec écrans supplémentaires

IV.3.5.1 Description de l'usage

La consommation moyenne des ordinateurs munis d'un écran extérieur est de **109 kWh/an** soit une consommation 2,5 fois supérieure à celle des ordinateurs portables seuls.

Les valeurs extrêmes de consommation sont de 193 kWh/an et de 72 kWh/an, soit une plage de 1 à 2,7. Il est probable que cet écart est essentiellement dû aux différences de taille des écrans ajoutés.

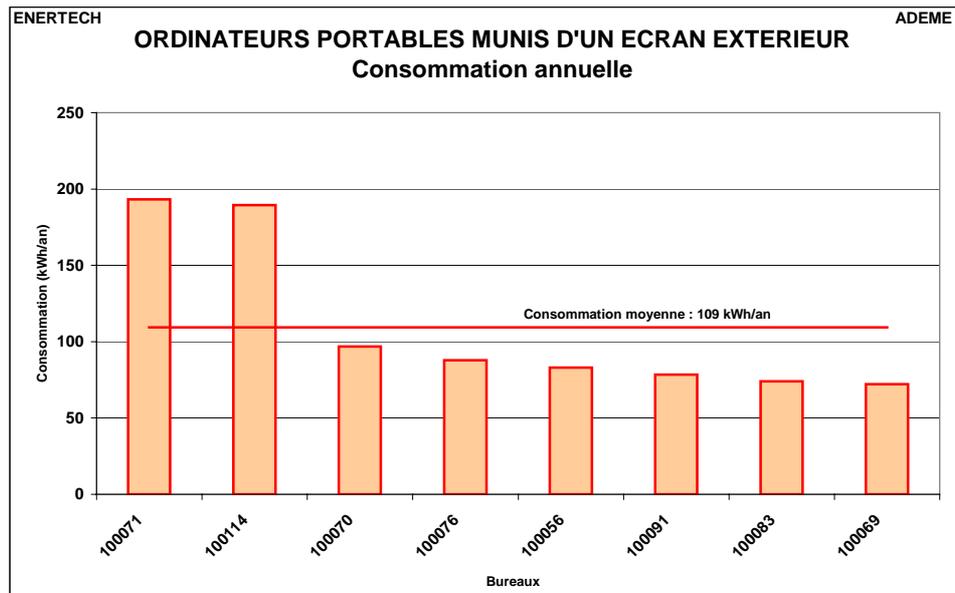


Figure 4.47 : Consommation annuelle des ordinateurs portables munis d'un écran extérieur

La figure 4.48 représente la part du temps annuel (en %) pendant lequel chaque ordinateur portable associé à un écran extérieur est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille. Avec les mêmes réserves que précédemment sur la notion d'état de « marche »... Ces durées ont été calculées sans prendre en compte les postes qui n'ont jamais été utilisés.

Les durées annuelles moyennes sont :

- arrêt : 1.773 h/an,
- veille : 4.708 h/an
- marche (avec ou sans utilisation) : 2 278 h/an.

Ces valeurs sont surprenantes car elles traduisent un mode de fonctionnement peu en phase avec les objectifs du bâtiment. Il s'agit d'un mode de fonctionnement « conventionnel », comme nous l'avons déjà souvent observé. En effet, les machines ne sont pratiquement jamais à l'arrêt (1773 h/an sur les 8760 que compte une année). Et ceci est le choix des utilisateurs, car rares sont ceux dont les machines sont obligées de fonctionner jour et nuit.

On sait aussi que, même une personne travaillant énormément, ne peut utiliser 2200 h/an son ordinateur (et il s'agit là de moyenne). L'activité n'est pas uniquement organisée autour de l'ordinateur. On peut donc en conclure que le gestionnaire d'énergie des machines suivies dans cet échantillon particulier a été désactivé, et que seules les commandes de marche ou d'arrêt sont celles envoyées par l'utilisateur lui-même.

Ce mode de fonctionnement devrait pouvoir être amélioré dans le futur. Mais il s'agit de changements de comportement, et il n'est jamais certain que les usagers acceptent de modifier leurs habitudes, même lorsqu'elles leur coûtent cher ou même lorsqu'elles sont peu favorables à l'avenir de la planète....

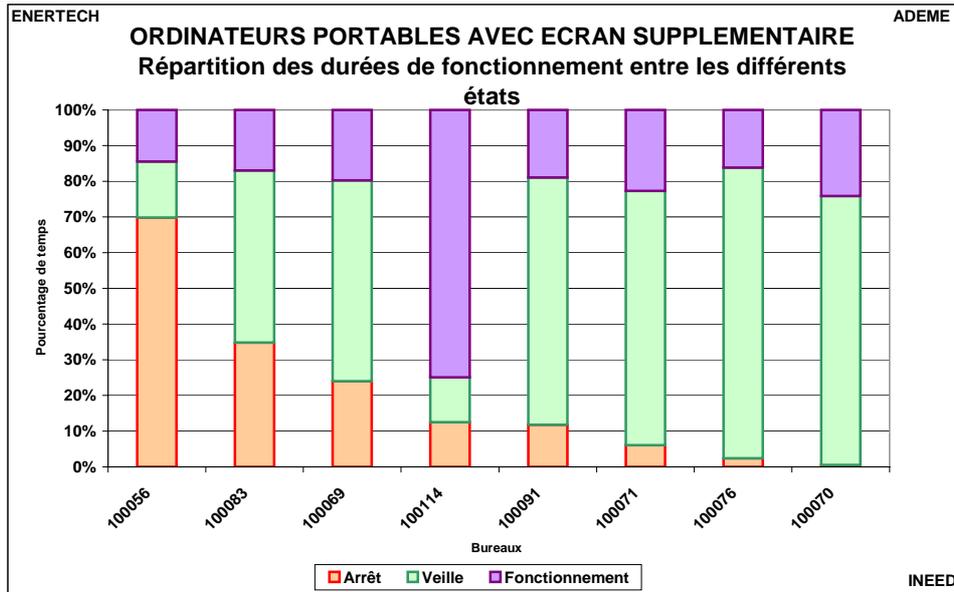


Figure 4.48 : Part du temps annuel pendant lequel chaque portable associé à un écran extérieur est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille

Les figures 4.49 et 4.50 représentent les puissances observées respectivement en fonctionnement et en veille sur les ordinateurs portables avec écran additionnel.

La puissance moyenne en mode « marche » est de 52,6 W (contre 29,1 W pour les portables), la puissance maximale de 89 W et la puissance minimale de 28 W.

La puissance moyenne en veille est de 2,9 W (contre 1,1 pour les portables), mais ces puissances peuvent varier dans une plage de 1 à 10.

Bien que la consommation des écrans, à technologie identique, augmente avec leur taille, on n'observe pas cette règle de façon systématique car d'un fabricant à l'autre il peut exister d'importantes différences de consommation à diagonale égale.

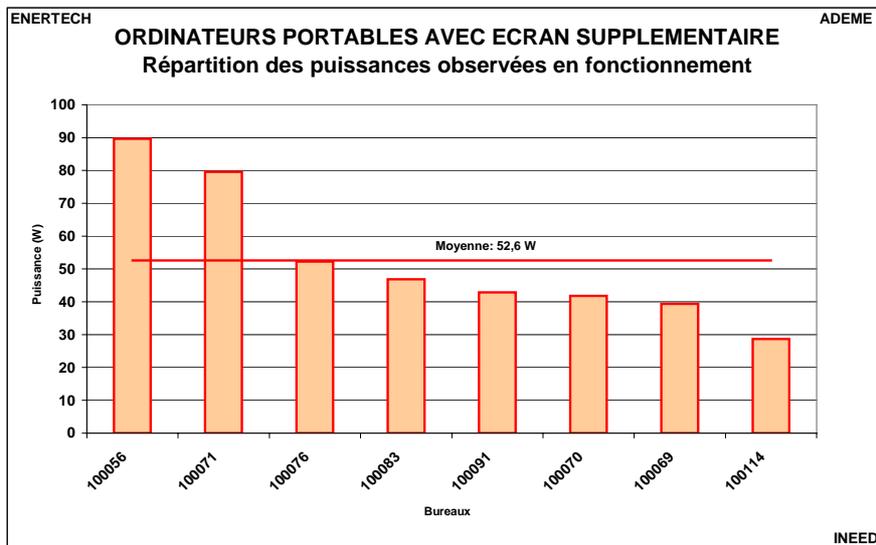


Figure 4.49 : Puissance en mode « marche » des ordinateurs portables avec écran extérieur

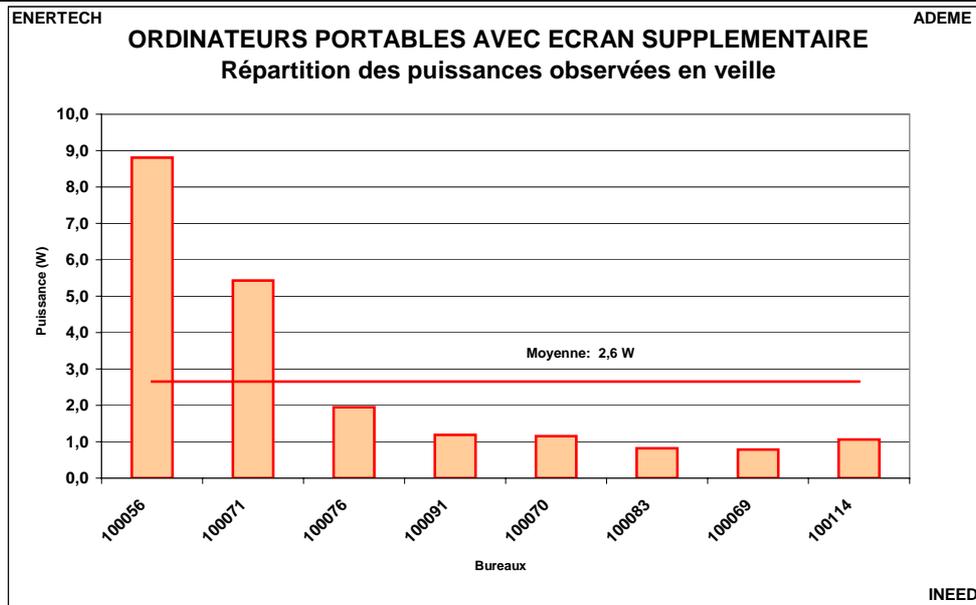


Figure 4.50 : Puissance en mode « veille » des ordinateurs portables avec écran extérieur

IV.3.5.2 Economies réalisables

Les graphiques qui précèdent montrent que 9,1 % de la consommation des ordinateurs portables associés à un écran, soit **80 kWh/an** à l'échelle du bâtiment, peut être économisé simplement en supprimant intégralement les veilles à l'aide d'une barrette multiprise équipée d'un interrupteur, ou en débranchant l'appareil lorsqu'il n'est pas utilisé.

IV.3.6 Etude des ordinateurs fixes

IV.3.6.1 Description de l'usage

La consommation des ordinateurs fixes est en moyenne de **196 kWh/an**. Ce résultat est proche d'autres campagnes de mesure (moyenne entre 230 et 255 kWh/an). Les consommations varient de 850 à 67 kWh/an, soit une plage de 1 à 12,6.

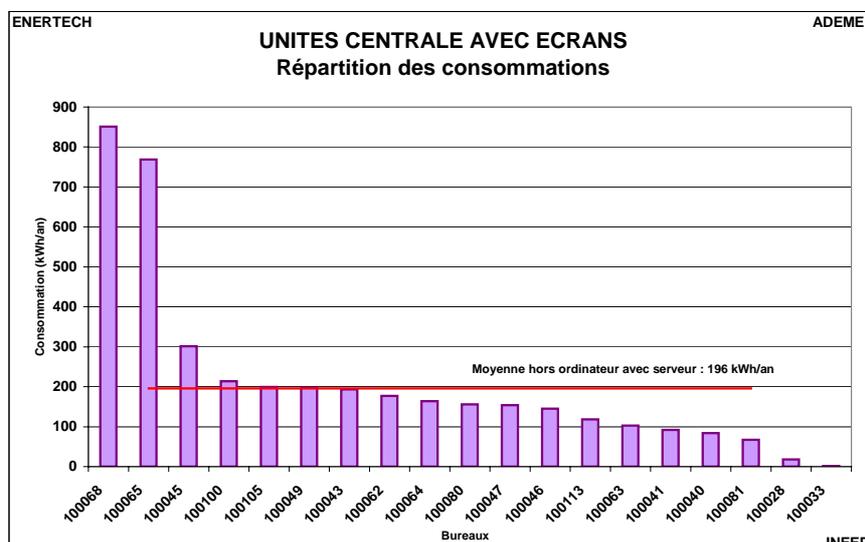


Figure 4.51 : Consommation annuelle des ordinateurs + écrans fixes

La figure 4.52 représente la part du temps annuel (en %) pendant lequel chaque ensemble fixe ordinateur + écran est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille. Avec les mêmes réserves que précédemment sur la notion d'état de « marche »... Ces durées ont été calculées sans prendre en compte les machines qui n'ont jamais été utilisées.

Les durées annuelles moyennes sont :

- arrêt : 1.321 h/an,
- veille : 5.912 h/an
- marche (avec ou sans utilisation) : 1.526 h/an.

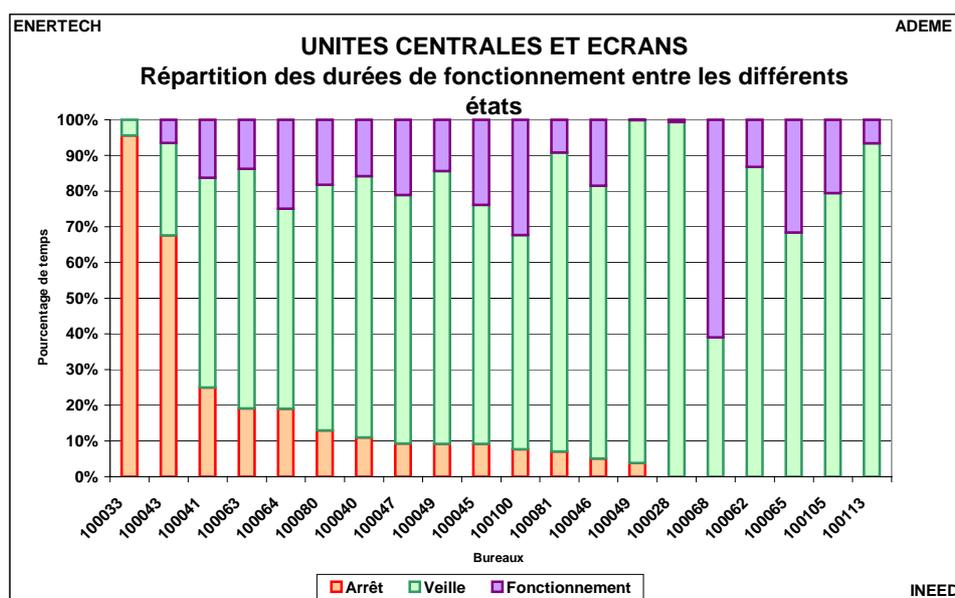


Figure 4.52 : Part du temps annuel pendant lequel chaque ensemble fixe unité centrale + écran est soit en marche, soit à l'arrêt, soit en veille

Les figures 4.53 et 4.54 représentent les puissances observées respectivement en fonctionnement et en veille sur les ordinateurs + écrans fixes.

La puissance moyenne en mode « marche » est de 92,8 W (contre 29,1 W pour les portables), la puissance maximale de 215 W et la puissance minimale de 25 W.

La puissance moyenne en veille est de 8,1 W (contre 1,1 pour les portables), mais ces puissances peuvent varier dans une plage de 1 à 54 W, ce qui prouve **qu'il faut être très vigilant sur ce point là lors de l'achat d'une machine.**

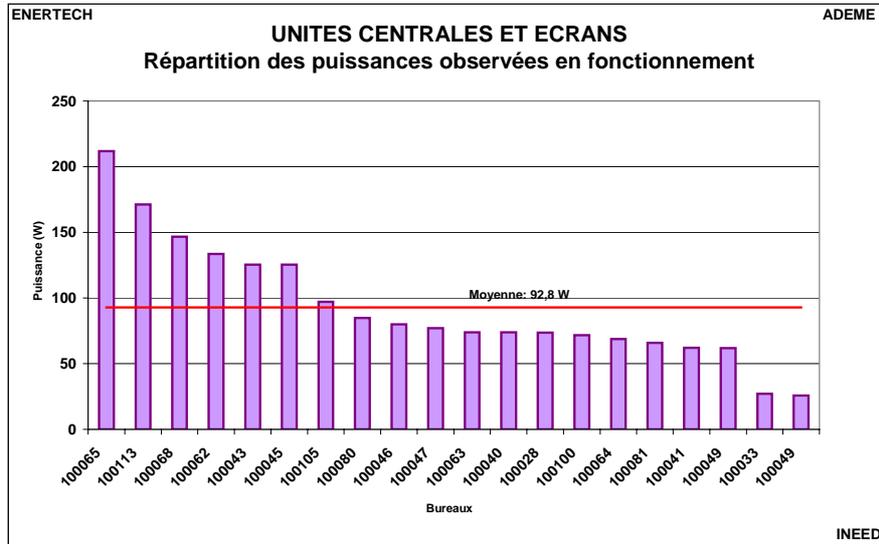


Figure 4.53 : Puissance en mode « marche » des ensembles fixes unité centrale + écran

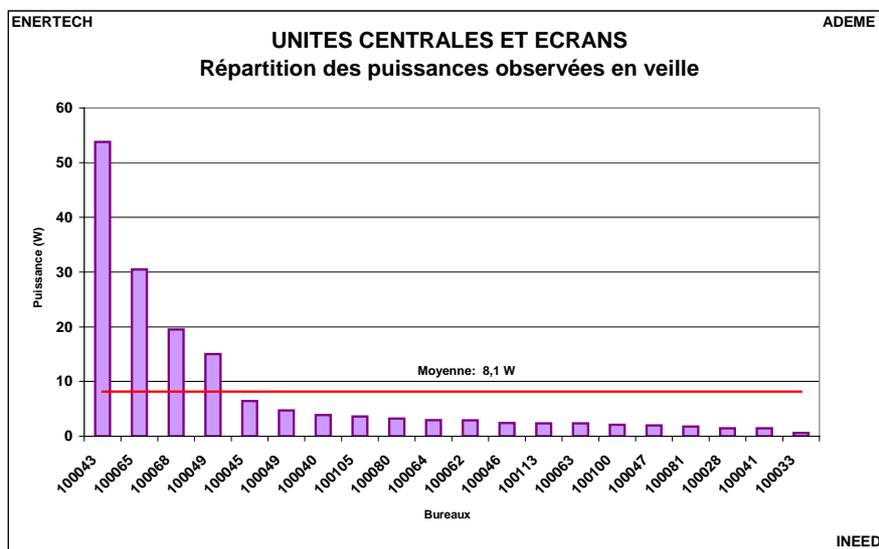


Figure 4.54 : Puissance en mode « veille » des ensembles fixes unité centrale + écran

IV.3.6.2 Economies réalisables

Les graphiques qui précèdent montrent que 24 % de la consommation des unités centrales + écrans fixes, soit **942 kWh/an** à l'échelle du bâtiment, peut être économisé simplement en supprimant intégralement les veilles à l'aide d'une barrette multiprise équipée d'un interrupteur, ou en débranchant l'appareil lorsqu'il n'est pas utilisé.

IV.3.7 Etude des imprimantes

IV.3.7.1 Description de l'usage

Lors de la campagne de mesure, les imprimantes avaient été suivies séparément du reste des appareils du poste informatique. Seuls 3 fax ont été suivis en même temps. Leur influence sur les consommations moyennes est donc faible.

La consommation moyenne des imprimantes est de **71,5 kWh/an** (en excluant les imprimantes ayant fonctionné moins d'une heure dans l'année) avec un maximum de 180 kWh/an et un minimum de 10,8 kWh/an.

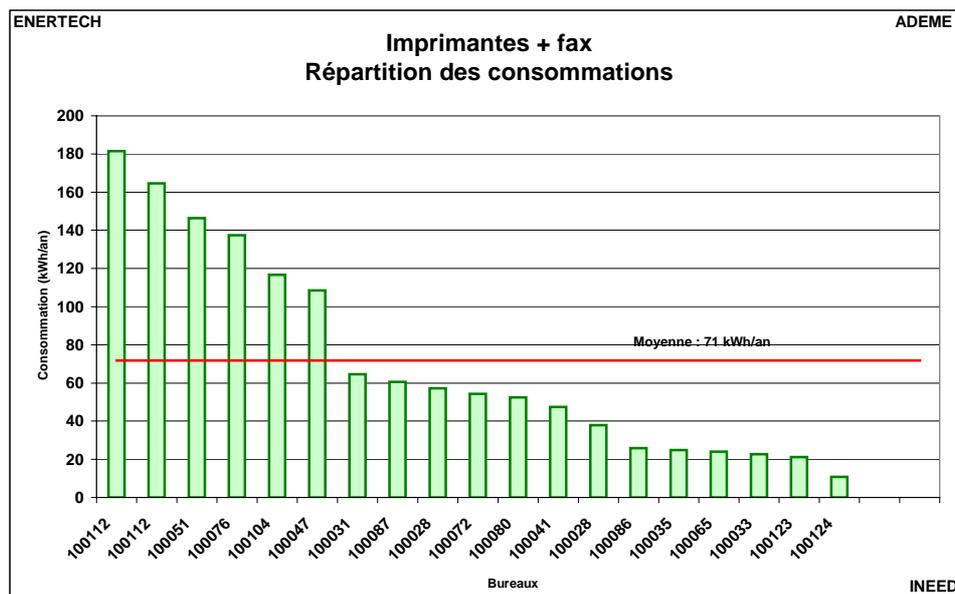


Figure 4.55 : Consommation annuelle des imprimantes

IV.3.7.2 Economies réalisables

De nombreuses économies sont possibles en arrêtant les imprimantes lorsqu'on n'en a pas besoin. Nous avons considéré que la source minimale d'économie était l'arrêt des imprimantes en période d'inoccupation. Cette part est de 51 % de la consommation totale des machines ! Il s'agit donc d'économies potentielles facilement concrétisables en supprimant l'alimentation à l'aide d'une barrette multiprise ou en débranchant simplement l'appareil.

IV.3.8 Etude de l'imprimante collective

IV.3.8.1 Description de l'usage

La consommation de l'imprimante collective est de **1 238 kWh/an** et sa puissance de 120 W. Mais 58% de sa consommation a lieu en dehors de la période d'occupation et 67% en état de « veille ». Voilà encore l'exemple d'un appareil très mal utilisé, très mal piloté, mais aussi très mal conçu. **Il n'est plus normal qu'une machine consomme autant d'énergie à ne rien faire, et les constructeurs devraient concevoir des appareils permettant de palier les déficits des utilisateurs** (qui n'arrêtent en moyenne pas leurs appareils...).

IV.3.8.2 Economies réalisables

Avec une autre imprimante mieux optimisée (en terme d'économie d'énergie) dont la veille serait très faible et qui permettrait un lancement rapide des impressions (sans lancement rapide, les utilisateurs n'éteignent pas l'imprimante), l'économie réalisable serait de 67 % (consommation en veille) soit **826 kWh/an**.

IV.3.9 Etude de la salle informatique

IV.3.9.1 Description de l'usage

La salle informatique (qui a une vocation pédagogique) est composée de 12 unités centrales munies de leurs écrans ainsi que d'un traceur et d'un serveur. La consommation totale de la salle informatique est de **1.814 kWh/an**, mais 51% de cette consommation a lieu en dehors des heures d'occupation. La part du serveur est d'un tiers et celle des ordinateurs de 62%.

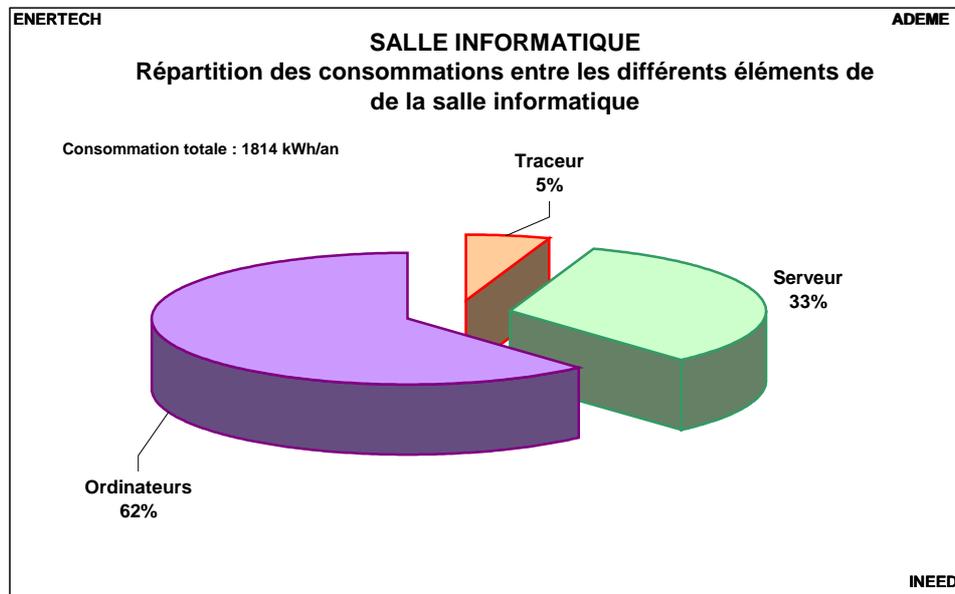


Figure 4.55 : Structure de la consommation des équipements de la salle informatique

IV.3.9.2 Economies réalisables

On a considéré que l'ensemble de la consommation de cette salle en dehors de l'occupation du bâtiment (51 % de la consommation de ce poste) était une économie potentielle. L'énergie économisable est ainsi de **921 kWh/an**. Il suffirait de couper l'alimentation de tous les appareils lorsqu'on a fini de les utiliser....

IV.3.10 Les baies de brassage informatique et téléphonique

IV.3.10.1 Description de l'usage

Avec une consommation de **2.711 kWh/an**, soit **1,3 kWh/m²_{SU}/an** (surface des bureaux uniquement), elles représentent 4% de la consommation d'électricité du bâtiment (hors atelier). La puissance des baies est constante et vaut **312 W**. On a remarqué une très légère augmentation de la consommation le 09/01/2009 à 15h00 faisant passer de manière inexplicable la puissance appelée de 296 à 312W. Enfin, **67% de la consommation a lieu en dehors des périodes d'occupation du bâtiment....**

IV.3.10.2 Economies réalisables

Tout comme pour la salle informatique on peut considérer que l'ensemble de la consommation ayant lieu en dehors de la période d'occupation du bâtiment pourrait être économisée en installant des serveurs qui seraient arrêtés au delà d'une certaine heure.

L'économie envisageable est de **1 807 kWh/an** (67% de la consommation de l'usage).

IV.3.11 Le serveur internet de l'INEED

Le serveur de l'INEED comprend un ordinateur avec écran alimentés par un onduleur. Sa consommation est de **1 720 kWh/an (soit 0,66 kWh/m²_{SU}/an)** soit 2,5 % de la consommation du bâtiment. Ajoutée à la consommation des baies (paragraphe précédent), la consommation de ces deux usages représente 6,5% de la consommation du bâtiment (hors atelier).

IV.4 ETUDE DE LA CHAUFFERIE

Les principaux usages électriques alimentés à partir de l'armoire de la chaufferie sont :

- La chaudière (Varino de Guillot à brûleur atmosphérique – Puissance : 160 kW)
- Pompe circuit radiateurs façade nord
- Pompe circuit radiateurs façade sud
- Pompe circuit préchauffage CTA bureaux
- Pompe circuit CTA conférence
- Pompe circuit CTA exposition
- Les moteurs de la centrale de ventilation de la salle d'exposition
- L'arrosage automatique
- L'adoucisseur
- La régulation

Ce qui suit n'inclut pas la CTA de la salle d'exposition traitée à part au § IV.5.3.

IV.4.1 Consommation globale des usages en chaufferie

La consommation annuelle d'électricité de la chaufferie est de **3.192 kWh/an** (hors CTA d'exposition). Cette consommation inclut le chauffage de l'atelier, si bien que la consommation par unité surfacique est de **1,10 kWh/an/m²_{SU}**.

La figure 4.56 représente la structure des consommations d'électricité en chaufferie. Les pompes absorbent près de 80 % du total. La pompe du réseau nord consomme deux fois plus (1341 kWh/an) que celle du réseau sud (653 kWh/an). Celles alimentant les batteries chaudes des différentes CTA ont des consommations relativement faibles car elles sont fréquemment arrêtées (pas d'utilité). La chaudière consomme 397 kWh/an, correspondant à 0,14 kWh/an/m²_{SU} (soit 12% de la consommation de la consommation d'électricité de la chaufferie).

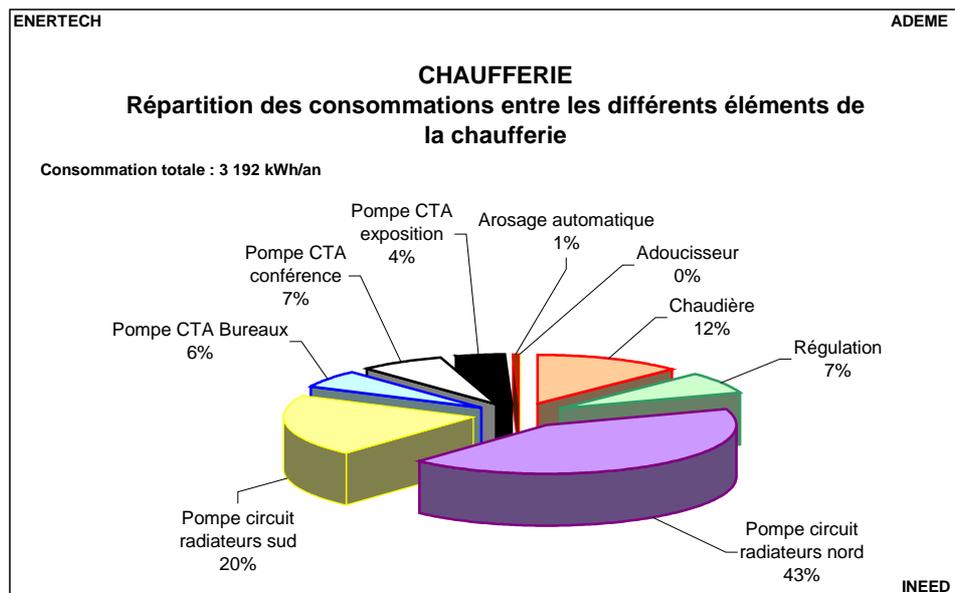


Figure 4.56 : Structure de la consommation d'électricité en chaufferie

Les figures 4.57 et 4.58 représentent respectivement, pour les jours ouvrés et non ouvrés, les consommations et les courbes de charges moyennes journalières à l'échelle de la semaine pour les usages en chaufferie.

La consommation de veille de la chaufferie (en dehors de la période de chauffage) est de 142 kWh/an soit une puissance continue d'environ 40 W, ce qui représente 4,4 % de la consommation totale de la chaufferie.

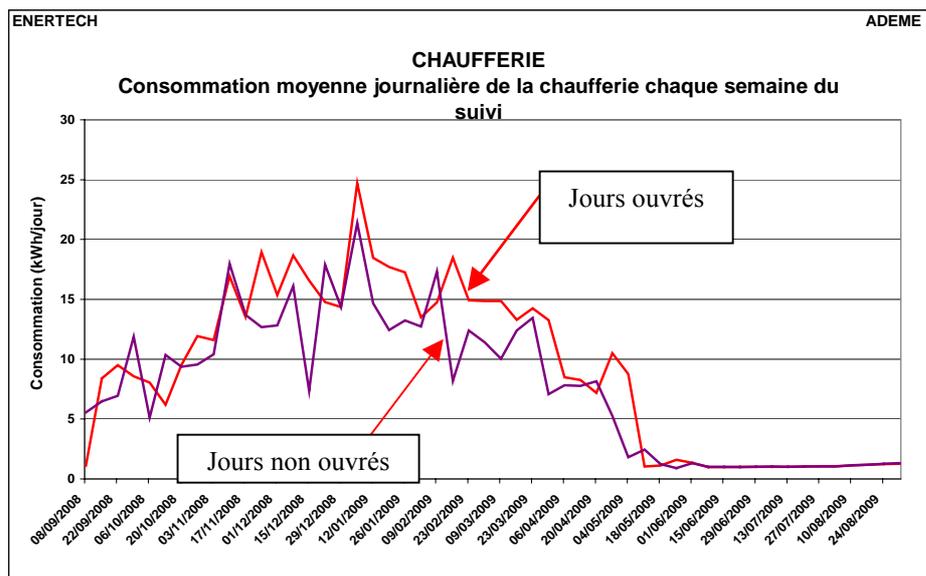


Figure 4.57 : Consommation journalière d'électricité (en moyenne hebdomadaire) en chaufferie au cours de la saison de chauffage

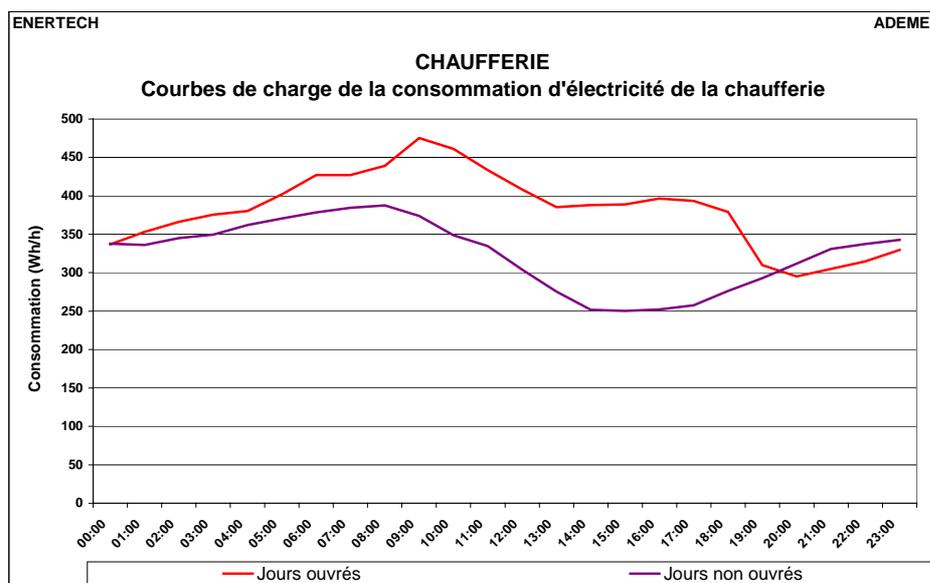


Figure 4.58 : Courbe de charge moyenne journalière des usages électriques en chaufferie

IV.4.2 La chaudière et la régulation

IV.4.2.1 Description de l'usage

La production de chaleur est réalisée par une chaudière unique (Varino de GUILLOT), dont la puissance thermique est de 150 kW.

Sa consommation électrique annuelle est de **397 kWh/an**. Mais à l'arrêt du brûleur cette chaudière consomme encore environ 24 W, alors que sa puissance nominale en fonctionnement n'a jamais dépassée 162 W au cours de l'année. Ceci conduit à ce que 119 kWh/an, soit 30 % de la consommation de la chaudière, ait pour origine la consommation à l'arrêt. En effet, on n'a observé aucune mise hors tension

de la chaudière, même au cours de la saison estivale, alors que cette chaudière ne produit pas d'ECS. Certes, ce qui est baptisé « consommation à l'arrêt » comprend des fonctions de pilotage et de commande de la chaudière qui ne peuvent pas être supprimées, mais il est probable que cette consommation pourrait être minimisée si le constructeur le voulait. **Enfin, l'alimentation électrique de la chaudière devrait être arrêtée dès la fin de la saison de chauffe.**

La figure 4.59 représente la consommation électrique journalière de la chaudière en fonction de la température moyenne extérieure les jours ouvrés et non ouvrés. Il existe une relation très claire entre la consommation et la température extérieure. Cette loi est modifiée vers 18°C qui doit être la température (trop élevée...) à laquelle la fonction ECO doit être opérationnelle (arrêt des pompes de chauffage). Il ne subsiste plus alors que de la consommation de veille au-delà de cette température.

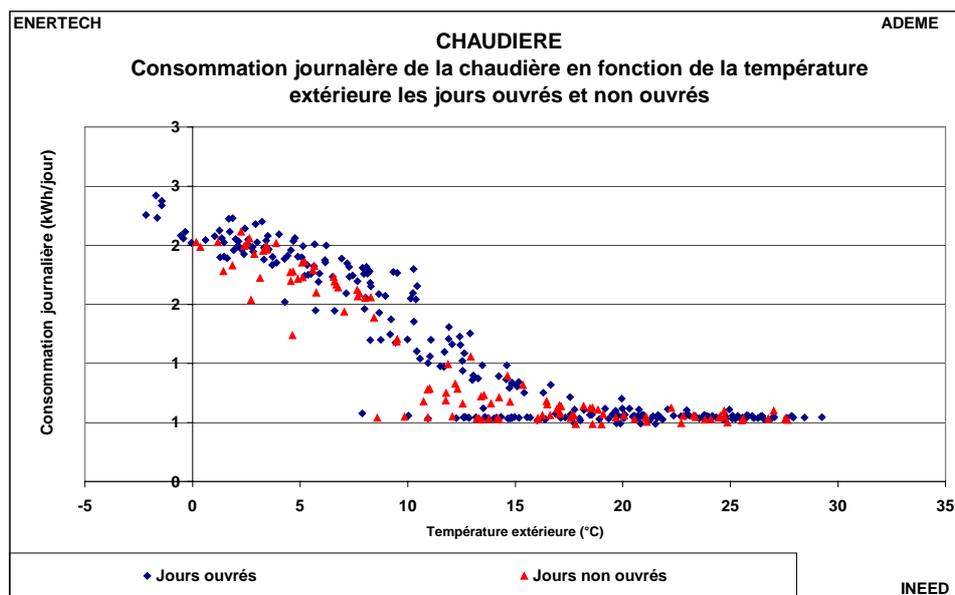


Figure 4.59 : Chaudière gaz : consommation électrique journalière en fonction de la température extérieure

La consommation de l'ensemble de la régulation en chaufferie est de **230 kWh/an**.

IV.4.2.2 Economies réalisables

La seule économie possible directement par l'exploitant est l'arrêt de la chaufferie en dehors de la saison de chauffage. L'économie serait alors de **105 kWh/an**.

IV.4.3 Récapitulatif sur la consommation des pompes

IV.4.3.1 Description de l'usage

La consommation totale des pompes du bâtiment est de 4 086 kWh/an, soit **1,4 kWh/m²_{STU}/an**. C'est la pompe de circulation d'eau glacée qui arrive en tête avec 1 540 kWh/an, puis la pompe de circulation des radiateurs du circuit nord (1 351 kWh/an) et la pompe de circulation sud (653 kWh/an). Les pompes des différentes CTA ne représentent au cumul que 13 % de la consommation des pompes.

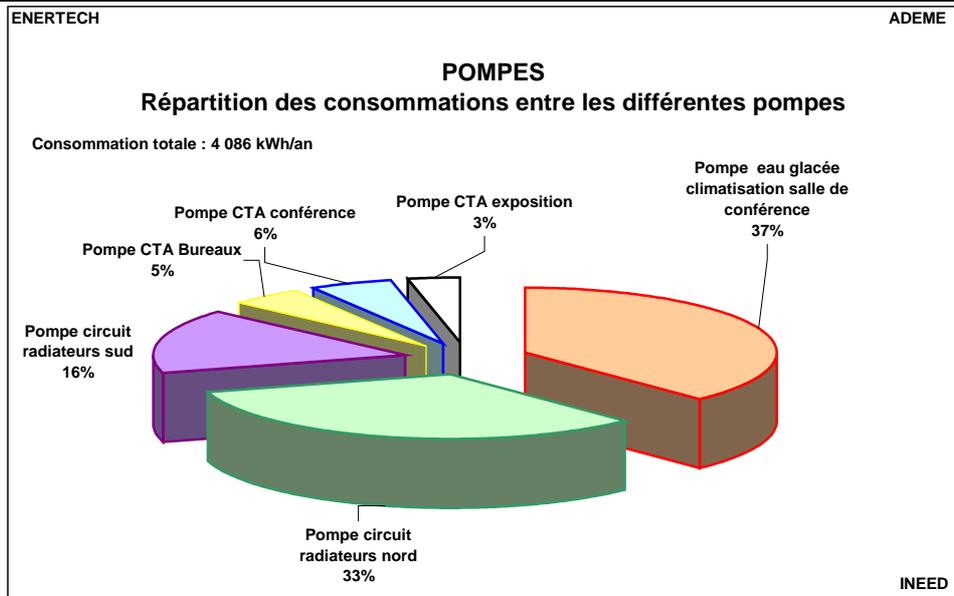


Figure 4.60 : Structure de la consommation des pompes

Principales caractéristiques des pompes (consommations et durées de fonctionnement) :

| Pompes | Durée de fonctionnement (h/an) | Puissance moyenne en fonctionnement (W) | Débit estimé maximum (m3/h) | Variation de vitesse | Consommation annuelle (kWh/an) | Economie réalisable (kWh/an) |
|---|--------------------------------|---|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Pompe climatisation salle de conférence | 1 640 | 938 | 6,25 | Non | 1543 | 1 509 (-98 %) |
| Pompe circuit radiateurs nord | 5000 | 267 | 4,09 | Oui | 1341 | 135 (-10%) |
| Pompe circuit radiateurs sud | | 129 | 1,44 | Oui | 653 | 77 (-12%) |
| Pompe CTA Bureaux | 2 000 | 93 | 1,25 | Non | 192 | 107 (-56 %) |
| Pompe CTA conférence | 960 | 234 | 4,13 | Non | 225 | 105 (-46%) |
| Pompe CTA exposition | 530 | 210 | 2,23 | Non | 132 | 85 (-65 %) |
| Somme | | | | | 4086 | 2 018 (-49%) |

La figure 4.61 représente la structure de la consommation de toutes les pompes alimentant des CTA, en fonction des modes de fonctionnement (présence, ralenti, etc...). On n'a pas inclus les consommations des pompes de circulation des circuits nord et sud car ces pompes ont un fonctionnement spécifique piloté par un optimiseur.

On observe un **dysfonctionnement majeur** : lorsqu'une pompe est en fonctionnement, c'est en principe pour envoyer de l'eau dans une batterie destinée à chauffer ou à refroidir, donc lorsque le ventilateur de la CTA est en marche. Or on observe que 76,2 % de la consommation totale des pompes de CTA a lieu alors que les CTA ne sont pas en fonctionnement ! Ces pompes ne servent donc à rien du tout et auraient dû être arrêtées. Cette forte proportion est en grande partie imputable à la pompe d'eau glacée.

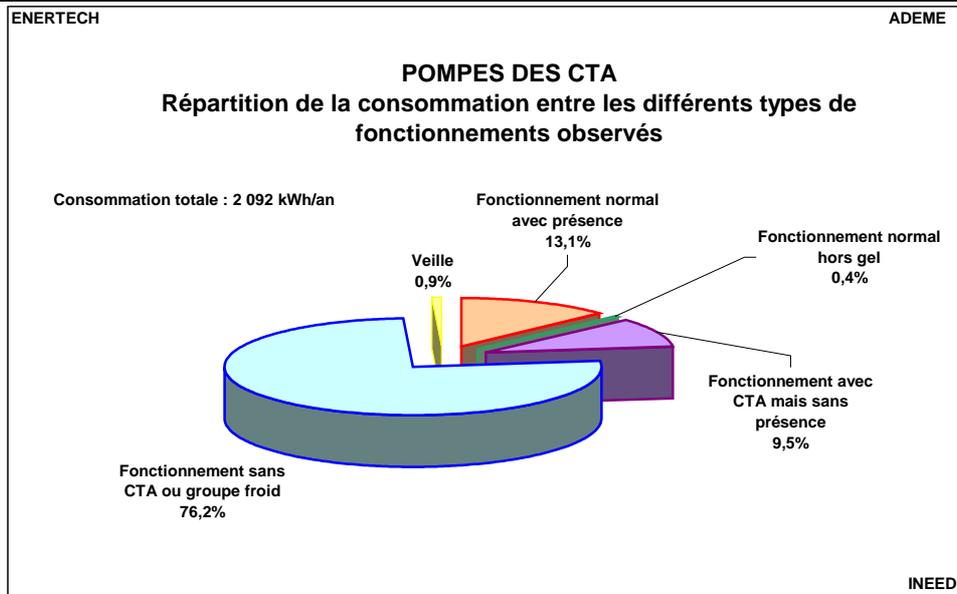


Figure 4.61 : Consommation des pompes en fonction de leur mode de fonctionnement

La figure 4.62 représente les économies réalisables sur le poste des pompes. A elle seule la pompe eau glacée de la salle de conférence permet une économie de 1 509 kWh/an (75 % de l'économie totale).

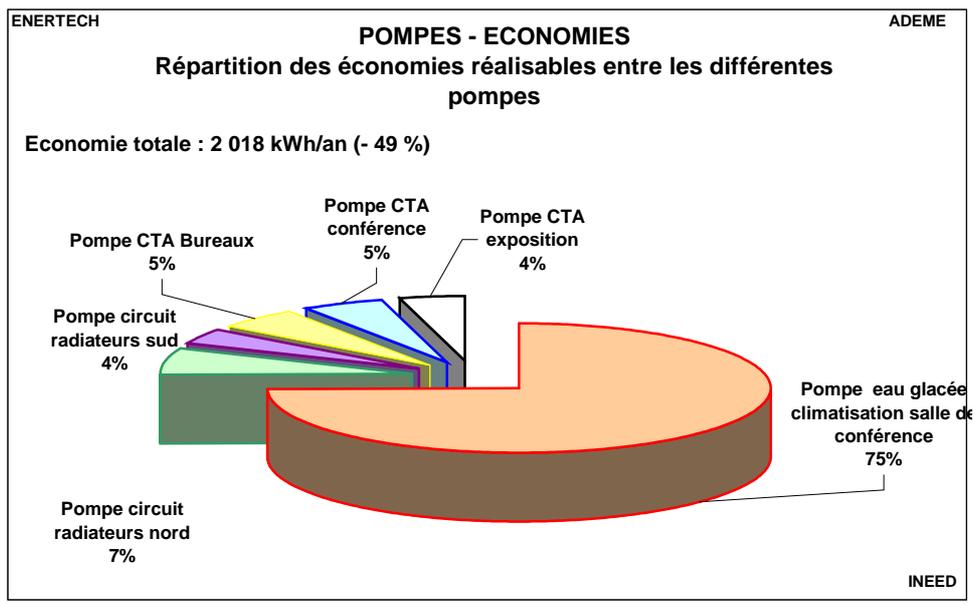


Figure 4.62 : Pompes – Structure des économies potentielles

IV.4.4 Les pompes de circulation des radiateurs

IV.4.4.1 Consommation des pompes des circuits radiateurs

Il existe un circuit façade Nord et un circuit façade Sud, le circuit Nord alimentant également l'aérotherme de l'atelier. Chaque circuit dispose d'une pompe à débit variable.

Celles-ci ont fonctionné du 14/09/2008 au 17/05/2009, soit 245 jours. Mais dans cet intervalle, leur durée de fonctionnement effective n'a été que de 5 022 (Nord) et 5015 heures (Sud) soit 209 jours.

La consommation de la pompe du circuit nord est de **1 341 kWh/an** contre **653 kWh/an** pour la pompe du circuit sud soit une consommation par unité de surface de respectivement **1,03 kWh/an/m²** (en prenant en compte les surfaces des bureaux et de l'atelier) et **0,59 kWh/an/m²** (Sud). La valeur à retenir

est plutôt la valeur sur l'ensemble des locaux Nord+Sud : **1994 kWh/an**, soit **0,69 kWh/m²/an**. En effet, l'atelier est un gros consommateur.

La figure 4.63 représente la consommation journalière moyenne à l'échelle de la semaine, pendant toute la saison de chauffage. Cette courbe permet de visualiser l'impact de la fonction ECO aux limites de la saison de chauffage. Cette fonction, très répandue, permet d'arrêter automatiquement une pompe lorsque la température extérieure est supérieure à une valeur de consigne.

Il est simplement dommage que les pompes démarrent seules en début de saison de chauffe alors que la chaudière n'est pas encore en fonctionnement....

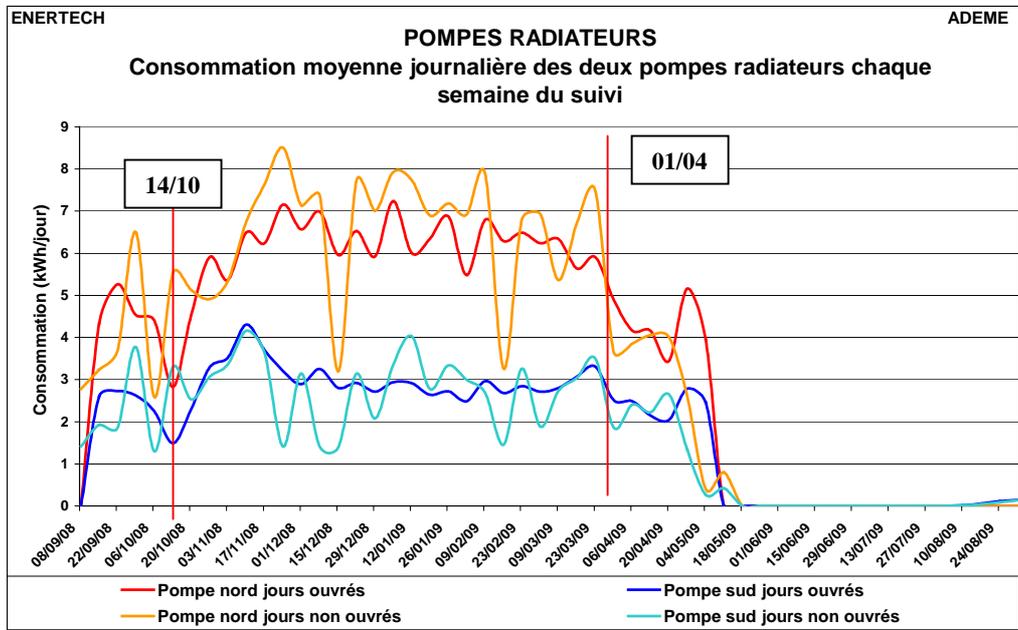


Figure 4.63 : Pompes radiateurs – Consommation journalière moyenne, à l'échelle de la semaine

La figure 4.64 représente la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par les deux pompes de circulation des radiateurs sur la période de chauffage. La régulation terminale dans le bâtiment est assurée par des robinets thermostatiques, ce qui n'est pas un très bon système régulant pour tirer pleinement parti de pompes à vitesse variable. Toutefois on observe d'importantes variations de la puissance appelée, avec notamment une « cassure » vers 70% qui correspond au régime de ralenti de la nuit.

Si les pompes n'avaient pas de variateur de vitesse, leur consommation annuelle seraient de 2.285 et 1.196 kWh/an. En d'autres termes **la variation de vitesse permet une économie supérieure à 41%**.

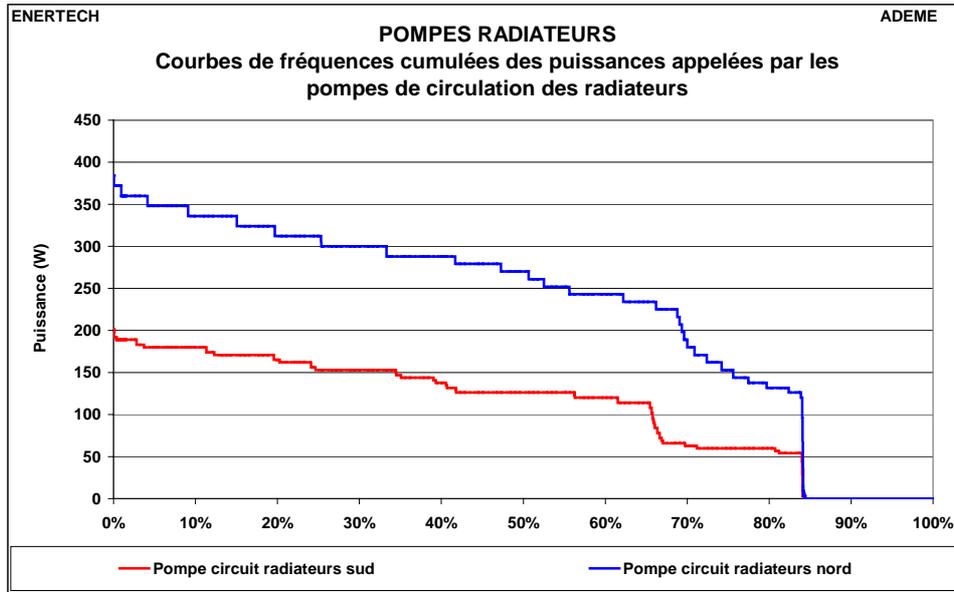


Figure 4.64 : Pompes radiateurs Nord et Sud – Courbes de fréquences cumulées

IV.4.4.2 Etudes des paramètres influençant la consommation des pompes

Les figures 4.65 et 4.66 représentent la consommation journalière des pompes respectivement en fonction de la température extérieure et de l’ensoleillement. On remarque une dispersion importante. On observe également que jusqu’à une température d’environ 8-10°C, la consommation journalière ne varie pas. Cependant, dès que l’on dépasse cette température, la consommation décroît avec l’augmentation de la température extérieure. Ceci est dû à l’arrêt des pompes (fonction ECO) lorsque la température extérieure est suffisante. Tout ceci montre que la régulation à l’aide des vannes trois voies fonctionne correctement.

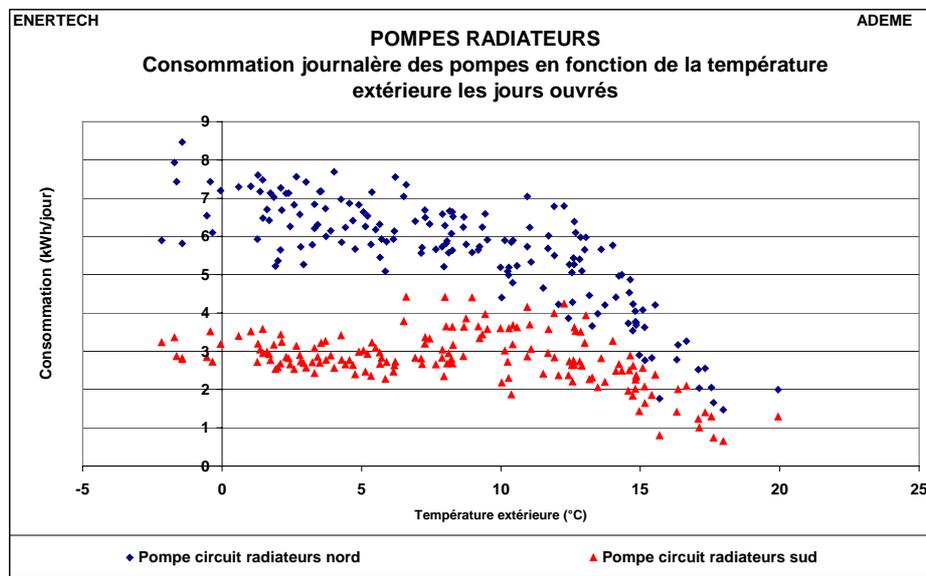


Figure 4.65 : Pompes radiateurs Nord et Sud – Consommation en fonction de la température extérieure

En effet, la température de départ du **circuit nord** varie en fonction de la température extérieure, donc des besoins. C’est ce paramètre, et non le débit, qui permet d’adapter la puissance thermique aux besoins. Le débit doit être nominal sauf lorsqu’il existe des apports gratuits. Les apports gratuits peuvent être de deux ordres :

- Les apports solaires
- Les apports internes (personnes, équipement électrique)

On n'observe également aucune tendance en fonction des apports solaires. Au Nord c'est normal car il n'y a pas d'apports solaires directs. Et au Sud, la vanne trois voies régule la température de départ en fonction de la température extérieure mais également en fonction de l'ensoleillement. C'est la température de départ (et par conséquent la puissance à fournir aux bureaux de la façade sud) qui est adaptée et non le débit.

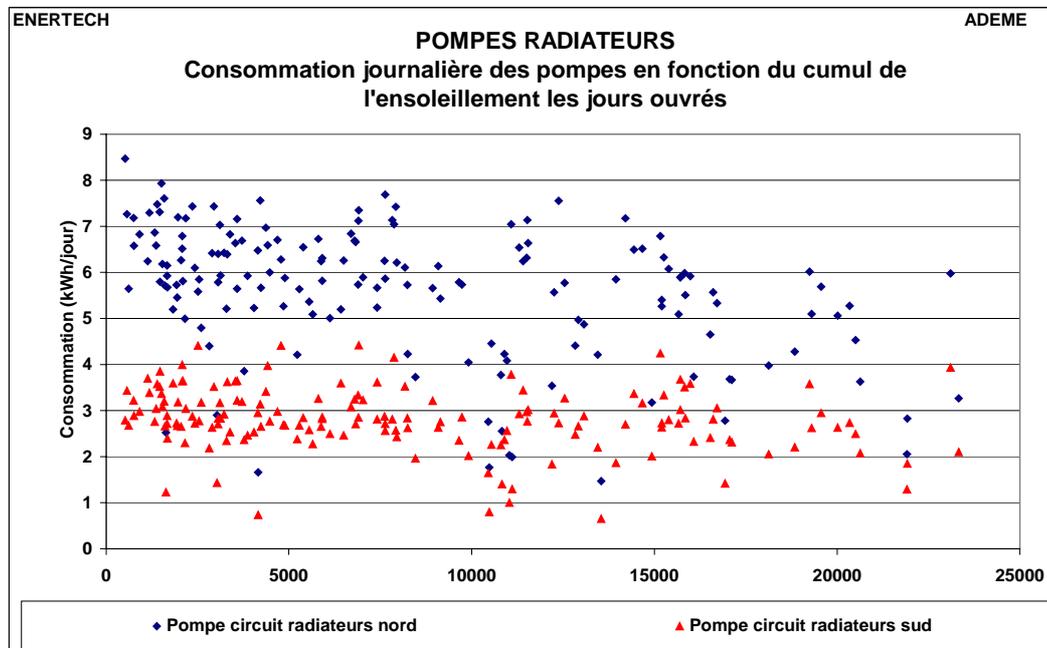


Figure 4.66 : Pompes radiateurs Nord et Sud – Consommation en fonction de l'ensoleillement

Etant donné que la régulation en température des circuits de radiateurs nord et sud fonctionne correctement, il est difficile de connaître la loi de variation des pompes. On peut cependant en avoir une idée en observant le comportement de la pompe en fonction de la température intérieure. En effet, le seul moyen de faire baisser le débit est de fermer les robinets thermostatiques or, ces derniers se ferment lorsque la température intérieure est supérieure à une valeur de consigne.

Ce que l'on observe est donc logique : en première approche, ni l'ensoleillement (puisque la régulation de tête la prend en compte), ni la température extérieure n'influencent le débit des pompes, donc leur consommation. Seule la température intérieure conduit à une variation de vitesse. En effet, même s'ils marchent mal, les robinets thermostatiques vont en principe finir par se fermer si la température intérieure augmente, et le débit va donc varier. La figure 4.67 représente la consommation journalière des pompes en fonction de la température ambiante moyenne observée dans 4 bureaux de chaque façade les jours ouvrés. On observe nettement une diminution de la consommation des pompes due à la fermeture des robinets thermostatiques.

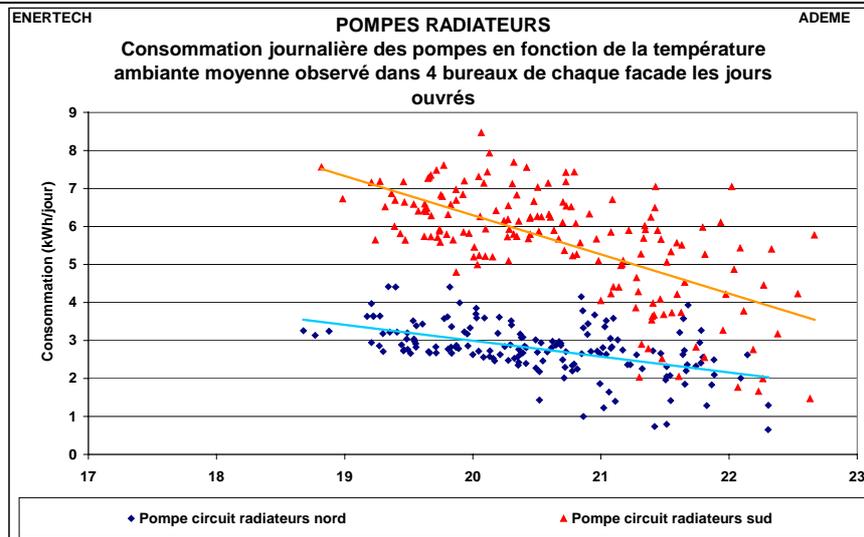


Figure 4.67 : Pompes Nord et Sud – Consommation en fonction de la température intérieure

IV.4.4.3 Economies réalisables

L'économie envisageable pour les pompes radiateurs est faible. C'est la consommation qui a lieu alors que la chaudière n'est pas en marche (début et fin de la saison de chauffage). On estime que 106 kWh/an pourrait ainsi être économisés soit 11 % de la consommation actuelle.

IV.4.5 Pompe d'eau glacée de la climatisation

IV.4.5.1 Description de l'usage

Cette pompe permet le transfert depuis le groupe froid (en terrasse) jusqu'au local technique avec CTA de la salle de conférence (sous sol).

Sa consommation annuelle est de 1.540 kWh/an soit 37 % de la consommation totale des pompes ou encore 2,2 % de la consommation totale du bâtiment.

Cette pompe a fonctionné sans arrêt à partir du 03 juillet jusqu'à la fin de la campagne de mesure. A elle seule elle représente plus de la moitié de toute la consommation liée à la climatisation.

Les différents modes de fonctionnement de cette pompe sont les suivants :

- Fonctionnement normal : on a observé une présence d'au moins 30 minutes dans la journée, la CTA de la salle de conférence et le groupe froid ont fonctionné,
- Fonctionnement de la pompe sans CTA : sans le fonctionnement de la CTA, la batterie froide ne sert à rien.
- Fonctionnement de la pompe sans le groupe froid
- Fonctionnement de la pompe sans le groupe froid ni la CTA.

La figure 4.68 représente la structure de la consommation de cette pompe en fonction de ces différents modes.

On voit que 84% de la consommation de la pompe est dû à un mode pendant lequel ni la CTA ni le groupe froid fonctionnent. Seul 2% de la consommation de cette pompe est justifiée.

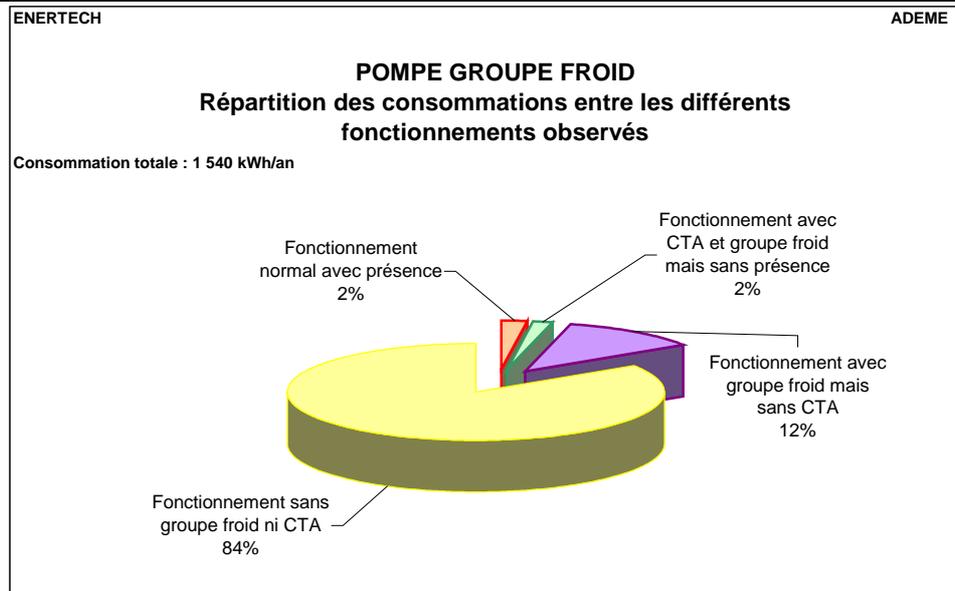


Figure 4.68 : Pompe eau glacée – Structure de la consommation en fonction du mode de fonctionnement

IV.4.5.2 Economies réalisables

Cette pompe est une belle illustration des conséquences d'un dysfonctionnement majeur.

En asservissant de manière correcte la pompe au fonctionnement de la CTA (elle même pilotée en fonction de la présence) l'économie serait de 1 509 kWh/an soit 98% de sa consommation actuelle.

IV.4.6 Pompe de la CTA bureaux

IV.4.6.1 Description de l'usage

Cette pompe alimente la batterie de préchauffage de la CTA des bureaux. Sa consommation annuelle est de 192 kWh/an. Elle a démarré 57 fois en un an, pour une durée totale de fonctionnement d'environ 2 000 heures, ce qui paraît beaucoup trop au regard des besoins en chaleur réelle de la batterie.

La consommation pendant les heures de présence dans le bâtiment (les jours ouvrés de 07h30 à 19h00) représente 44% de la consommation.

IV.4.6.2 Economies réalisables

A hauteur de 56 % (107 kWh/an), la consommation de cette pompe a lieu en dehors des périodes d'occupation du bâtiment. Or cette pompe irrigue une batterie dont la mission est de préchauffer l'air afin de ne pas gêner les occupants. Cette consommation en période d'inoccupation est donc totalement inutile et peut être supprimée en asservissant cette pompe à la fois au fonctionnement de la CTA et à la température en aval de la batterie. Mais, comme on le verra par la suite la CTA fonctionne anormalement la nuit, on a par conséquent pas pu voir si cette pompe était asservie ou non.

IV.4.7 Pompe de la CTA conférence

IV.4.7.1 Description de l'usage

La pompe de la CTA conférence alimente la batterie chaude de la CTA conférence. Sa consommation annuelle est de 225 kWh/an soit 0,65 kWh/an/m²_{SU}.

Il est intéressant de suivre le fonctionnement de cette pompe en fonction de l'état de la CTA (marche, arrêt, etc), et des températures ambiante et de reprise (en principe identiques).

La figure 4.69 représente un jour de fonctionnement « normal ». A 10h00 l'installation est sollicitée, la pompe et la CTA se mettent en marche et s'arrêtent simultanément. Tout est donc nominal .

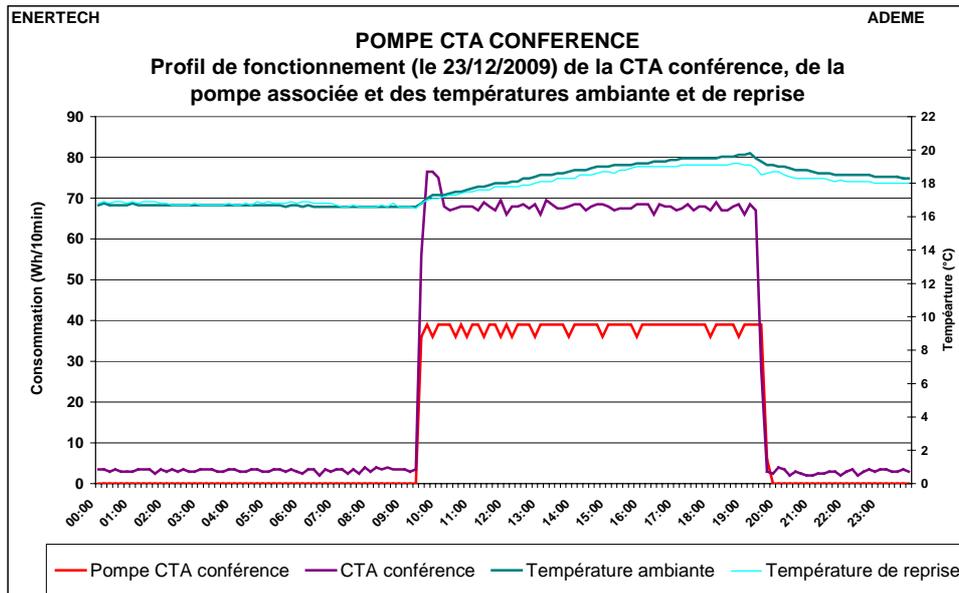


Figure 4.69 : Pompe chauffage conférence – Fonctionnement correct un jour « normal »

La figure 4.70 illustre le cas d'une journée avec un fonctionnement en ralenti de non occupation « normal ». On observe que la pompe et la CTA démarrent dès que la température ambiante atteint 15,5°C (consigne du ralenti de non occupation) et s'arrêtent lorsque la température a atteint 16,5°C.

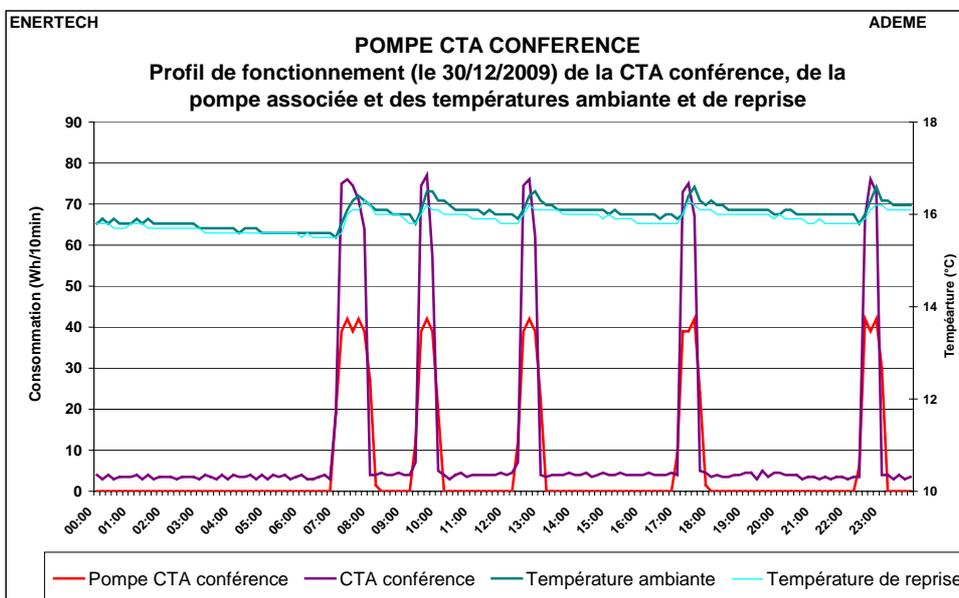


Figure 4.70 : Pompe chauffage conférence – Fonctionnement correct un jour de « ralenti de non occupation »

Ces deux cas ne montrent aucune anomalies. Il n'en est malheureusement pas toujours ainsi.

Les figures 4.71 et 4.72 montrent des cas où la pompe est en marche, mais pas la CTA. Comme la diffusion de chaleur de la CTA ne peut se faire que si les ventilateurs de la CTA sont en marche, cette situation correspond à un dysfonctionnement (qu'il faudra corriger)

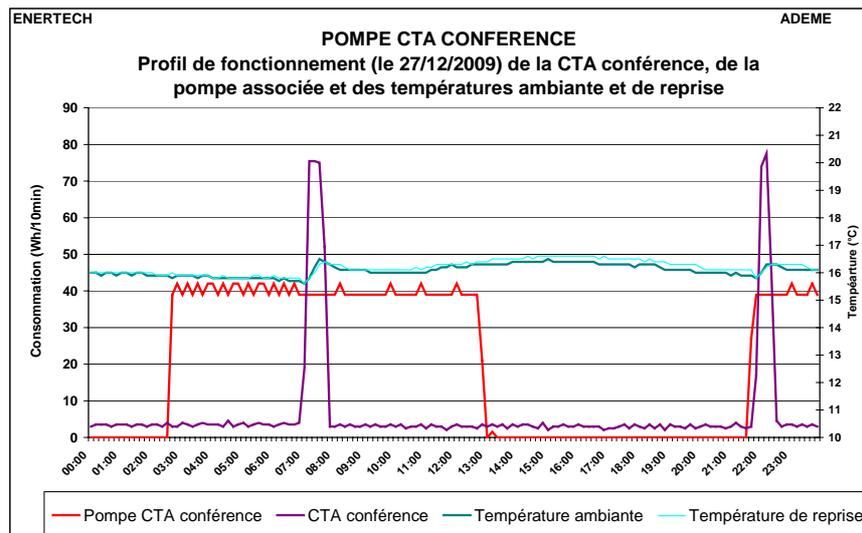


Figure 4.71 : Pompe chauffage conférence – Fonctionnement incorrect (CTA en partie à l'arrêt)

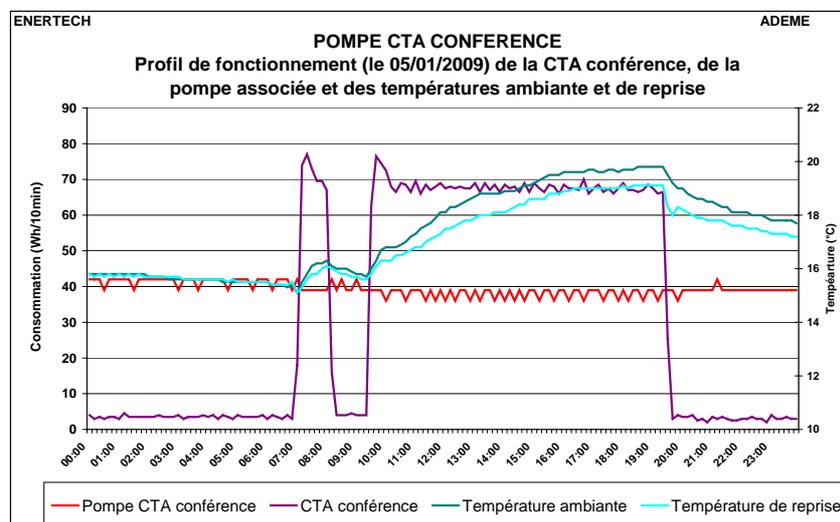


Figure 4.72 : Pompe chauffage conférence – Fonctionnement incorrect (CTA en partie à l'arrêt)

Bien que la régulation ait présenté quelques dysfonctionnements, la consommation de cette pompe reste très faible. La figure 4.73 représente la répartition de la consommation entre les différents modes de fonctionnement :

- Normal chauffage : il existe une présence dans la salle d'au moins 30 minutes sur une journée
- Normal ralenti : il n'existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C
- Fonctionnement avec CTA sans présence : ceci correspond aux rares fois où l'on a observé un fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée,
- Anormal : la pompe de la batterie chaude fonctionne mais pas la CTA

On s'aperçoit que le **fonctionnement anormal ou non justifié** représente **46 % de la consommation de la pompe**. De grosses améliorations sont donc possibles.

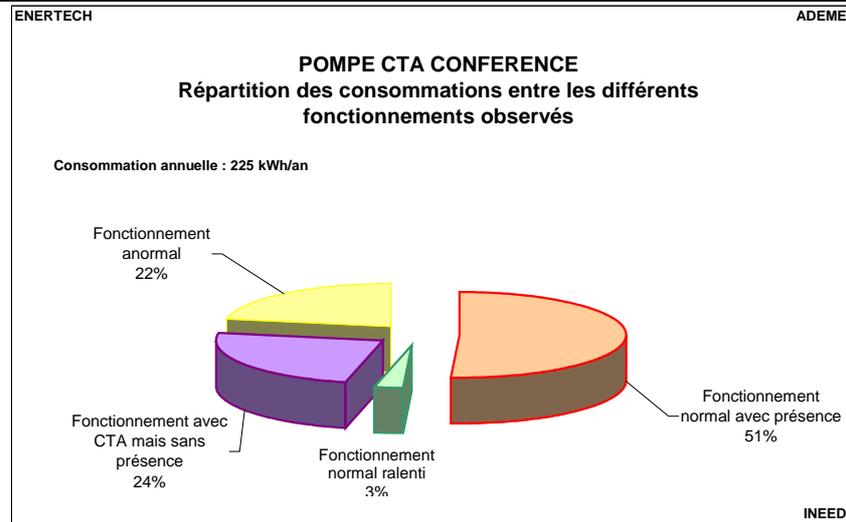


Figure 4.73 : Pompe chauffage conférence – Structure de la consommation en fonction des différents modes de fonctionnement

IV.4.7.2 Economies réalisables

Comme on vient de le voir, 46 % de la consommation de cette pompe n'est pas justifié. L'économie d'énergie qui pourrait être faite en asservissant cette pompe au fonctionnement de la CTA (elle même asservie à la présence) est de **105 kWh/an**.

IV.4.8 Pompe de la CTA d'exposition

IV.4.8.1 Description de l'usage

La pompe de la CTA de la salle d'exposition alimente la batterie chaude de cette CTA. Sa consommation annuelle est de 132 kWh/an, dont 116 kWh/an lors de la saison de chauffe, soit aussi 0,8 kWh/m²_{SU}/an.

On a observé durant la campagne de mesures des fonctionnements atypiques. La figure 4.74 représente la répartition de la consommation de cette pompe entre ses différents modes de fonctionnement. Les principaux modes observés sont :

- Normal chauffage : il existe une présence dans la salle d'au moins 30 minutes sur une journée
- Normal ralenti : il n'existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C
- Fonctionnement avec CTA sans présence : ceci correspond aux quelques fois où l'on a observé le fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée
- Anormal : la pompe de la batterie chaude fonctionne mais pas la CTA
- Veille : on a observé durant de longues périodes (principalement en été), une très faible puissance appelée par la pompe.

Le fonctionnement « anormal » représente 61 kWh/an soit 47% de la consommation totale.

En observant de près le fonctionnement des installations, il apparaît fréquemment que la pompe et la CTA n'ont pas été mises en marche alors que la température ambiante était inférieure à 12°C. C'est un défaut qu'il faudra corriger.

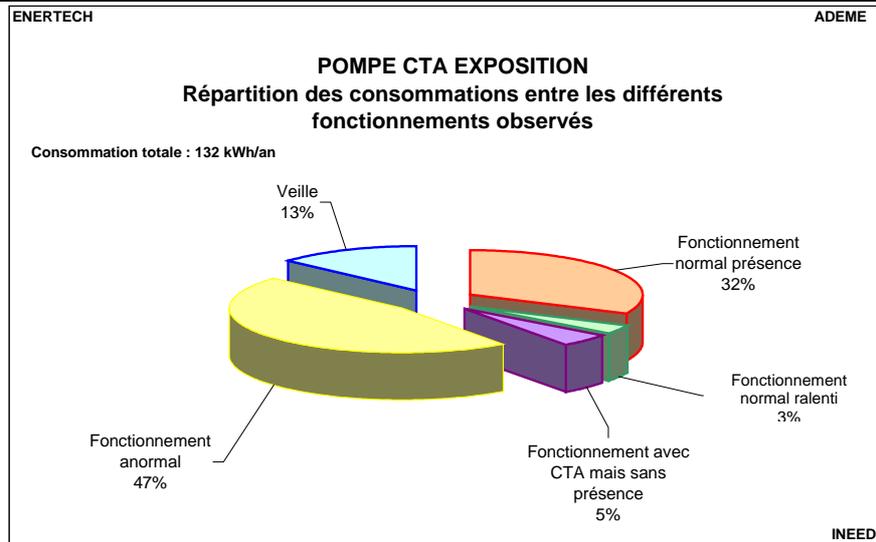


Figure 4.74 : Pompe chauffage expo – Structure de la consommation en fonction des différents modes de fonctionnement

IV.4.8.2 Economies réalisables

La figure précédente montre que 65% de la consommation de cette pompe a lieu en dehors du fonctionnement normal (avec CTA + présence). En supprimant les veilles et faisant fonctionner cette pompe uniquement si la CTA fonctionne (elle même correctement asservie à la présence), l'économie pourrait être de **85 kWh/an**.

IV.5 LES SYSTEMES DE VENTILATION

IV.5.1 La CTA des bureaux et salles de réunion

IV.5.1.1 Etude de la consommation

La ventilation des bureaux est de type double flux avec échangeur de chaleur rotatif. A partir d'une CTA située au sous sol, elle dessert tous les bureaux et les salles de réunion. Le débit maximum est de 4.100 m³/h, mais ce débit peut fortement varier en fonction de l'occupation des salles de réunion. La puissance du moteur de chaque ventilateur est de 1.500 W.

Les principaux postes de consommation de cette centrale sont :

- Le ventilateur d'extraction
- Le ventilateur de soufflage
- Le moteur électrique de l'échangeur à roue
- La régulation électronique de l'ensemble

La consommation annuelle d'électricité de la centrale est de 16 190 kWh/an, soit 23,7% de la consommation totale du bâtiment (hors atelier) ou encore **7,7 kWh/an/m²_{SU}**. Bien qu'optimisé (moteurs performants, variation de vitesse), il s'agit du premier poste de consommation du bâtiment. La structure de la consommation de la centrale entre les différents modes de fonctionnement est représentée sur la figure 4.75. C'est évidemment les deux moteurs qui consomment le plus, le soufflage consommant même un peu plus que l'extraction à cause de la perte de charge supérieure due à la traversée du puits canadien. La régulation et la roue cumulée consomment ensemble moins de 3 % de la consommation totale de la centrale.

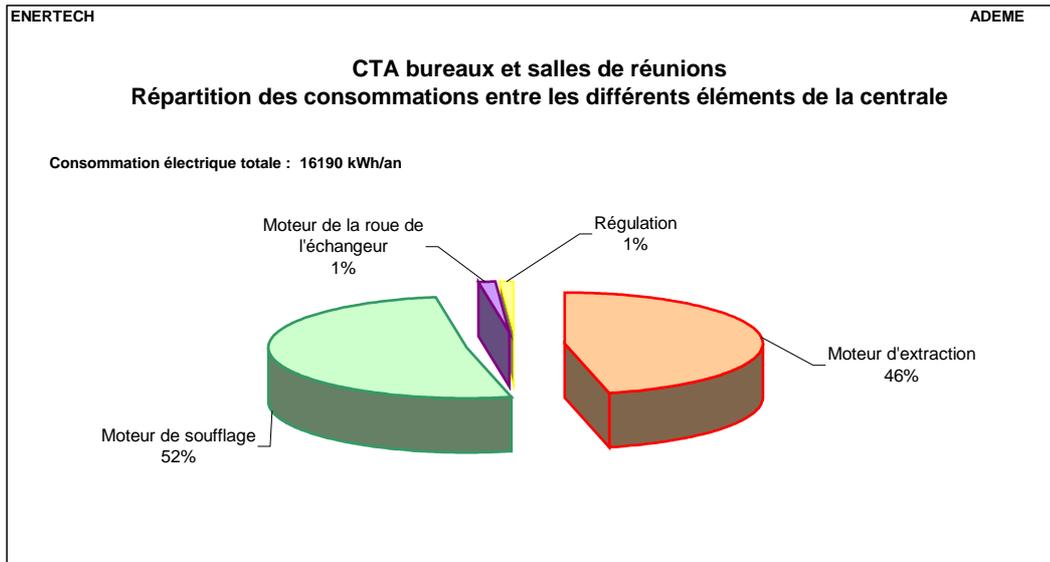


Figure 4.75 : CTA Bureaux – Structure de la consommation en fonction des différents modes de fonctionnement

Les figures 4.76 et 4.77 représentent respectivement (pour les jours ouvrés et non ouvrés) les consommations journalières à l'échelle de la semaine et les courbes de charges journalières moyennes de la CTA bureaux.

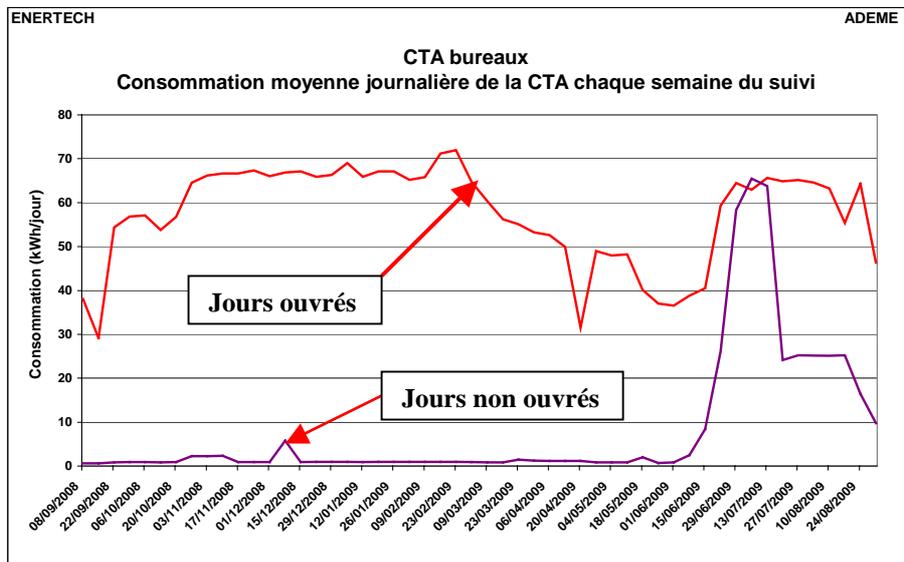


Figure 4.76 : CTA Bureaux – Consommation journalière moyennée à l'échelle de la semaine

La figure 4.76 montre une consommation relativement constante entre le 27/10/2008 et le 02/03/2009. Mais à partir du 03/03/2009, on observe une baisse des consommations journalières qui s'explique assez difficilement. On passe en effet (les jours ouvrés) d'environ 68 kWh/jour à 37 kWh/jour. La diminution des consommations se fait de manière très progressive. Il semblerait que cette diminution de consommation soit imputable à une modification sur la CTA (la fréquentation des salles de réunion est relativement identique à la période précédente), comme par exemple la prise en compte de l'arrêt de la ventilation des salles de réunions non occupées. La baisse brutale de consommation la semaine du 20/04/2009 est imputable à un arrêt de la centrale pendant plus d'une journée.

On note aussi que la consommation des jours non ouvrés est quasi nulle, ce qui est normal. On observe cependant un fonctionnement étonnant et *a priori* anormal (10 à 20 minutes) de la CTA toutes les

nuits des dimanches aux lundi à minuit (non visible sur la figure 4.76). Cependant, à partir du 14 juin, on observe une augmentation significative des consommations journalières les jours non ouvrés. Cette augmentation est imputable à la surventilation nocturne.

Sur la figure 4.77, on observe un fonctionnement quasiment permanent de la centrale 24h/24 (elle n'a été arrêtée la nuit que durant 6 jours sur 365) avec une augmentation de la consommation en cours de journée. Cette augmentation est imputable aux salles de réunion qui sont équipées de registres permettant la ventilation uniquement en cas de présence. Ceci traduit un grave dysfonctionnement : la CTA aurait dû être arrêtée toutes les nuits, à l'exception de la période estivale. **Ce dysfonctionnement conduit à une surconsommation électrique importante qui devra être rapidement supprimée.**

On relève aussi que les jours non ouvrés, la consommation est plus importante la nuit que le jour (bien que toujours largement inférieure à la consommation les jours ouvrés). Ceci est imputable *a priori* à la surventilation nocturne autorisant le fonctionnement de la centrale la nuit afin de rafraîchir le bâtiment (observé uniquement à partir du 15 juin 2009). On peut quand même se demander pourquoi la CTA a fonctionné en cours de journée les jours de non occupation. Cela traduit, à notre avis, d'un nouveau dysfonctionnement dans le pilotage et la programmation de la CTA.

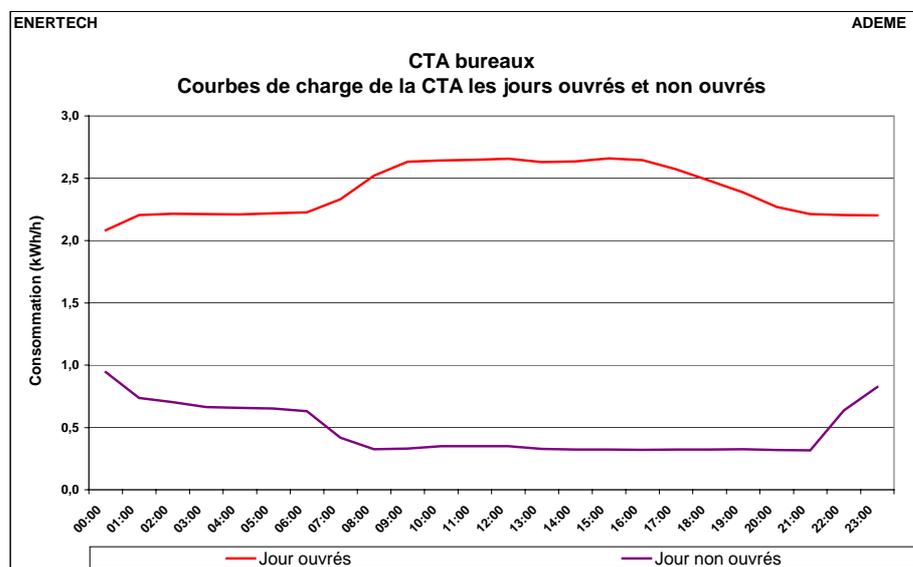


Figure 4.77 : CTA Bureaux – Courbe de charge journalière moyenne

Mais on a aussi observé la nuit des fonctionnements anormaux sans que la surventilation nocturne soit en fonctionnement.

La figure 4.78 représente la répartition de la consommation entre les différents modes de fonctionnement de la centrale. Les différents modes sont :

- Normal : fonctionnement les jours et heures ouvrés. Ce type de fonctionnement a lieu lorsque des personnes sont présentes dans le bâtiment.
- Normal : fonctionnement surventilation. Dans ce type de fonctionnement est repris la consommation liée à la surventilation nocturne du bâtiment en période estivale
- Veille : représente la consommation de la centrale lorsqu'aucun moteur ne fonctionne
- Anormal : fonctionnement en dehors des heures ouvrés sans surventilation.

Il apparaît que **le fonctionnement « normal » ne représente que 57,2 % de la consommation totale** avec 45% pour le fonctionnement pendant les heures ouvrés et 12 % pour la ventilation nocturne.

La ventilation en dehors des heures d'occupation et en dehors de la surventilation consomme plus de 42% de la consommation de la CTA soit 6 710 kWh/an. Cette consommation pourrait être économisée facilement.

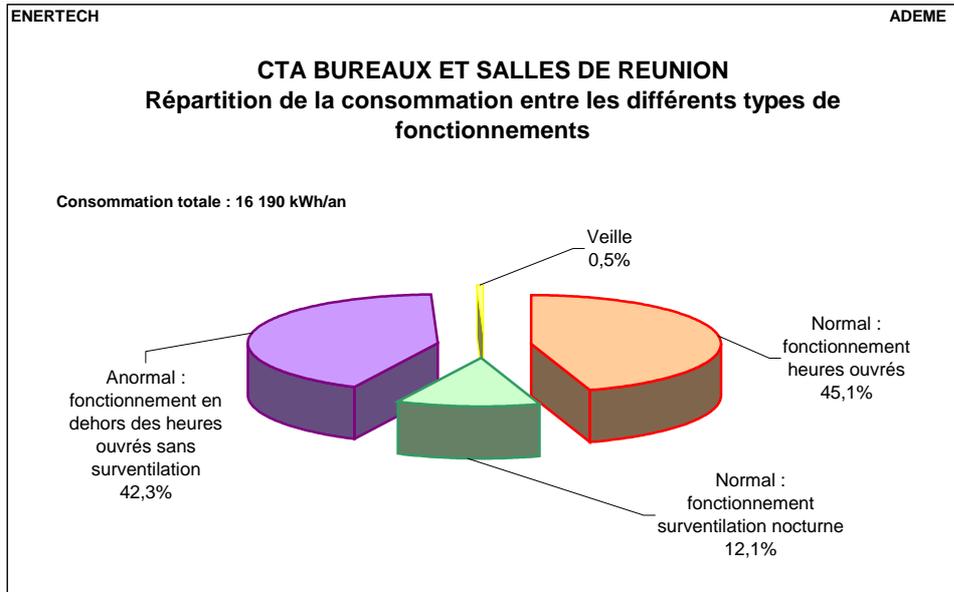


Figure 4.78 : CTA Bureaux – Part de chaque mode de fonctionnement dans la consommation

IV.5.1.2 Etude de la puissance appelée et du débit

L’analyse qui suit ne porte que sur le ventilateur de soufflage, puisque c’est le seul dont la mesure du débit a été instrumentée du fait de la symétrie de fonctionnement entre soufflage et extraction.

Rappelons que la CTA assure la ventilation continue des bureaux mais également celle, discontinue, des salles de réunions. Ceci est obtenu au moyen de registres motorisés fonctionnant en tout ou rien et pilotés par des détecteurs de présence permettant également une surveillance nocturne en été. Ces variations de débit induisent une variation de la puissance appelée et donc de la consommation.

La figure 4.79 représente la courbe des fréquences cumulées de la puissance totale (ventilateurs de soufflage et d’extraction, moteur roue, etc) et du débit (de soufflage) de la CTA du 04 mars à la fin de la campagne de mesure (on ne dispose pas de mesures avant le 4 Mars). On constate que la variation de vitesse a bien fonctionné puisqu’il n’existe pas de plateau à la puissance maximum. On relève aussi un décroché très fort qui correspond à l’impact d’une grande salle de réunion, selon qu’elle est ou non occupée.

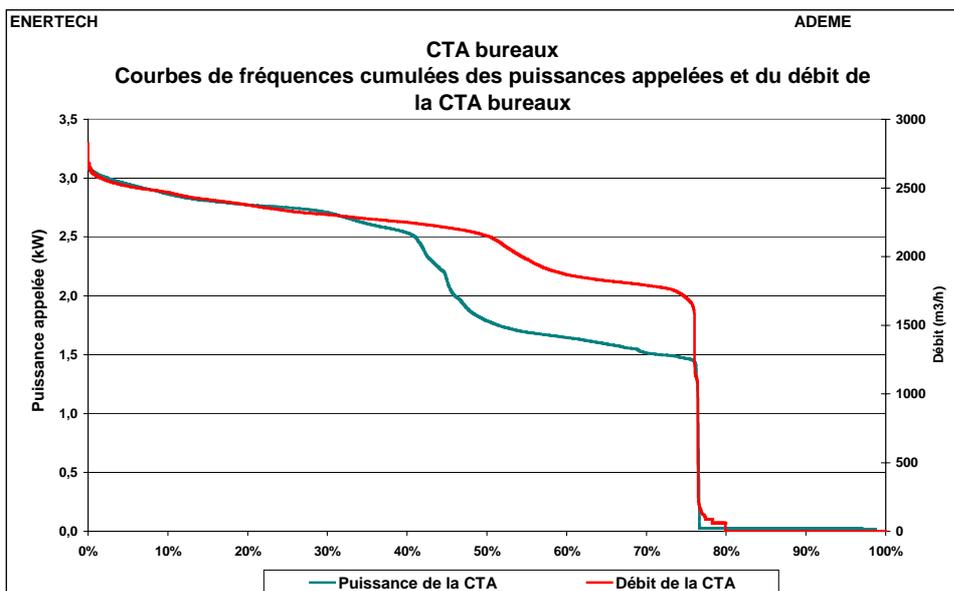


Figure 4.79 : CTA Bureaux – Fréquences cumulées de la puissance appelée et du débit

La puissance maximale appelée est de 3,1 kW et la puissance de veille de 24 W. Notons que, compte tenu du débit présent à ce moment (de l'ordre de 2650 m³/h), on peut en déduire que, toutes consommations incluses (moteurs des ventilateurs, de la roue, de l'armoire de pilotage), la puissance spécifique absorbée par les ventilateurs est, pour chacun d'entre eux, de **0,58 W/m³/h**. Cette valeur peut paraître élevée, mais elle est réaliste, fondée sur un réseau dessiné pour avoir une perte de charge relativement faible, mais dans lequel on rencontre une batterie chaude et un échangeur à roue. A débit réduit (1.700 m³/h), la valeur de ce ratio n'est plus que de **0,41 W/m³/h**. Sur l'ensemble de l'année sa **valeur moyenne est de 0,49 W/m³/h** et il varie de 0,34 à 0,60 W/m³/h.

Rappelons que le rapport de la puissance d'un ventilateur à son débit, que chacun considère, à tort, comme une caractéristique du ventilateur lui-même, est en fait égal au rapport $\Delta P / \eta$ de la perte de charge dans l'installation au rendement du moto ventilateur (car la puissance d'un moto ventilateur est égale au produit du débit par ΔP divisé par η). Il s'ensuit que ce rapport caractéristique sera faible si la perte de charge dans l'installation est faible (travail du concepteur) et si le rendement du moto ventilateur est élevé (choix du concepteur).

La figure 4.80 représente l'évolution du rapport de la puissance appelée au débit d'air du ventilateur de soufflage en fonction du nombre de salles occupées.

On observe que ce rapport varie de 0,41 W/m³/h à 0,60 W/m³/h selon le nombre de salles occupées. Si on suppose que le rendement du moto ventilateur est sensiblement constant, la figure 4.80 met en évidence que plus le débit augmente dans l'installation, plus le ΔP augmente. Ceci atteste d'une régulation de débit non pas à ΔP constant aux bornes du ventilateur, mais au contraire à ΔP variable pour tenir compte de l'évolution de la perte de charge dans les conduits qui diminue lorsque le débit diminue. **Ceci montre que l'installation à débit variable est correctement réglée en fonction du débit.** En fait ici, la régulation assure une pression constante au droit de la bouche la plus éloignée.

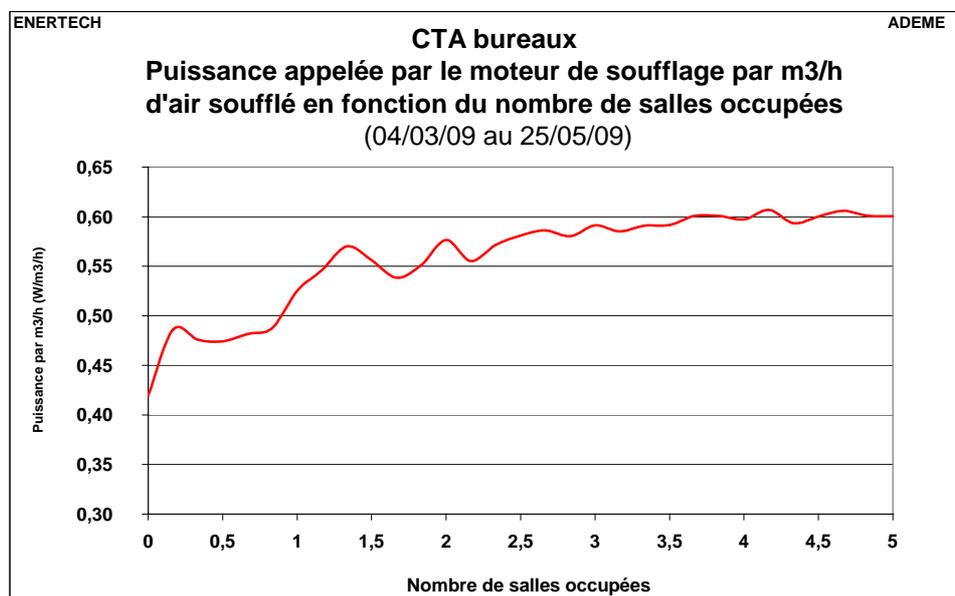


Figure 4.80 : CTA Bureaux – Evolution du rapport puissance/débit en fonction du nombre de salles de réunion occupées

Les figures 4.81 et 4.82 représentent la puissance absorbée, le débit de la CTA et l'état de l'occupation dans les différentes salles de réunions au cours des journées du 30/04/2009 et du 01/05/2009 (jour férié). Pendant l'inoccupation des salles, la puissance du ventilateur de soufflage est d'environ 800 W, mais cette puissance passe à 1470 W dès que la première salle est occupée. Dans le même temps, on observe que le débit passe de 1800 à 2400 m³/h. **Ceci permet de voir que la puissance des ventilateurs varie sensiblement avec une puissance un peu supérieure au carré du débit lorsque celui-ci est modulé dans l'installation par ouverture et fermeture de volets** et que le ventilateur maintient un écart

de pression qui diminue avec le débit (pour tenir compte de la réduction des pertes de charges dans le réseau). Cette régulation est faite en maintenant constante la pression au droit de la bouche la plus éloignée de la CTA.

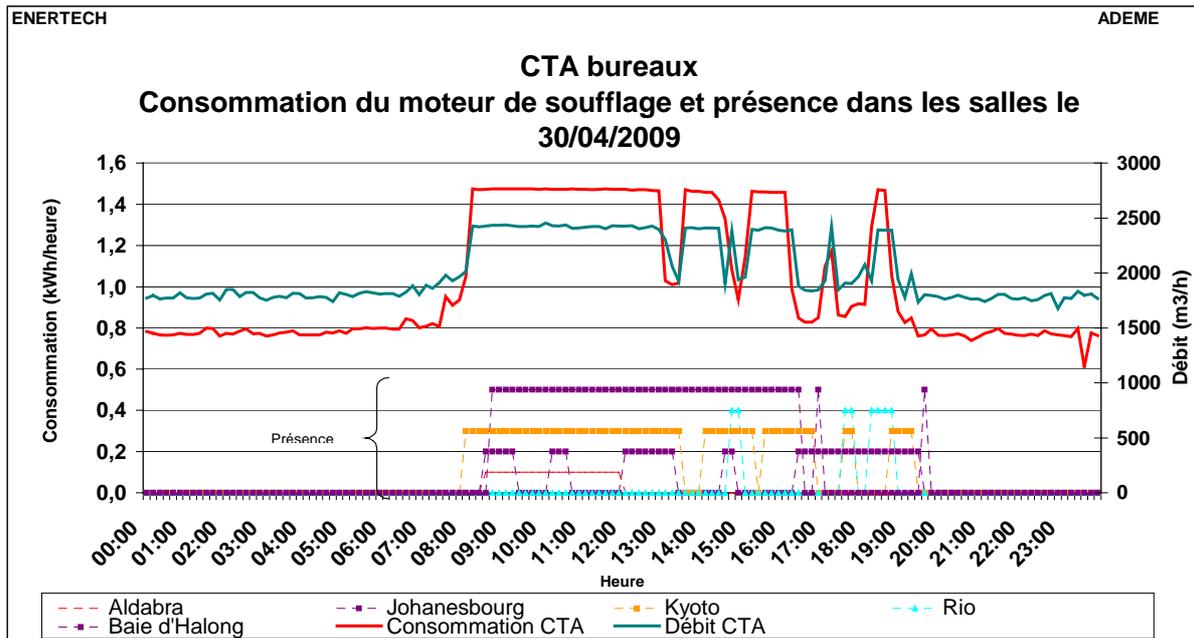


Figure 4.81 : CTA Bureaux – Evolution de la consommation en fonction de l’occupation des salles de réunion le 30/04/2009

Au cours de la journée du 01/05 (figure 4.82), il n’y a aucune présence dans le bâtiment et dans les salles de réunion, et pourtant le ventilateur de soufflage absorbe 0,8 kW pour un débit (non justifié) de 1 800 m³/h en moyenne, ce qui atteste à nouveau d’un dysfonctionnement : **la CTA ne fonctionne pas dans les créneaux horaires où elle est censée fonctionner**. Elle devrait être à l’arrêt le 1^{er} Mai....

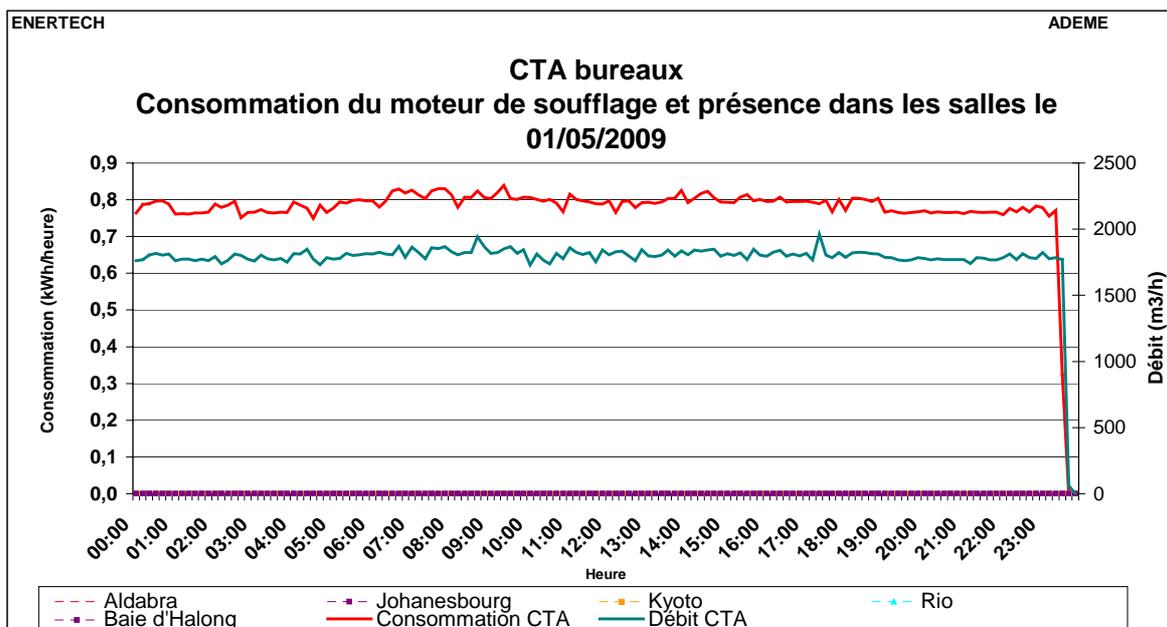


Figure 4.82 : CTA Bureaux – Evolution de la consommation du ventilateur de soufflage en fonction de l’occupation des salles de réunion le 01/05/2009

La figure 4.83 représente l'évolution de la puissance du moteur de soufflage et du débit d'air moyen en fonction du nombre de salles de réunion occupées. Pour cela, on a déterminé chaque jour, au pas horaire, le nombre de salles occupées (jusqu'au 25 mai, car le fonctionnement au-delà est devenu atypique à cause de l'encrassement des filtres) puis on a calculé la puissance et le débit moyens en fonction de la quantité de salles occupées.

Ce graphique confirme ce qui a été vu précédemment, à savoir tout l'intérêt de la variation de vitesse en fonction de l'occupation des salles de réunions. **On peut affiner la relation entre l'évolution de la puissance et celle du débit dans une installation à débit variable :**

$$\text{Puissance} = A * \text{Débit}^{2,4}$$

Attention : cette relation n'est valable que pour des installations disposant du même mode de variation du débit (par volets tout ou rien sur les terminaux) et le même mode de régulation de ΔP en fonction de l'évolution du débit (ici avec maintien de la pression à l'entrée de la bouche la plus éloignée).

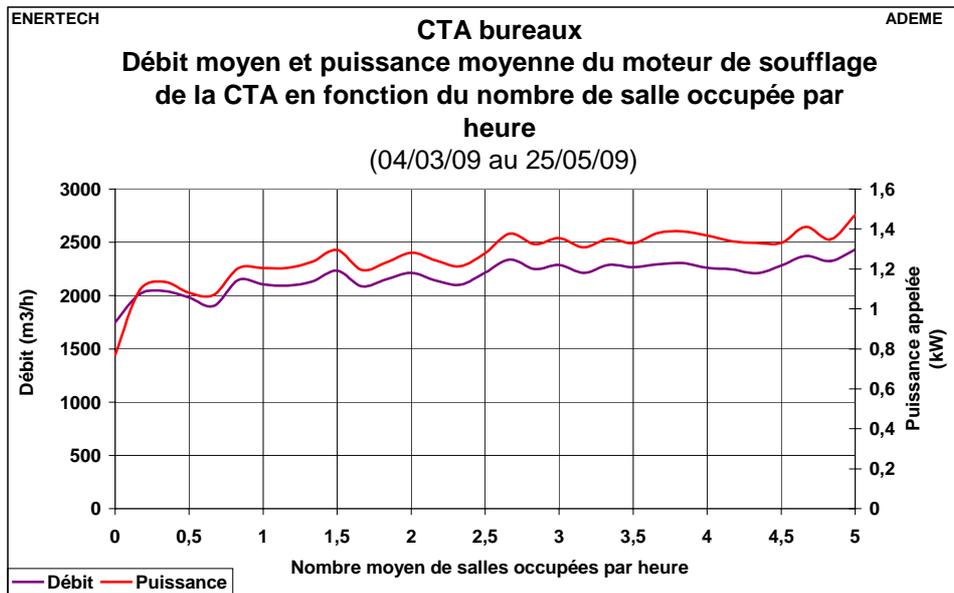


Figure 4.83 : CTA Bureaux – Evolution de la consommation du ventilateur de soufflage et du débit en fonction du nombre de salles de réunion occupées

IV.5.1.3 Economies réalisables

Comme l'a montré la figure 4.78, la CTA des bureaux est complètement déprogrammée et fonctionne presque la moitié du temps en période d'inoccupation du bâtiment alors que ce n'était pas le cas au moment de sa livraison. Il faudrait donc simplement la reprogrammer correctement et surtout s'interroger sur les raisons qui ont pu conduire à ce qu'en deux ans elle passe d'un mode de fonctionnement normal à un mode de fonctionnement complètement décalé et hyper consommateur. **En arrêtant la CTA pendant l'inoccupation (et en dehors de la surventilation nocturne), il est possible d'économiser 6 856 kWh/an soit 42 % de sa consommation.**

IV.5.2 La CTA de la salle de conférence

IV.5.2.1 Etude des consommations

La salle de conférence regroupe en réalité deux salles adjacentes pouvant contenir respectivement 200 et 80 personnes. La CTA de cet ensemble fonctionne en mélange d'air recyclé et d'air neuf. Il s'agit d'une centrale double flux sans récupération de chaleur. Le débit maximum est de 5600 m³/h. Le débit réel est réglé au moyen d'un potentiomètre mis à disposition des usagers qui permet d'indiquer le nombre approximatif de personnes présentes. La puissance électrique de chaque ventilateur est de 1,1 kW.

La consommation annuelle de la CTA de cette salle est de **1 320 kWh/an** soit légèrement moins de 2% de la consommation du bâtiment. Cela représente aussi **3,8 kWh/m²_{SU}/an**. Le coût relatif à cet usage est de 85 € H.T (hors abonnement).

La figure 4.84 donne la structure des consommations de la CTA. Les moteurs de soufflage (43% soit 578 kWh/an) et d'extraction (40% soit 522 kWh/an) sont évidemment dominants. L'écart de consommation peut avoir de nombreuses explications : débits un peu différents, pertes de charge différentes, mis en surpression de la salle, etc. En revanche, une surprise : la part de la consommation imputable à la régulation : 17 % ce qui est considérable et devrait pouvoir être amélioré.

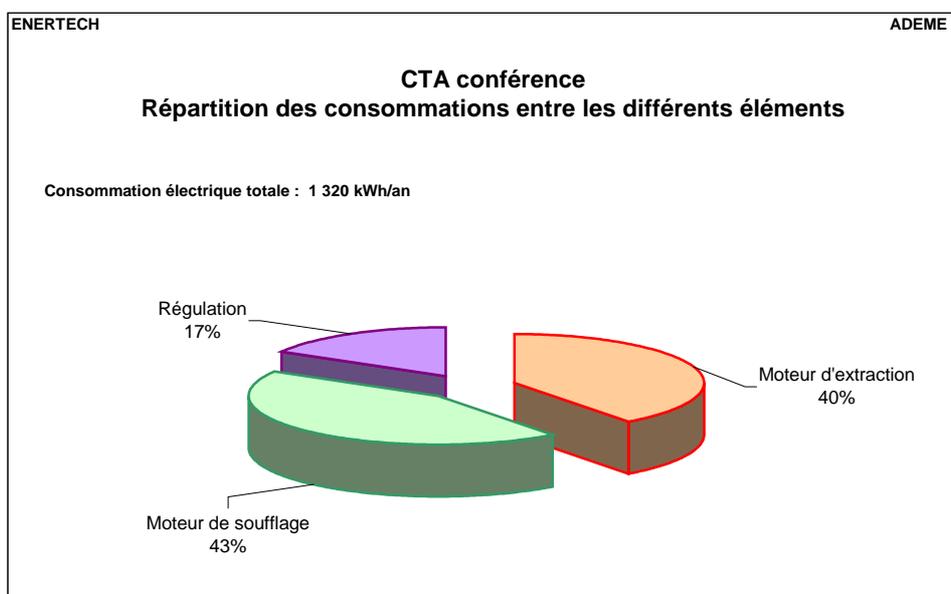


Figure 4.84 : CTA Conférences – Structure de la consommation

La figure 4.85 représente (pour les jours ouvrés et non ouvrés) les consommations journalières à l'échelle de la semaine de la CTA conférences. On constate que les régimes de fonctionnement sont très variables d'une semaine à l'autre à cause des différences de fréquentation. L'absence de fonctionnement depuis la semaine du 15/04 à celle du 22/06 est liée à l'inutilisation de la salle pendant cette période.

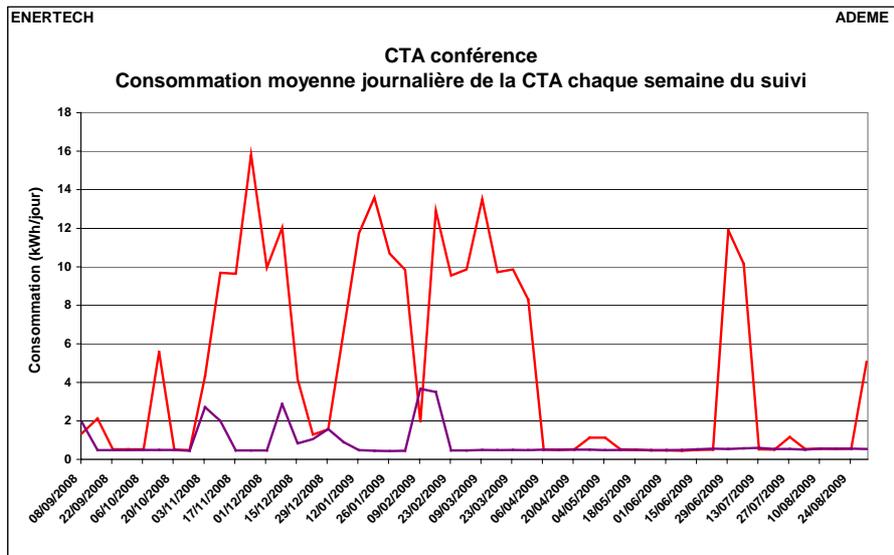


Figure 4.85 : CTA Conférence – Consommation journalière moyennée à l’échelle de la semaine

La figure 4.86 représente (pour les jours ouvrés et non ouvrés) les courbes de charges journalières moyennes de la CTA conférence. On observe que la CTA présente une consommation relativement importante pendant la nuit d'une part et les jours non ouvrés d'autre part. Il est clair que ceci peut s'expliquer en petite partie par le rôle que joue la CTA dans le maintien hors gel (ou plutôt de ralenti) de la salle, mais la principale cause est ailleurs comme on le verra plus loin.

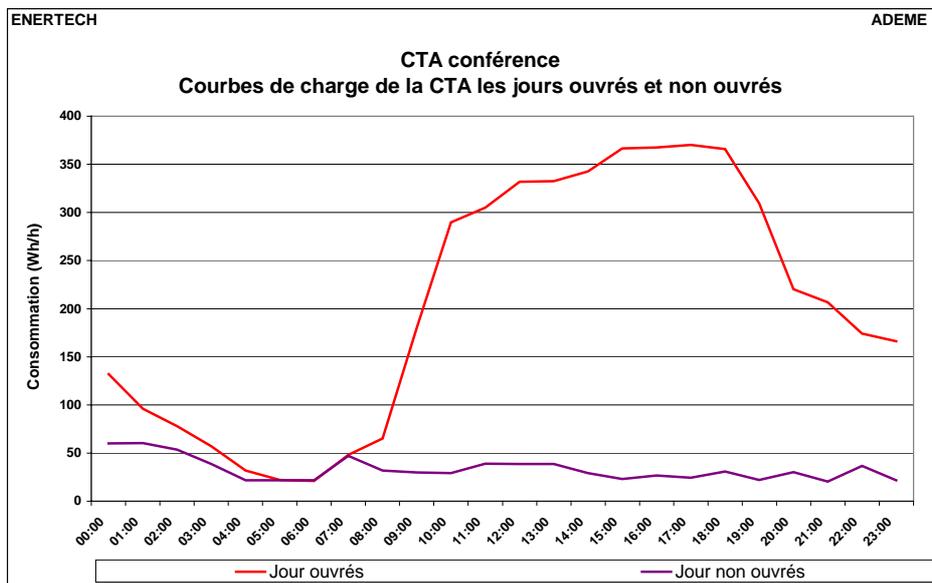


Figure 4.86 : CTA Conférence – Courbe de charge journalière moyenne

La figure 4.87 représente la répartition entre les différents modes de fonctionnement de la CTA :

- Normal chauffage : il existe une présence dans la salle d’au moins 30 minutes sur une journée
- Normal ralenti : il n’existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C
- Fonctionnement CTA sans présence : ceci correspond aux quelques fois où l’on a observé un fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée alors que la température était supérieure à 17°C
- Veille : représente la consommation de la CTA à l’arrêt.

On constate à nouveau un dysfonctionnement de cette CTA : 26 % de la consommation a lieu pendant l'inoccupation du bâtiment et de la salle. Cette consommation peut être très partiellement imputable au fait que la centrale assure également le rôle de chauffage. Mais l'une des principales causes semble due au fait que la commande M/A de la CTA est à disposition du secrétariat. Cette solution avait paru intéressante lors de la conception car elle permettait de piloter facilement cette salle au fonctionnement difficilement programmable. Mais les analyses ont montré que c'est principalement le maintien en marche de la CTA après la fin de l'occupation de la salle qui est à l'origine de cette surconsommation. **Le dispositif de temporisation et de programmation à destination du secrétariat doit donc être amélioré et rendu plus précis.**

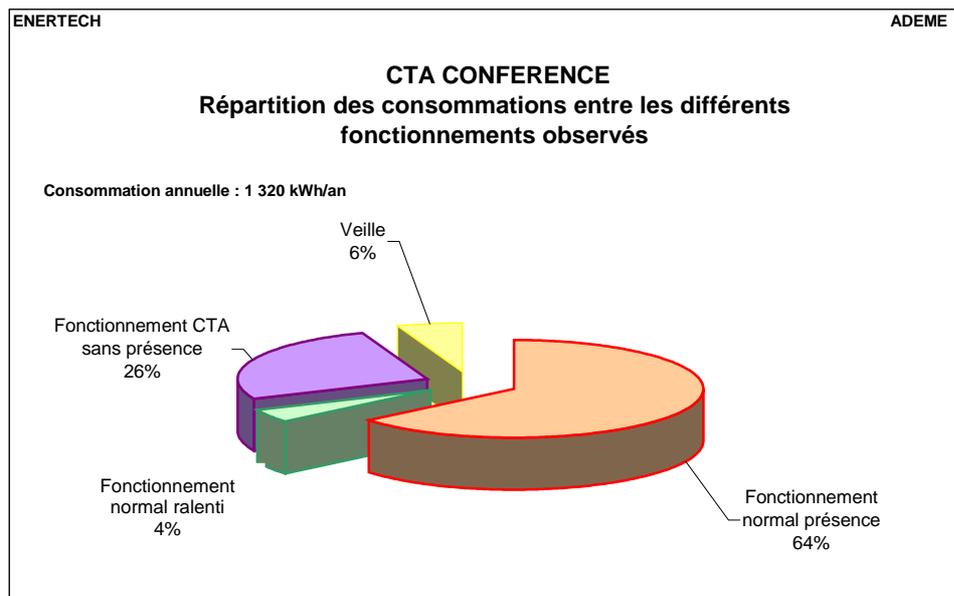


Figure 4.87 : CTA Conférence – Part de chaque mode de fonctionnement dans la consommation

IV.5.2.2 Etude de la consommation en fonction de la présence dans la salle

La figure 4.88 corrèle la présence dans la salle (il y a « présence » dès que la salle a été occupée au moins 30 minutes dans une journée), la température ambiante et la consommation de la CTA. Seule la période du 01/01/09 au 01/04/09 a été étudiée car elle suffit à la démonstration.

Sans entrer dans le détail, ce graphique montre la pertinence globale qu'il y a dans le mode de fonctionnement de la salle au gré des besoins. On observe bien quelques dysfonctionnements mineurs, par exemple les jours où la salle est occupée mais la CTA n'a pas été mis en route, ou bien les jours où *a contrario* la CTA fonctionne alors que personne n'occupe la salle. Il s'agit seulement de montrer par ce graphique tout l'intérêt de la modulation, même lorsqu'elle est encore assez imparfaite, puisque si la centrale avait fonctionné de manière continue toute l'année (ce qui s'observe dans de nombreux bâtiments), sa consommation aurait été de 13 800 kWh/an et non pas de 1.320....

Un système avec pré-réservation de la salle devrait peut être permettre de suivre au plus juste la présence, mais à un coût il est vrai largement supérieur.

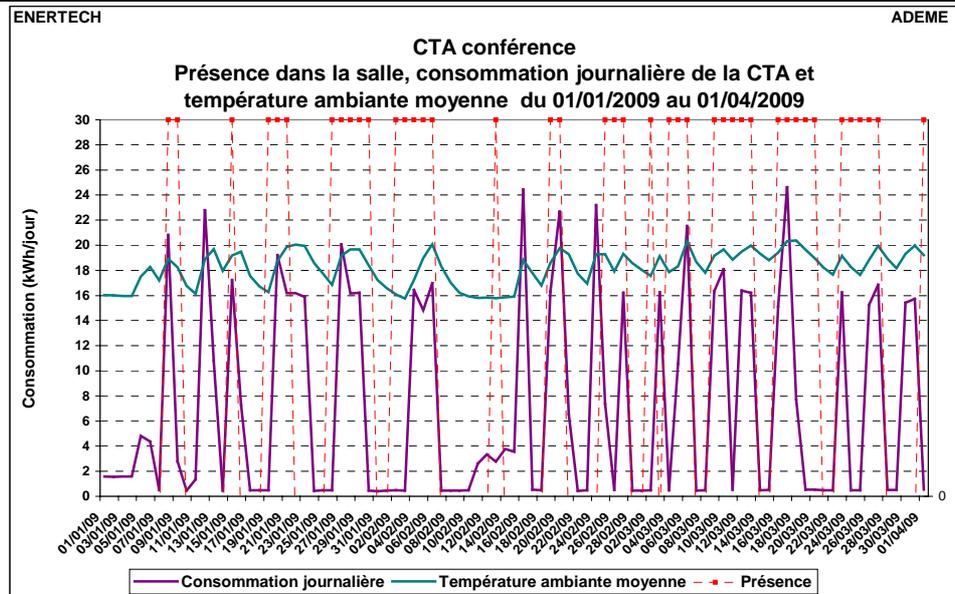


Figure 4.88 : CTA Conférence – Corrélation entre présence, consommation et températures journalières

IV.5.2.3 Economies réalisables

Pendant 26 % du temps la CTA fonctionne sans présence ou sans nécessité d'une relance pour hors gel ou ralenti. Il est donc possible d'économiser **346 kWh/an**.

IV.5.3 475 La CTA de la salle d'exposition

IV.5.3.1 Description de l'usage

La salle d'exposition, située au dernier niveau du bâtiment, peut en principe accueillir 135 personnes et fonctionne avec une CTA double flux, sans récupérateur de chaleur en tout air neuf. Le débit maximum est de 2.430 m³/h. Le débit réel est réglé au moyen d'un potentiomètre mis à disposition des usagers qui permet d'indiquer le nombre approximatif de personnes présentes. La puissance électrique de chaque ventilateur est de 0,55 kW.

La consommation annuelle de la CTA est de **493 kWh/an**, soit 3,0 Wh/m²_{SU}/an. La consommation des ventilateurs est respectivement de 263 kWh/an pour le soufflage et de 230 kWh/an pour l'extraction. Le coût afférant à cet usage est de 31 € H.T/an.

Comme le départ électrique de la CTA est directement issu de l'armoire de régulation en chaufferie, il n'a pas été possible d'isoler la consommation spécifique de la régulation de la CTA.

La CTA a été mise en route 25 fois durant l'année de mesure (toutes entre le 10/09 et le 03/04). Elle n'a pratiquement jamais fonctionné en l'absence d'occupation.

La figure 4.89 représente la répartition de la consommation entre les différents modes de fonctionnement de la CTA. Ces modes sont les suivants :

- Normal chauffage : il existe une présence dans la salle d'au moins 30 minutes sur une journée
- Normal ralenti : il n'existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C
- Fonctionnement CTA sans présence : ceci correspond aux quelques occurrences où l'on a observé un fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée alors que la température était supérieure à 17°C

- Régulation + Veille : pour cette CTA, il était impossible de séparer la consommation de veille de celle de régulation.

On observe que, dans le cas de cette salle assez peu utilisée, la consommation du poste régulation + veille représente près des deux tiers de la consommation totale avec 311 kWh/an. Viennent ensuite le fonctionnement normal (en cas de présence) puis le fonctionnement hors gel. C'est cette CTA sur laquelle on observe le moins de fonctionnement anormal (fonctionnement alors qu'il n'y a aucune présence).

Le maintien en ralenti de cette salle reste néanmoins quelque peu énigmatique. En effet, nous avons déjà remarqué que la pompe alimentant la CTA n'était souvent pas en fonctionnement alors que la température ambiante était inférieure à 12°C. Nous faisons la même constatation pour la CTA elle-même. On peut se demander si cette salle est réellement mise en ralenti, ou bien si elle est laissée au gré de la température. Il serait nécessaire de recalibrer les points de consigne afin d'éviter toute dégradation consécutive à une température ambiante trop basse qui pourrait intervenir durant un hiver rigoureux.

Lors du traitement des données, toutes les consommations associées à des températures inférieures à 16°C sans présence ont été considérées comme faisant partie d'un fonctionnement « de ralenti », mais il n'est pas certain que ces consommations soient réellement liées à un fonctionnement de ralenti.

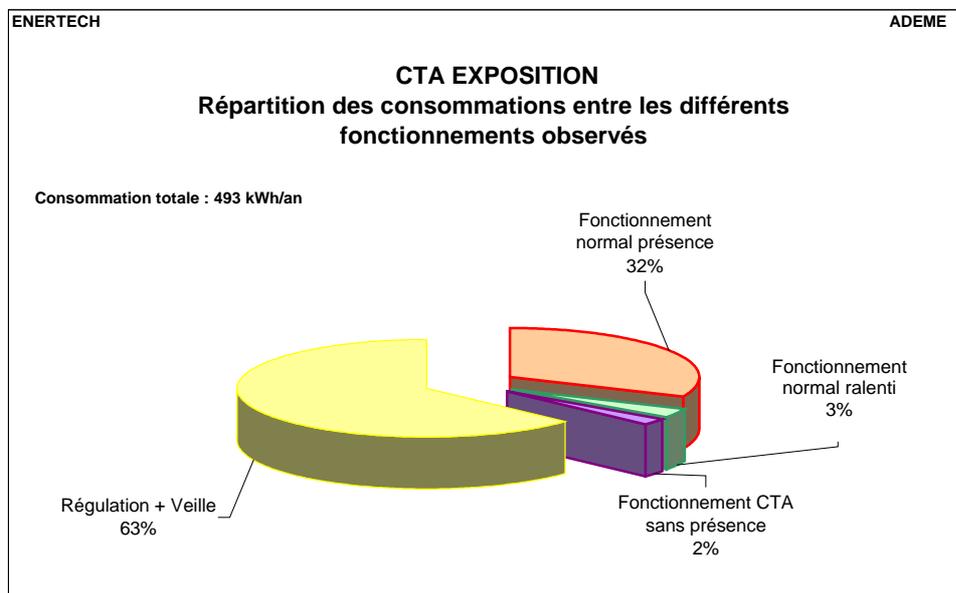


Figure 4.89 : CTA salle expo – Structure de la consommation par mode de fonctionnement

IV.5.3.2 Economies réalisables

La régulation (commande + variateur de vitesse) consomme énormément sur cette CTA. Il serait nécessaire de supprimer l'alimentation continue de la CTA (en coupant la protection par exemple) lorsqu'elle n'est pas utilisée afin de supprimer totalement les consommations de veille. L'économie escomptée serait, en supprimant totalement le fonctionnement hors occupation (très mineur ici), de **321 kWh/an soit 65% de la consommation initiale**.

IV.5.4 La VMC de la zone laboratoire

IV.5.4.1 Description de l'usage

La zone laboratoire bureaux est équipée d'une ventilation simple flux indépendante des autres bureaux. Ce système particulier est dû au désistement très tardif, en cours de construction, d'un locataire ayant besoin de laboratoires.

L'extracteur a une puissance de 110 W. La consommation annuelle est de **960 kWh/an** soit 1,4% de la consommation du bâtiment. Mais **cette ventilation a fonctionné en continu 24h/24 durant toute l'année** ! On peut dès lors estimer que 68 % de la consommation a lieu en période d'inoccupation.

IV.5.4.2 Economies réalisables

En installant une horloge, l'économie réalisable sur ce poste est de **640 kWh/an** soit 68% de la consommation initiale.

IV.5.5 Les ventilateurs de plafond

Rappelons qu'il s'agit de ventilateurs brasseurs d'air placés au plafond de la salle originellement destinée au laboratoire (Façade Ouest à R+1).

Aucun allumage et par conséquent aucune consommation n'a été observée au niveau du départ électrique des ventilateurs de plafond.

IV.5.6 Récapitulatif de la consommation des systèmes de ventilation

La consommation totale des systèmes de ventilation du bâtiment est de **18 963 kWh/an**, soit 28 % de la consommation totale du bâtiment hors atelier. Avec 85 % de la consommation c'est la CTA des bureaux et salles de réunion qui arrive en tête avec 16 190 kWh/an.

Viennent ensuite la CTA de la salle de conférence (1 320 kWh/an) puis la ventilation simple flux des laboratoires (960 kWh/an).

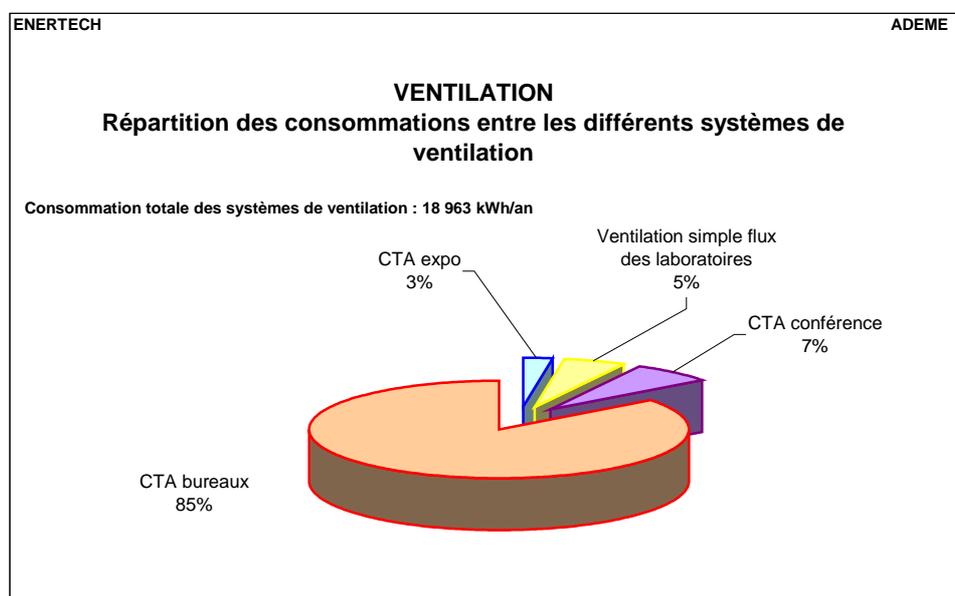


Figure 4.90 : Structure de la consommation du poste ventilation de l'INEED

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques des systèmes de ventilation ainsi que leurs consommation et durée de fonctionnement :

| CTA | Durée de fonctionnement mesurée (h/an) | Puissance moyenne en fonctionnement (W) | Débit maximum (m3/h) | Variation de vitesse | Consommation annuelle (kWh/an) | Economie réalisable KWh/an |
|--|--|---|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| CTA bureaux et salles de réunion | 6 375 | 2 470 | 4100 | Oui | 16 190 | 6 856 (-42 %) |
| CTA de la salle de conférence | 872 | 1 310 | 5600 | Oui fonction nombre personnes | 1 320 | 346 (-26 %) |
| CTA de la salle d'exposition | 193 | 858 | 2400 | Oui fonction nombre personnes | 493 | 321 (-65 %) |
| Ventilation simple flux zone laboratoire | 8760 | 110 | | Non | 960 | 640 (-67 %) |
| Ventilateurs de plafond | 0 | 0 | | Non | 0 | 0 (-0 %) |
| Somme | | | | | 18 963 | 8 163 (-43 %) |

La figure 4.91 représente la structure de la consommation entre les différents modes de fonctionnement de l'ensemble des systèmes de ventilation du bâtiment.

On observe que **40 % de la consommation totale est dû à un fonctionnement en dehors des heures d'occupation, des heures en mode ralenti (CTA conférence et CTA exposition) et des heures en régime de surventilation nocturne (CTA bureaux).** La consommation qui pourrait être économisée par un fonctionnement uniquement aux périodes légitimes est de 7 604 kWh/an.

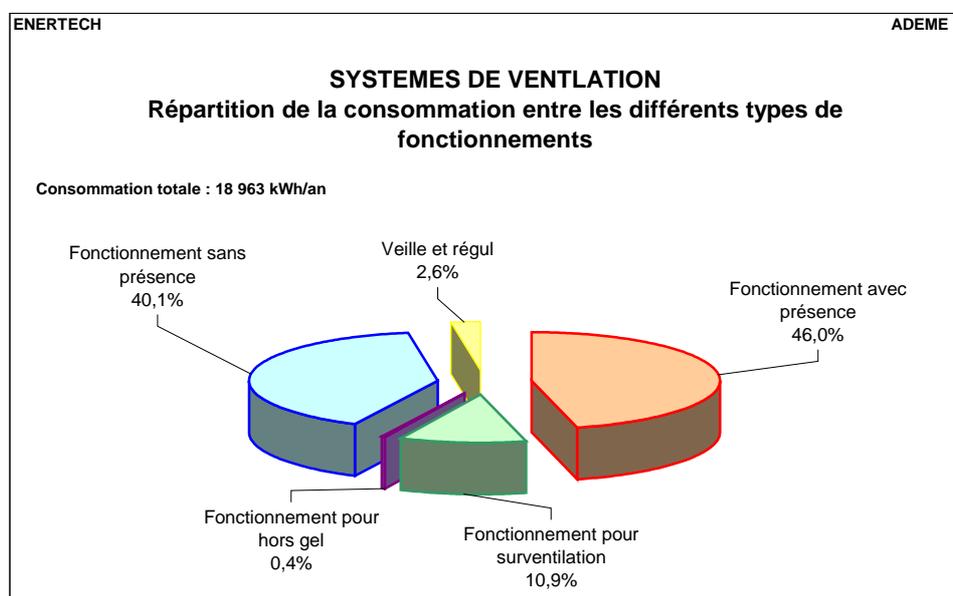


Figure 4.91 : Structure de la consommation du poste ventilation de l'INEED par mode de fonctionnement

La figure 4.92 représente la structure du gisement d'économie réalisable sur le poste ventilation de l'INEED.

Au total, **une économie de 43 % (8 162 kWh/an) est possible** de manière assez simple, **ce qui ramènerait à 4,1 kWh/m²SU /an la consommation nominale d'électricité du poste ventilation**. C'est la CTA des bureaux avec son fonctionnement quasi permanent qui génère le plus d'économies avec 6.856 kWh/an. Ces économies sont simples d'accès car le « mal » est dû à une mauvaise programmation du fonctionnement des ventilateurs. Toutes les entreprises de maintenance savent faire un bon réglage.

La question est plutôt de savoir comment les installations ont-elles pu se dérégler à ce point pour en arriver à fonctionner quasiment en permanence alors qu'à la livraison du bâtiment elles étaient proprement calées et fonctionnaient aux heures d'occupation uniquement.

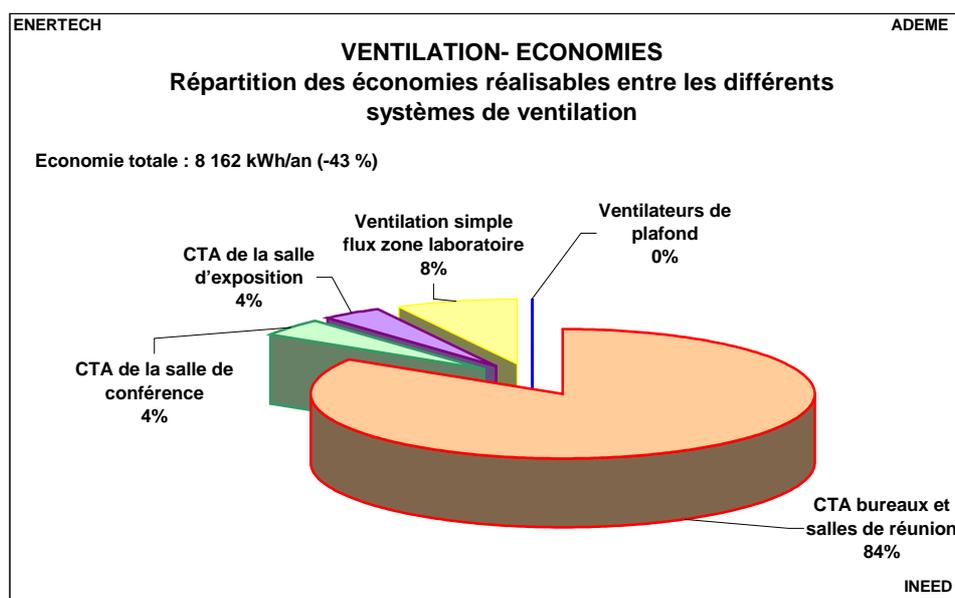


Figure 4.92 : Structure du gisement d'économie réalisable sur le poste ventilation de l'INEED.

IV.6 USAGES THERMIQUES DE L'ELECTRICITE

Nota : dans ce qui suit, on désigne par « usages thermiques » de l'électricité tous les usages conduisant à une production de chaleur sensible, que celle-ci soit positive (chauffage) ou négative (refroidissement).

IV.6.1 La climatisation

IV.6.1.1 Etude de la consommation de la climatisation

Seule la salle de conférence bénéficie, à la demande explicite du maître d'ouvrage, d'une climatisation. Durant l'année de mesure, elle a été mise en route pour la première fois le 03 juillet 2009 et, probablement par oubli, n'a par la suite jamais été arrêtée jusqu'à la fin de la campagne de mesure (le 09/09/2009) et a fonctionné 24h/24.....

La consommation de la climatisation de la salle de conférence (dans ce qui suit, par « climatisation » nous entendons le groupe froid, son ventilateur de refroidissement et la pompe de circulation d'eau glacée) est de **2 844 kWh/an**, soit 8,3 kWh/m²_{SU}/an (en se référant seulement à la surface des salles de conférence), soit encore 4,2% de la consommation totale du bâtiment. La consommation journalière est de 41,8 kWh/jour. **Mais ces valeurs sont anormales et ne doivent pas être retenues.**

La figure 4.93 représente la répartition des consommations de la climatisation entre le compresseur du groupe froid, son ventilateur de refroidissement et la pompe de circulation d'eau glacée. La consommation de cette pompe a déjà été traitée précédemment. Par suite d'une demande inexistante (puisque la salle n'était pas occupée, mais climatisée sans charge réelle) la pompe de circulation d'eau glacée qui a tourné en permanence, a plus consommé (1 540 kWh/an) que le compresseur (1265 kWh/an) !

La puissance électrique maximale atteinte dans la période d'observation par la climatisation est de 14,8 kW alors que la puissance maximale mobilisée par le bâtiment sur la même période est de 33,8 kW (avec atelier) ou 28,8 kW (hors atelier). Même si la climatisation consomme peu, la puissance qu'elle met en jeu reste importante et peut fortement modifier le montant des abonnements selon le type de tarif choisi.

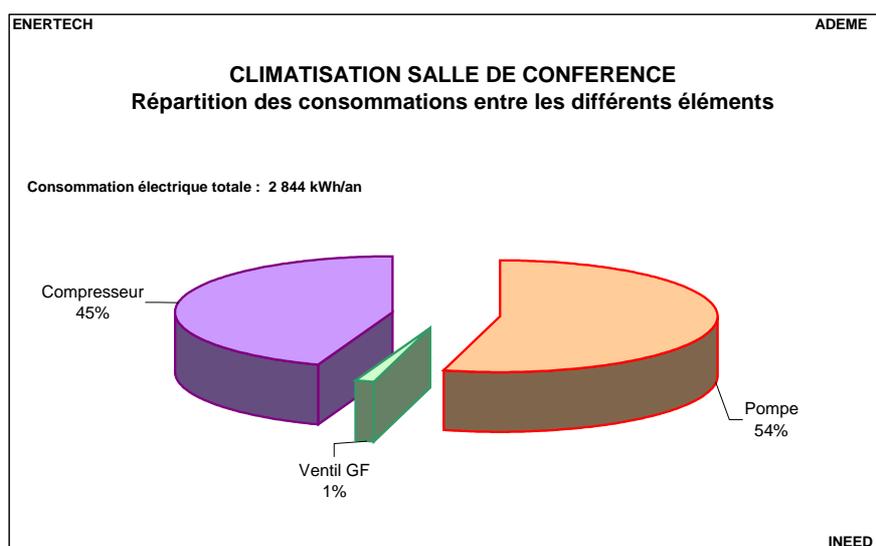


Figure 4.93 : Répartition des consommations électriques de la climatisation de la salle de conférence

Mais la climatisation d'une salle n'est effective que si l'on observe simultanément le fonctionnement du groupe froid et la ventilation de la CTA.... Or la figure 4.94 montre que **54 % de la consommation du poste climatisation a lieu alors que la CTA est arrêtée. Seuls 19% de la consommation (soit 254 kWh/an) sont réellement utiles**, ce qui ramènerait à 1,6 kWh/m²_{SU}/an la consommation de la climatisation pendant les seules périodes où elle a été utilisée.

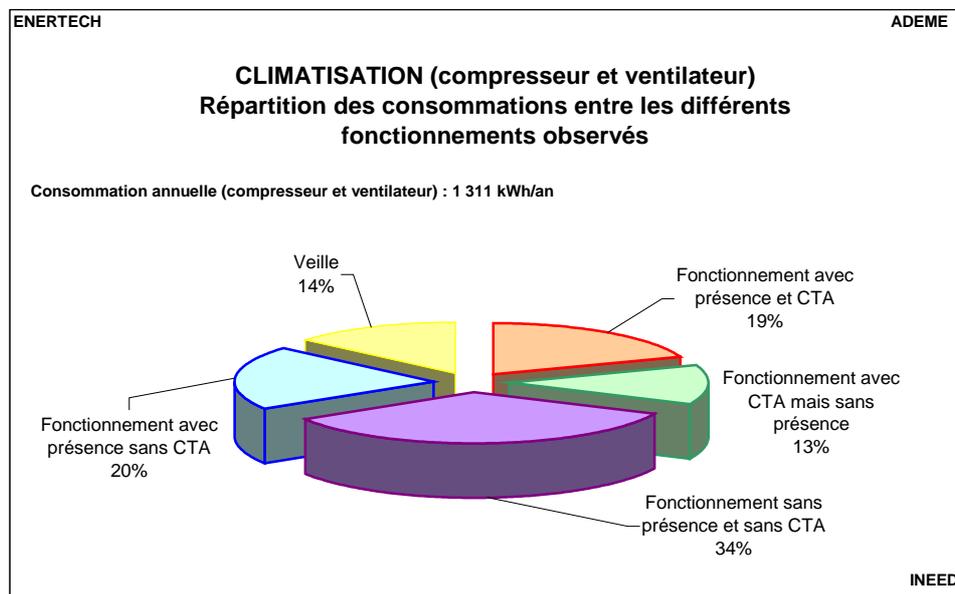


Figure 4.94 : Structure du poste climatisation de la salle de conférence en fonction des modes de fonctionnement

IV.6.1.2 Influence des principaux paramètres sur la consommation de la climatisation

La figure 4.95 représente l'évolution des puissances appelées respectivement par la « climatisation » et la CTA de la salle de conférence au cours de la semaine du 06/07 au 12/07/2009. On remarque que, même lorsque la CTA est à l'arrêt, il existe des consommations de climatisation. Cette consommation est due à la circulation d'eau glacée vers la batterie froide. La climatisation « rafraîchit » ainsi le local de la CTA conférence au lieu de rafraîchir la salle de conférence ou d'être arrêtée. La puissance électrique moyenne appelée par l'usage « climatisation » lorsque la CTA ne fonctionne pas est de 485 W. Ce cas de figure représente 54% de la consommation de la climatisation.

A contrario, dès que la CTA est en fonctionnement, la puissance appelée par la climatisation augmente fortement (puisque la batterie froide peut alors dissiper l'énergie). Cette puissance (hors pompe de circulation d'eau glacée) est de 4,3 kW. Ce type de fonctionnement représente seulement 19% de la consommation de la climatisation (compresseur et ventilateur).

La puissance de veille de la climatisation est de 24 W.

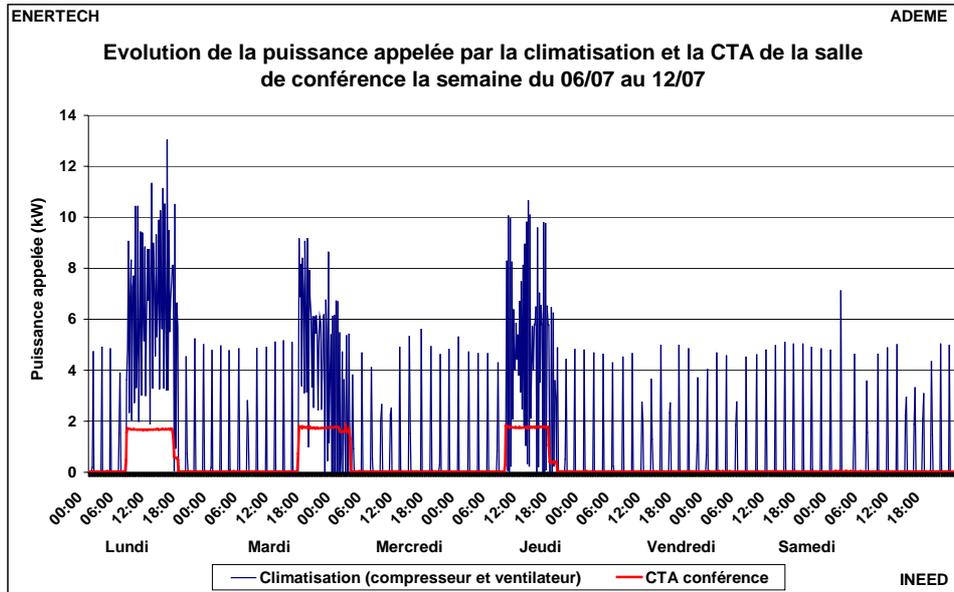


Figure 4.95 : Evolution des puissances appelées respectivement par la climatisation et la CTA de la salle de conférence au cours de la semaine du 06/07 au 12/07/2009

La figure 4.96 représente les variations de puissance de la climatisation (compresseur et ventilateur) et celles de la CTA du 02/07 au 13/07/2009. Figurent également la température extérieure et la température ambiante de la salle de conférence.

On observe que le premier jour, en l’absence de climatisation, la température ambiante augmente rapidement avec la température extérieure (+2°C en 2 heures) mais, dès la mise en fonctionnement de la CTA (sans climatisation), la température tend à se stabiliser malgré l’augmentation incessante de la température extérieure (effet du simple renouvellement d’air).

Le second jour la CTA est mise en marche en début d’après midi alors que la température extérieure était de 28°C et la température ambiante de 26°C. La température ambiante dans la salle passe alors de 26 à 23°C alors que la température extérieure est supérieure à 31°C.

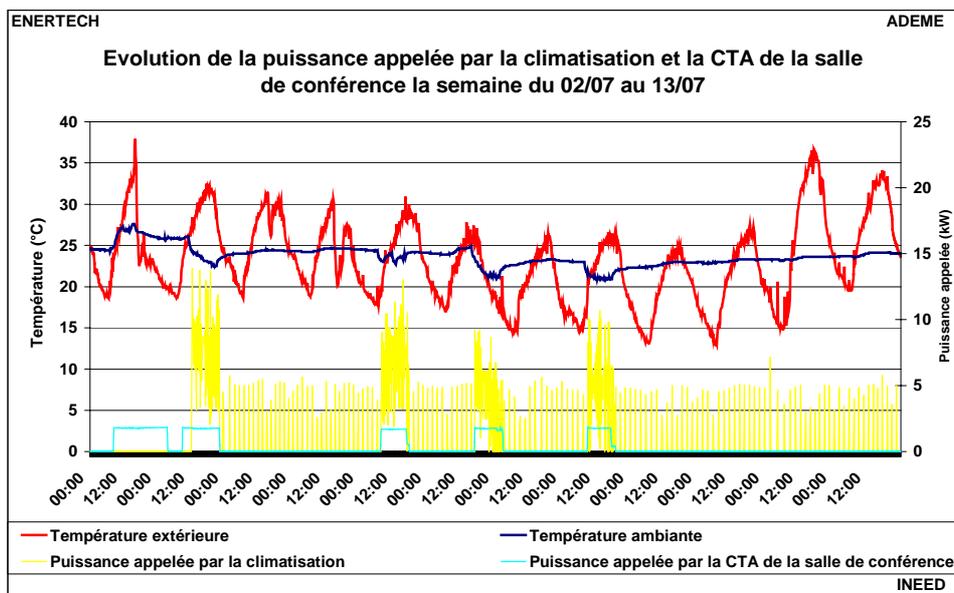


Figure 4.96 : variations de puissance de la climatisation et de la CTA du 02 au 13/07/2009, et variations des températures intérieure et extérieure

Ceci pose un premier problème : depuis le 19 Mars 2007, le Code de la Construction interdit de rafraîchir à moins de 26°C les locaux (sauf usages spécifiques). **L’INEED doit donc se mettre en**

conformité et faire en sorte qu'il ne soit pas possible de rafraîchir la salle de conférence à une température inférieure à 26°C.

La CTA a encore été mise en route 3 fois, associée à la climatisation, durant la période d'observation. La température dans la salle a toujours été inférieure à 24°C, et elle a même atteint 21°C.

La climatisation n'était pas un impératif dans ce bâtiment, et les concepteurs ne souhaitent pas la mettre en oeuvre parce qu'ils pensaient qu'elle n'était pas très utile ni très nécessaire. Sa présence, souhaitée par le maître d'ouvrage, montre bien toutes les difficultés qu'il y a désormais pour que son utilisation reste raisonnable, à savoir les journées consécutives avec forte présence en été. Les deux principaux problèmes rencontrés sont :

- d'abord la difficulté de programmer le fonctionnement de la climatisation durant les journées et les heures où elle est réellement nécessaire. Ceci devrait quand même pouvoir se résoudre assez facilement avec un minimum de bonne volonté et peut-être une modification des systèmes de pilotage de la climatisation,

- ensuite la difficulté de respecter la température ambiante avec climatisation, puisque celle-ci ne doit pas être inférieure à 26°C. Cette disposition n'existait pas au moment où l'installation a été conçue, et il serait donc nécessaire d'en modifier le fonctionnement au moyen d'une sonde de température arrêtant automatiquement la pompe d'eau glacée dès que la température dans la pièce devient inférieure à 26°C.

On peut se demander si la climatisation durant l'année de mesures aurait vraiment servi à quelque chose dans l'hypothèse où la température de 26°C aurait été respectée. Il est difficile de se prononcer avec certitude, mais selon toute probabilité, la réponse est non. Ceci ne remet pas pour autant en cause la présence de la climatisation dans ce bâtiment. On peut parfaitement concevoir et accepter sa nécessité « au cas où » une grande conférence a lieu pendant plusieurs jours dans les mois très chauds de l'été. En revanche il est important qu'en dehors de ces événements exceptionnels la consommation de la climatisation soit nulle ou extrêmement faible. Il faut considérer, au regard de l'année de mesures, que ce résultat n'est pas du tout atteint avec l'installation actuelle. Il va falloir très sérieusement modifier la manière dont elle est pilotée et gérée.

IV.6.1.3 Economie d'énergie réalisable

La climatisation a fonctionné en permanence à partir du 03 juillet. En arrêtant le groupe froid et sa ventilation lorsque la CTA n'est pas en fonctionnement l'économie escomptée est de **1 055 kWh/an** soit 81% de la consommation hors pompe d'eau glacée (dont l'économie a déjà été évaluée au § IV.4.5). Une autre économie, très difficile à chiffrer, consisterait à limiter à 26°C la température dans la salle de conférence. Mais pour cela il faudrait connaître la température qu'il y aurait eu sans climatisation afin de déterminer si celle-ci était nécessaire ou non. C'est évidemment impossible, mais on peut estimer qu'au moins les deux tiers de la consommation n'auraient pas existé si on avait respecté la limite des 26°C. C'est donc plus de 90 % de la consommation du groupe froid qui pourrait être économisé demain.

Remarque générale : l'analyse du fonctionnement réel de la climatisation de cette salle de conférence est très intéressante, car elle nous permet de voir que ce qui n'était qu'un élément de confort accessoire et non prioritaire, est devenu une source de dérapage énergétique considérable puisque que 90 % de sa consommation pourraient être évités si elle était utilisée de façon correcte. Ceci doit donc rendre extrêmement prudents les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre lorsqu'ils mettent en place des équipements dont on n'est pas certain que la consommation sera par la suite maîtrisée, notamment à cause d'un fonctionnement permanent, non nécessaire et qui ne profite pourtant à personne.

IV.6.2 Les chauffe eau

Le bâtiment dispose de 5 chauffe eau dont les caractéristiques figurent dans le tableau ci-dessous.

La consommation totale des cinq chauffe eau est de **2 203 kWh/an** soit 3,2% de la consommation du bâtiment, ou encore **0,84 kWh/m²_{SU}/an**. On voit que la consommation des chauffe-eau n'est pas du tout anodine, ce qui nous renforce dans l'idée qu'il ne faut mettre en place de l'eau chaude sanitaire que là où les besoins sont absolument impératifs, à savoir la cafétéria, l'entretien, et quelques usages spécifiques pour lesquels il conviendra d'être extrêmement vigilant. On doit considérer que pour tous les autres usages, notamment pour se laver les mains, l'eau chaude n'est pas strictement nécessaire dans un bâtiment de bureau et doit par conséquent être évitée.

| Implantation | Volume (l) | Consommation annuelle (kWh/an) |
|--|------------|--------------------------------|
| 2 ^{ème} étage Ouest cafétéria | | 696 (32 %) |
| 2 ^{ème} étage Est | 50 | 425 (19 %) |
| Rdc Ouest laboratoire 1 | 15 | 268 (12 %) |
| Rdc Ouest laboratoire 2 | 15 | 251 (11 %) |
| Rdc Ouest | 200 | 563 (26 %) |
| Total | | 2 203 |

Les figures 4.97 et 4.98 représentent les courbes de charges moyennes des différents chauffe eau respectivement pour les jours ouvrés et non ouvrés.

La figure 4.97 nous permet de voir comment sont utilisés les différents chauffe-eau. Pour celui de la cafétéria, et il n'y a aucune ambiguïté, il est bien utilisé au moment du déjeuner. Mais pour les appareils du Rdc Ouest labo 2 et Rdc Ouest, l'heure d'utilisation est également 13 heures. Il ne s'agit donc ni d'un entretien ménager, ni d'un usage spécifique. On ne se douche pas non plus à cette heure là. Il faut donc s'interroger sur la légitimité de cet usage, vu sous l'angle de la sobriété énergétique bien sûr....

Quant aux deux autres chauffe-eau, Rdc Ouest labo 1 et 2^{ème} étage Est, ils servent majoritairement entre 18 et 19h, donc probablement pour le ménage.

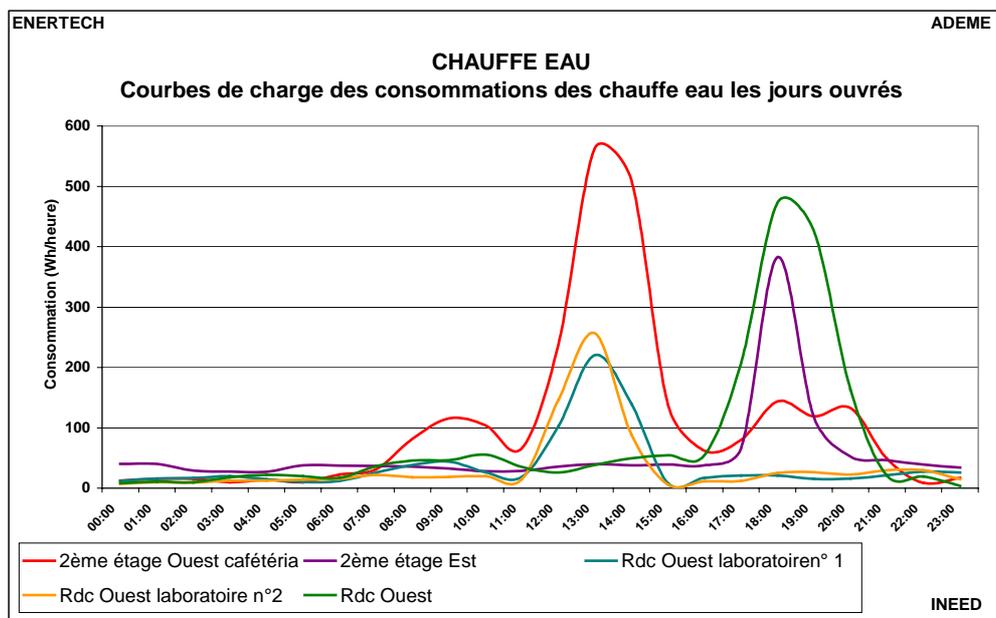


Figure 4.97 : Courbes de charge moyennes des chauffe-eau les jours ouvrés

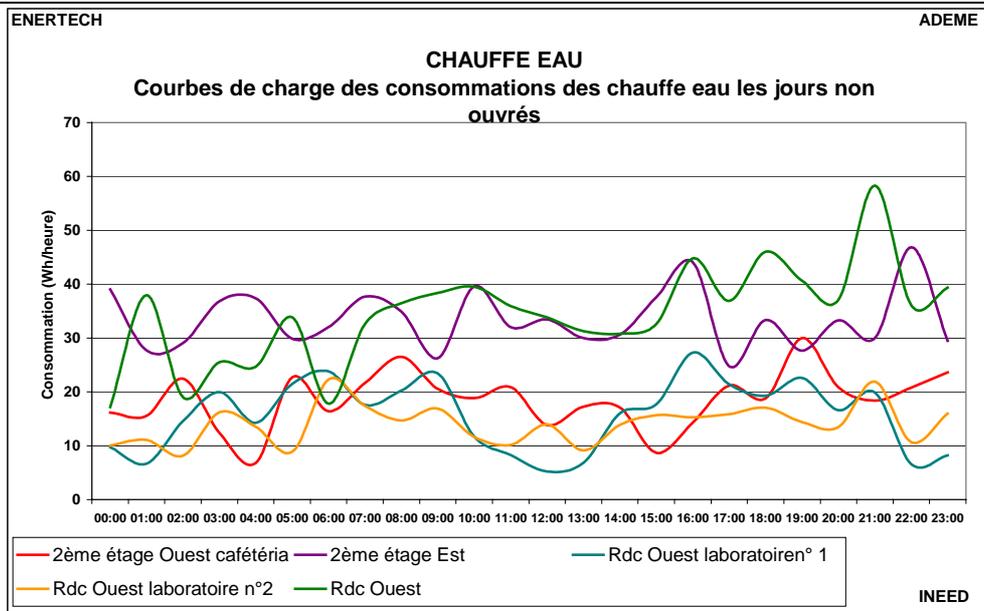


Figure 4.98 : Courbes de charge moyennes des chauffe-eau les jours non ouvrés

La figure 4.98 est très intéressante parce qu'elle nous renseigne directement sur les consommations d'entretien des différents matériels et sur leur poids dans la consommation globale. Le tableau suivant regroupe les principales caractéristiques issues de cette figure :

| Désignation | Puissance entretien (W) | Consommation d'entretien (kWh/an) | Consommation totale (kWh/an) | Part de l'entretien (%) | Type d'usage |
|--|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------|
| 2 ^{ème} étage Ouest cafétéria | 18,6 | 163 | 696 | 23 | Cafétéria |
| 2 ^{ème} étage Est | 33,0 | 289 | 425 | 68 | Ménage |
| RdC Ouest labo 1 | 15,6 | 137 | 268 | 51 | Ménage |
| RdC Ouest labo 2 | 15,0 | 131 | 251 | 52 | Non spécifique |
| RdC Ouest | 34 | 298 | 563 | 53 | Non spécifique |
| Total | 116 | 1018 | 2203 | Moy : 46,2 % | |

Il apparaît que **la consommation annuelle d'entretien représente 46 % de la consommation totale de l'ensemble des chauffe-eau !** Seul le chauffe-eau de la cafétéria présente un bilan acceptable, parce que son volume, son niveau d'isolation et son usage sont en bonne adéquation. Mais les pertes d'entretien, c'est-à-dire la consommation d'énergie qu'il faut fournir annuellement au chauffe-eau uniquement pour le maintenir à sa température de consigne, représentent quand même 23 % de sa consommation annuelle.

Le cas des deux chauffe-eau ménagers mérite réflexion : la consommation d'entretien représente 63 % de leur consommation totale. Le besoin n'est donc que de 255 kWh/an. Et pour cela, il a fallu (avec un coefficient énergie primaire/énergie finale réel de 3,2) mobiliser 2.218 kWh d'énergie primaire dont seulement 1 sur 9 va servir à quelque chose.... Nous devons collectivement méditer sur ce type de solution énergétique aberrante dont le rendement annuel global n'est que de 11,5 %....

C'est la raison pour laquelle la question des points de puisage d'eau chaude sanitaire doit être vue avec beaucoup plus de rigueur que par le passé, en n'acceptant leur installation qu'à condition que leur usage soit incontestable et incontesté, et en bannissant toute idée de confort superflu qui n'est plus de mise dans la situation énergétique actuelle. Il faudra notamment accepter définitivement l'idée qu'ils doivent être hyper isolés et qu'on ne peut plus se contenter des épaisseurs d'isolation dérisoires proposées par les fabricants.

Quant à l'économie d'énergie on peut considérer qu'il n'y a rien à faire.... Mais ce serait faux. Les usagers peuvent modifier leurs habitudes, et les ballons pourraient tous recevoir une isolation

complémentaire importante. Nous n'avons pas chiffré cette économie finement, mais elle est au moins de 25% (ce qui correspondrait à une division par deux des pertes d'entretien), soit **500 kWh/an**...

IV.6.3 Les radiateurs électriques

IV.6.3.1 Description de l'usage

On a dénombré 4 radiateurs électriques « pirates » dans le bâtiment. La consommation totale de ces radiateurs est de 256 kWh/an. L'ensemble des radiateurs a fonctionné de manière peu fréquente, mais il faut reconnaître qu'il n'existe pas une fiabilité totale sur les mesures, car certains usagers débranchaient volontairement le mesureur. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques observées :

| <i>Local</i> | Consommation annuelle (kWh/an) | Temps de fonctionnement annuel (heure/an) |
|---------------|--------------------------------|---|
| Appui bio | 42 | 31 |
| Corabio | 35 | 58 |
| Néopolis nord | 171,9 | 310 |
| Corabio | 7 | 18,5 |

IV.6.3.2 Economies réalisables

La température ambiante n'est pas du tout insuffisante, elle dépasse même largement les 19°C. Le bâtiment est confortable, mais c'est ensuite une question de métabolisme individuel qui ne peut être compensé par une élévation de la température de l'ensemble des locaux, mais plutôt par des vêtements adaptés à chaque saison et à chaque personne. En conséquence, l'ensemble des radiateurs électriques devraient être retiré, soit **une économie de 256 kWh/an**.

IV.6.4 Récapitulatif de la consommation des usages thermiques de l'électricité

La consommation des usages thermiques du bâtiment est de **4 394 kWh/an** soit 6,4% de la consommation du bâtiment, soit encore (en prenant toute la surface hors atelier) **1,7 kWh/m²_{SU}/an**. Les chauffe eau arrivent en tête avec 2 200 kWh/an, puis la climatisation de la salle de conférence (1 308 kWh/an hors pompe d'eau glacée) et enfin la chaudière et la régulation de la chaufferie (627 kWh/an).

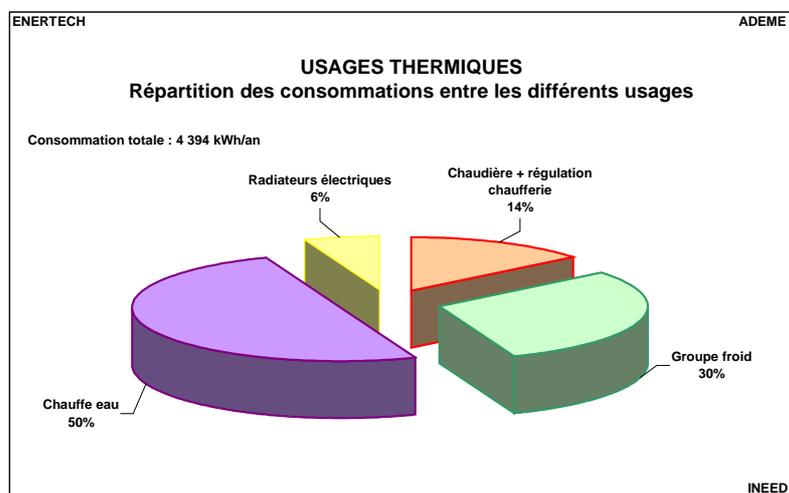


Figure 4.99 : Structure de la consommation des usages thermiques de l'électricité

Le tableau suivant reprend les caractéristiques des usages thermiques de l'électricité ainsi que leurs consommation et durée de fonctionnement

| Usages thermiques de l'électricité | Consommation annuelle (kWh/an) | Economie réalisable (kWh/an) |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Chauffe eau | 2 203 | 500 (-23%) |
| Climatisation (hors pompe eau glacée) | 1 308 | 1055 (-81 %) |
| Chaudière et régulation chaufferie | 627 | 105 (-17%) |
| Radiateurs électriques | 256 | 256 (-100 %) |
| Somme | 4 394 | 1 915 (-44 %) |

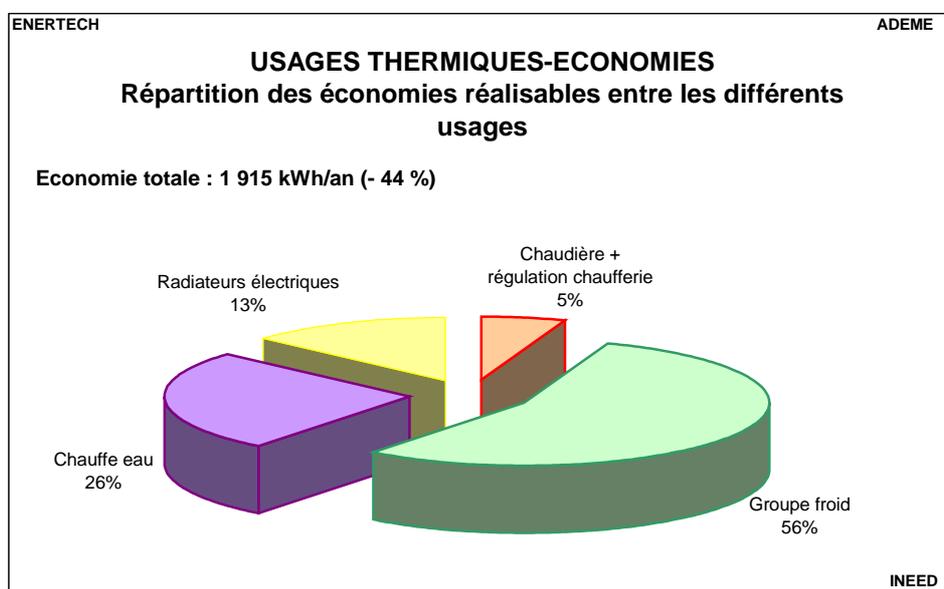


Figure 4.100 : Structure des économies réalisables sur les usages thermiques de l'électricité

IV.7 LES APPAREILS DIVERS

IV.7.1 Les distributeurs de boissons

IV.7.1.1 Description de l'usage

On dénombre trois distributeurs automatiques de boissons (hors équipement individuels) dont :

- Un distributeur d'eau
- Deux distributeurs de boissons chaudes

La consommation totale des trois distributeurs automatiques est de **1 445 kWh/an** soit 2% de la consommation du bâtiment, soit encore 0,55 kWh/m²_{SU}/an. Le montant de la facture associée vaut **90 euros HT/an**. La consommation des différents appareils est de :

| | |
|----------------------|---------------------|
| - machine à café RdC | : 766 kWh/an (53 %) |
| - machine à café R+1 | : 564 kWh/an (39 %) |
| - machine à eau RdC | : 116 kWh/an (8 %) |

La figure 4.101 représente les courbes de charge des distributeurs de boissons. On remarque que la consommation en dehors des heures d'occupation est très importante. Ces machines comportent en effet un dispositif de maintien en température de l'eau pour faire le café (ou pour maintenir l'eau fraîche) et ce maintien en température n'a pas de raison d'être la nuit et les jours non ouvrés. On pourrait donc réduire la consommation de moitié les jours ouvrés et de 100 % les jours non ouvrés en arrêtant ces machines.

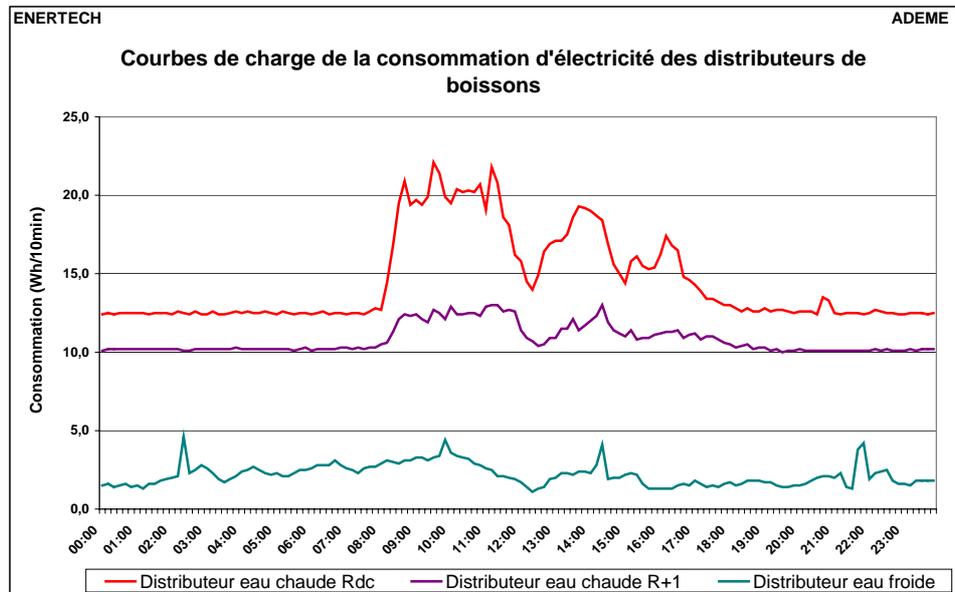


Figure 4.101 : Courbe de charge moyenne les jours ouvrés pour les distributeurs de boissons

IV.7.1.2 Economies réalisables

On peut se demander la raison du fonctionnement de ces machines en dehors de l'occupation du bâtiment. **876 kWh/an soit 61 % de la consommation de ces appareils pourrait être économisée** simplement en coupant l'alimentation des machines (par exemple à l'aide d'une horloge hebdomadaire).

IV.7.2 L'ascenseur

Le bâtiment est équipé d'un ascenseur. Celui-ci est très peu utilisé de par le faible nombre d'étages et l'ergonomie du bâtiment. Sa consommation est de **466 kWh/an**, mais cette valeur est très peu représentative de la consommation de cet usage.

La figure 4.102 représente la courbe de charge des consommations de l'ascenseur les jours ouvrés et non ouvrés.

La puissance à l'arrêt (régulation essentiellement) est de 24W. La consommation annuelle due à cette « veille » est donc de 210 kWh/an, soit 45 % du total annuel. On est à nouveau en face d'un usage qui rend service de temps en temps, mais consomme énormément en dehors des périodes où il rend service, à un point tel que sa non utilisation peut représenter une consommation supérieure à son utilisation. Il faudrait que les constructeurs comprennent que les bâtiments de demain se joueront autour des consommations d'électricité, et qu'en conséquence, TOUS les appareils devront être optimisés. On ne pourra plus accepter que des appareils consomment alors qu'ils ne sont pas utilisés. Ceux qui auront compris cela les premiers sont ceux qui s'en sortiront. Les autres disparaîtront.

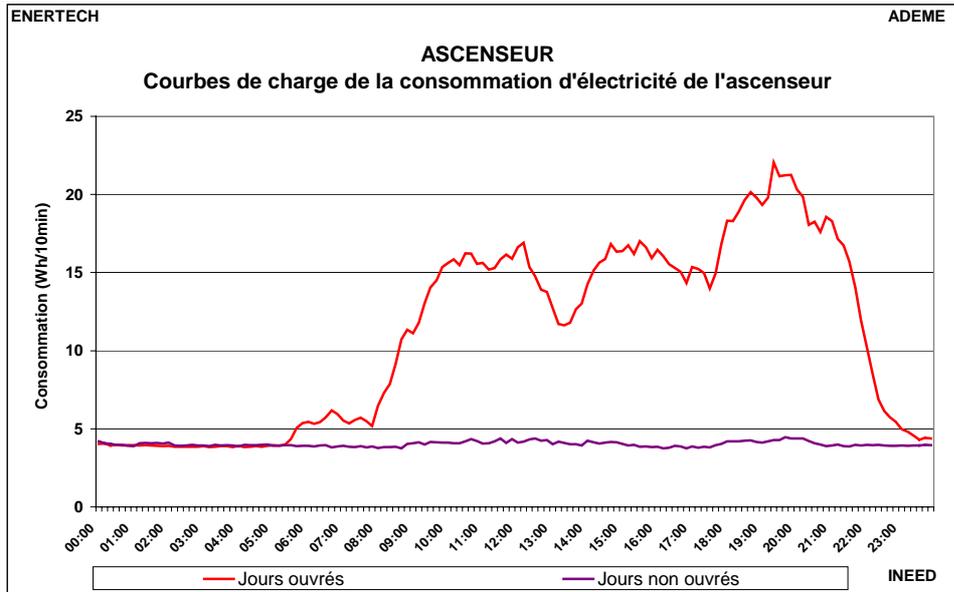


Figure 4.102 : Courbes de charge de la consommation d’électricité les jours ouvrés et non ouvrés

La figure 4.103 donne la répartition des consommations entre la régulation, l’éclairage et la force motrice de l’ascenseur.

La puissance de l’éclairage est d’environ 100 W, ce qui est anormalement élevé, et la durée d’allumage de 1 880 heures, ce qui ne peut là non plus, pas être attribué à la durée de fonctionnement de la machine. D’emblée, on voit que l’éclairage n’est pas le point fort de cette cabine.

Il n’y a donc rien de surprenant à observer que le principal poste de consommation de l’ascenseur est l’éclairage (190 kWh/an), puis la régulation (186 kWh/an) et enfin la force motrice avec 89 kWh/an.

La part de l’éclairage est très importante pourtant celui ci est coupé lorsque l’ascenseur ne fonctionne pas. C’est la temporisation après l’utilisation de l’appareil qui est trop importante. On a en effet observé des durées de temporisation supérieures à 40 minutes, alors que 30 secondes suffirait !

La puissance de la machine doit être de 6 kW. Elle a donc fonctionné 15h. La consommation de l’éclairage n’aurait donc dû être que de...1,5 kWh, soit 125 fois moins qu’aujourd’hui. La principale économie consisterait à revoir la temporisation de fonctionnement de l’éclairage. Cette économie pourrait être de **180 kWh/an, soit 39 %**.

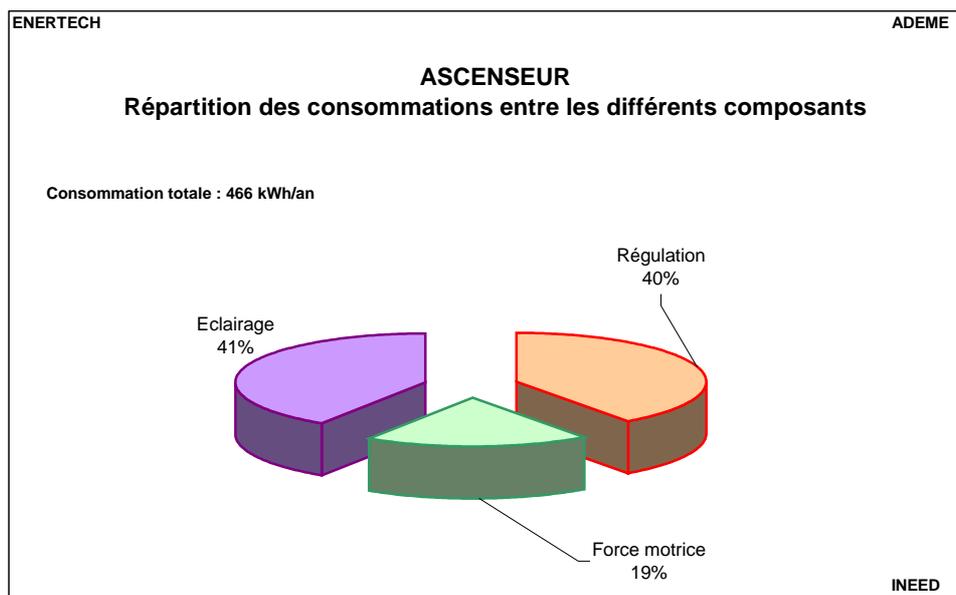


Figure 4.103 : Structure de la consommation d’électricité de l’ascenseur

IV.7.3 La cafétéria

La figure 4.104 représente la structure de la consommation de la cafétéria qui s'élève à **648 kWh/an**. C'est le réfri-congélateur qui a consommé le plus avec 298 kWh/an soit 47 % de la consommation de la cafétéria.

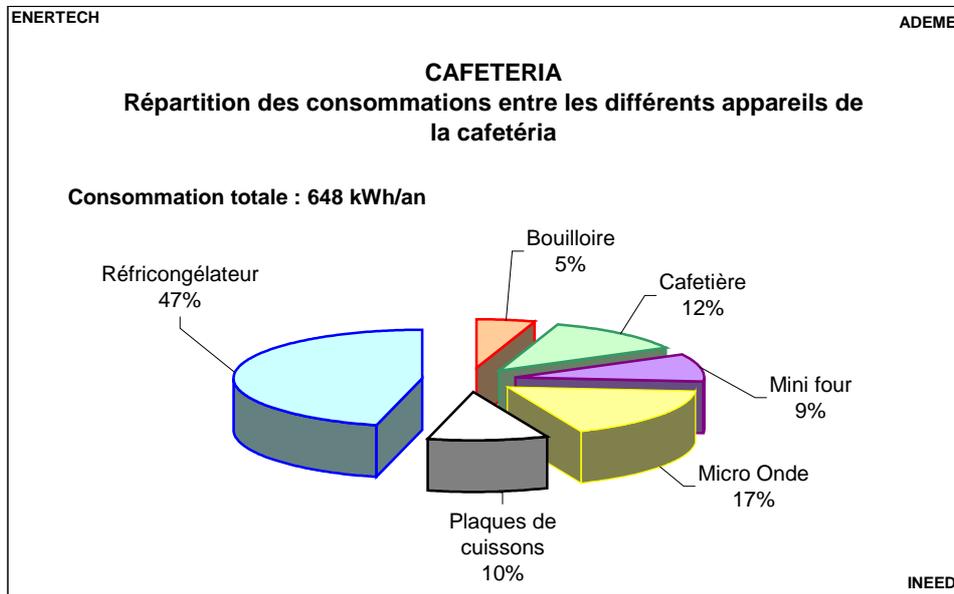


Figure 4.104 : Structure de la consommation d'électricité de la cafétéria

La figure 4.105 représente les courbes de charges de la cafétéria les jours ouvrés et non ouvrés.

La consommation de la cafeteria les jours non ouvrés est presque intégralement imputable au réfri-congélateur. On observe bien les augmentations liées à la pause de 09h00-10h00. Mais c'est principalement la pause déjeuner qui génère une brusque augmentation de consommation. La consommation moyenne d'une journée d'occupation est 2,1 kWh dont 47% lors de la pause déjeuner.

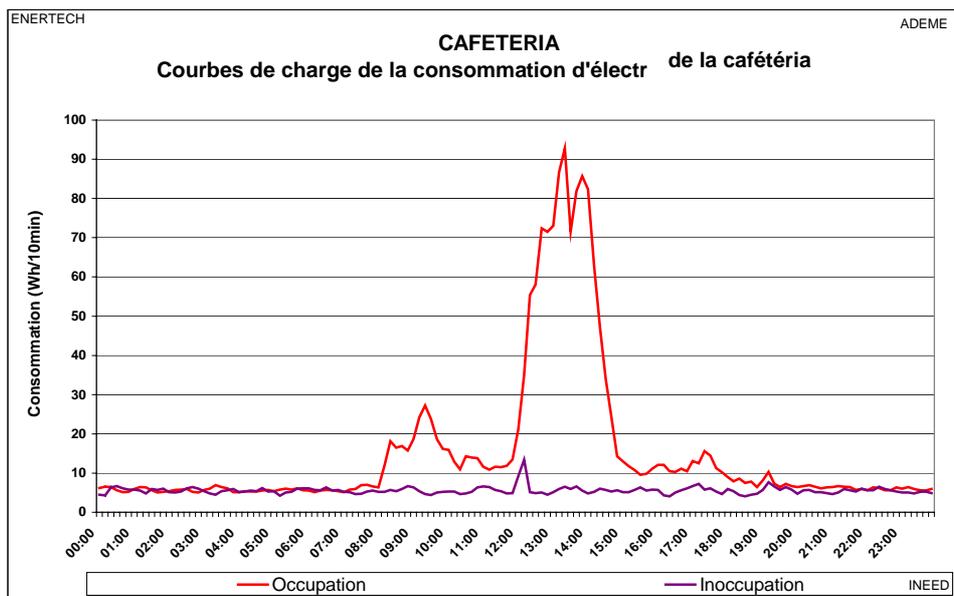


Figure 4.105 : Cafétéria : courbes de charge moyenne pour les jours ouvrés et non ouvrés

Il existe encore d'autres appareils tels que des bouilloires, cafetières et réfrigérateurs dans le bâtiment. On les a également suivis. Le tableau ci-dessous reprend le nombre et le type d'appareils avec leur consommation.

| Libellé | Nombre d'appareils suivis (y compris cafétéria) | Consommation (kWh/an) |
|--------------------|---|-----------------------|
| Réfrigérateur | 3 | 683 |
| Cafetière | 8 | 267 |
| Bouilloire | 3 | 219 |
| Micro onde | 3 | 132 |
| Mini four | 1 | 59 |
| Plaques de cuisson | 1 | 68 |
| Total | | 1428 |

IV.7.4 Les appareils audio-visuel de la salle de conférence

IV.7.4.1 Description de l'usage

On a instrumenté les deux prises de courant permettant l'alimentation du matériel audio-visuel de la salle de conférence. Il existe aussi 4 écrans motorisés dans cette salle. La consommation cumulée de l'ensemble des usages spécifiques est de **920 kWh/an**. Mais il faut relever que **48% de cette consommation a lieu durant les périodes de non occupation du bâtiment**. C'est vraiment sur les périodes de non occupation que l'on peut faire le maximum d'économie. Il suffirait de pouvoir arrêter par un disjoncteur tous les usages .

IV.7.4.2 Economies réalisables

En arrêtant (à l'aide d'une barrette multiprises ou d'une prise commandée) les différents appareils audio-visuel de la salle de conférence en dehors des périodes d'occupation du bâtiment **une économie de 445 kWh/an est réalisable**, soit 48% de la consommation initiale.

IV.7.5 Les appareils audio-visuel des salles de réunion

IV.7.5.1 Description de l'usage

Deux salles de réunion sont équipées de vidéoprojecteurs. La consommation annuelle de ces appareils est de **300 kWh/an**. Celui de la salle « Baie d'Halong » a consommé **233 kWh/an** et celui de la salle « Atoll d'Aldabra » a consommé **66 kWh/an**.

A noter que 27% de la consommation du vidéoprojecteur de la salle « Baie d'Halong » est imputable à la veille avec une puissance de veille de 7W. Il faudrait que sa commande passe par un interrupteur d'alimentation. Seule 5% de la consommation totale du vidéoprojecteur de la salle « atoll d'Aldabra » correspond à une puissance de veille de 1W.

IV.7.5.2 Economies réalisables

Tout comme pour les appareils de la salle de conférence, un arrêt des appareils en dehors des périodes d'occupation du bâtiment (barrette multiprises ou prise commandée) permettrait d'économiser **63 kWh/an soit 21% de la consommation de ces appareils.**

IV.7.6 Autres usages

Les tableaux suivants reprennent l'ensemble des usages électriques qui n'ont pas encore été traités dans le rapport. Il s'agit principalement d'usages dont la puissance appelée est constante (premier tableau) et d'usages divers à puissance variable (second tableau).

| Libellé (usages à puissance fixe) | Consommation (kWh/an) |
|--|-----------------------|
| Contacteur armoire | 235 |
| Protection horloge éclairage | 159 |
| Départ volets roulants salle de conférence + C0W | 155 |
| Centrale intrusion | 135 |
| Contrôle d'accès zone C1W et CEX | 112 |
| Clapet ventilation | 106 |
| Alarme CEX | 85 |
| Centrale incendie salle de conférence + C0E | 66 |
| Stores salle d'exposition | 53 |
| Protection BAES | 40 |
| Départs ventilation plafond | 24 |
| Alarmes techniques TGBT | 18 |
| Départ ventilation nocturne | 11 |
| Départ climatisation laboratoire | 2 |
| Départ TCDE | 0,8 |
| Somme | 1 202 |

| Libellé (usages à puissance variable) | Consommation (kWh/an) |
|--|-----------------------|
| TV Plasma de l'accueil | 164 |
| Arrosage automatique | 22 |
| Portail parking (valeur par déduction) | 400 |
| Compresseur (valeur par estimation) | 54 |
| Somme | 640 |

IV.7.7 Récapitulatif de la consommation des autres appareils

La consommation des usages thermiques du bâtiment est de **6.165 kWh/an** soit 9 % de la consommation du bâtiment, ou encore 2,36 kWh/m²_{SU}/an. Ce sont les machines à café qui consomment le plus avec 1.445 kWh/an.

Viennent ensuite la cafétéria et les différents appareils tels que bouilloire, cafetière... (1 428 kWh/an) puis les appareils à puissance constante.

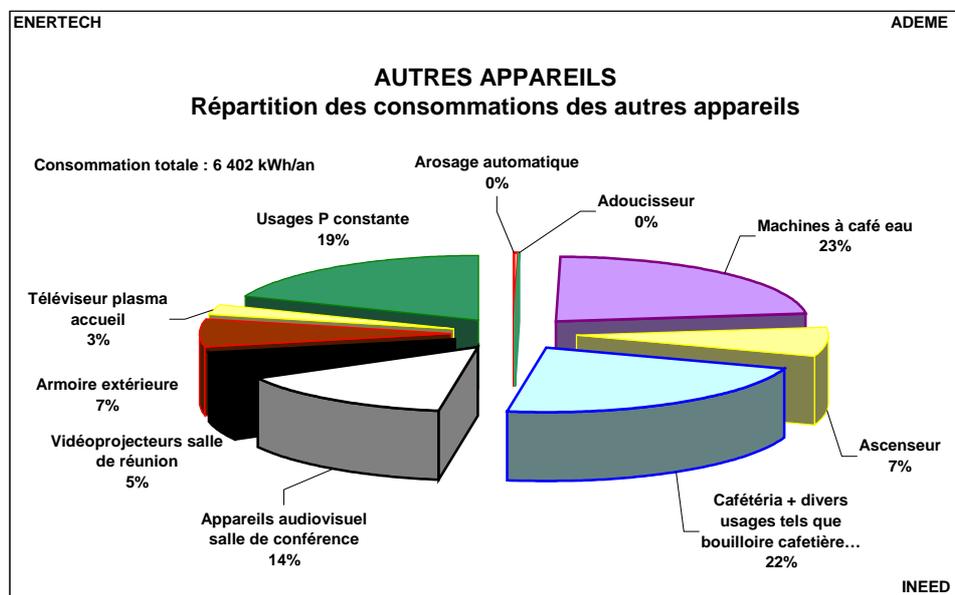


Figure 4.106 : Structure de la consommation électrique des « Autres appareils »

Le tableau suivant reprend les caractéristiques des ces autres appareils ainsi que leurs consommation et durée de fonctionnement

| Divers | Consommation annuelle (kWh/an) | Economie réalisable (kWh/an) |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| Machines à boissons | 1 445 | 876 (-61 %) |
| Cafétéria + bouilloires, cafetière... | 1 428 | - |
| Usages à puissance constante | 1 202 | - |
| Appareils audiovisuel salle de conférence | 920 | 445 (-48 %) |
| Ascenseur | 466 | 180 (-39 %) |
| Armoire extérieure | 454 | - |
| Vidéoprojecteurs salle de réunion | 300 | 63 (-20 %) |
| Téléviseur plasma accueil | 165 | 100 (-61 %) |
| Arrosage automatique | 22 | - |
| Adoucisseur | 0 | - |
| Somme | 6 402 | 1 664 (-26 %) |

La figure 4.107 représente la structure des économies réalisables pour le poste « Autres appareils ». Ce sont les machines à boissons qui permettraient le plus d'économie (53 % du total). Les appareils audiovisuels représentent l'autre partie des économies, essentiellement en arrêtant l'alimentation des appareils qui ne sont pas utilisés.

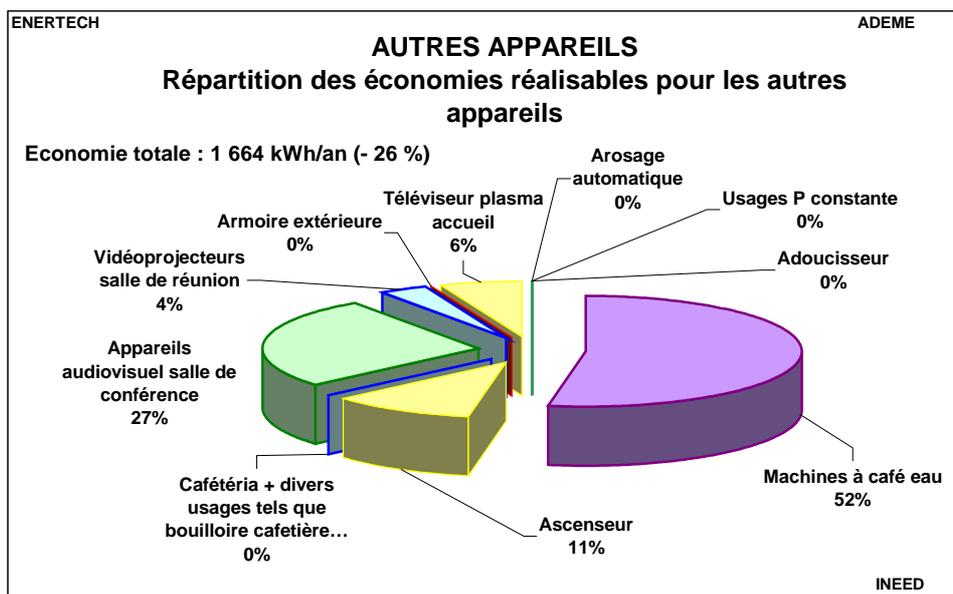


Figure 4.107 : Structure des économies réalisables sur le poste « Autres appareils »

IV.8 RECAPITULATIF DES ECONOMIES REALISABLES SUR L'ELECTRICITE

Au total **26.621 kWh/an** soit **39 %** pourraient être économisés. La figure 4.108 représente la structure des économies par poste.

C'est la ventilation qui permet l'économie la plus importante (**8 162 kWh/an**), puis la bureautique (**6 745 kWh/an**) et le poste d'éclairage (**6 115 kWh/an**).

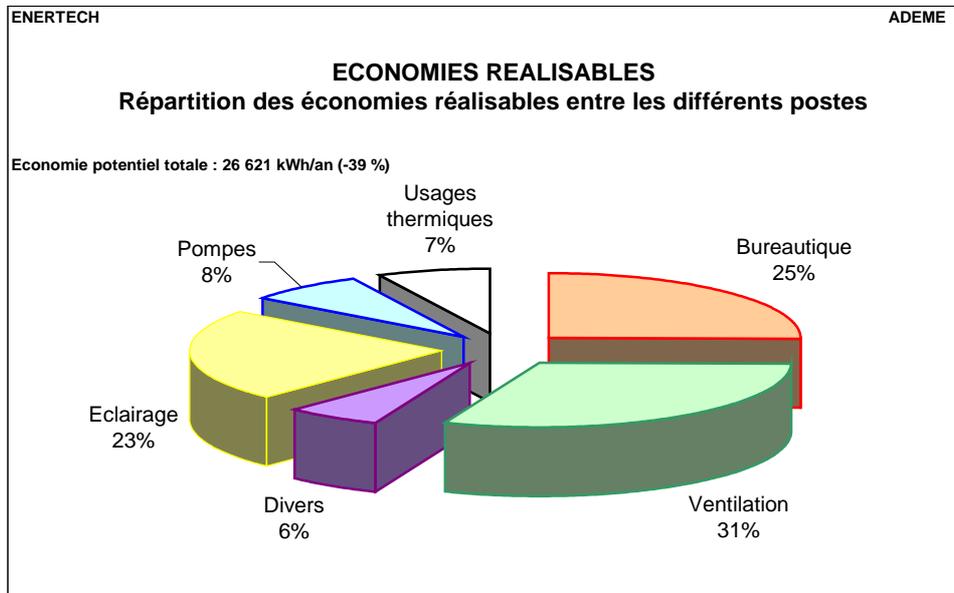


Figure 4.108 : Structure des économies d'électricité réalisables à l'INEED

La figure 4.109 représente l'évolution de la consommation des différents postes avant et après amélioration. La majorité des usages voient leur consommation surfacique considérablement diminuer.

La consommation d'électricité (tout postes confondus) passe ainsi de **26,1 kWh/an/m²** à **16,3 kWh/an/m²**.

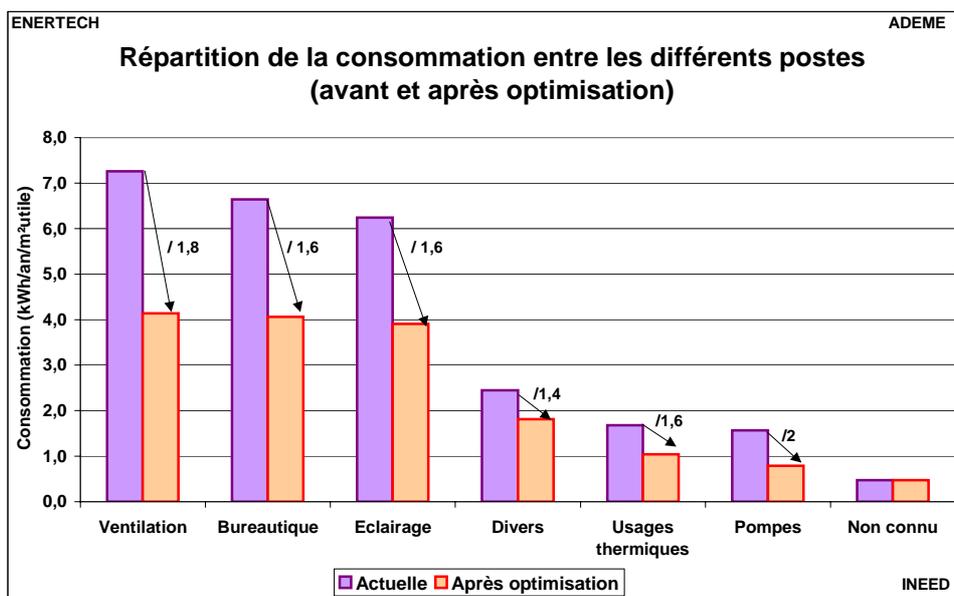


Figure 4.109 : Evolution de la consommation surfacique d'électricité par usage après économies

Partie V : Etude des consommations thermiques

V.1 CONSOMMATION TOTALE DU BATIMENT

Rappelons que la consommation de gaz a été de 10.517,5 m³ soit 120.007 kWh_{pcs}/an. On avait aussi mis en évidence que la partie hors atelier avait consommé 92.103 kWh_{pcs}/an, soit **35,2 kWh_{pcs}/an/m²_{STU}** (en excluant la surface de l'atelier).

Dans ce qui suit, on ne va plus raisonner que sur la chaleur sortant de la chaufferie, c'est à dire **l'énergie utile** qui est mesurée grâce aux compteurs de chaleur qui ont été placés immédiatement en aval de la chaudière.

La consommation d'énergie utile du bâtiment hors atelier (sortie chaufferie) est de **83,9 MWh/an** soit une consommation moyenne par unité de surface de **32,1 kWh/an/m²**. En prenant en compte l'atelier, la consommation du bâtiment en énergie utile passe à 109,3 MWh/an soit 37,8 kWh/an/m².

De cette observation préliminaire on peut tirer immédiatement une première conclusion : **le rendement annuel d'exploitation de la production de chaleur vaut 83,9/92,1 soit 91,1 % sur pcs**. Attention : ce rendement inclut les pertes du circuit primaire, depuis la chaudière jusqu'aux compteurs de chaleur. Ce n'est donc pas le rendement du générateur. Toutefois, si on voulait, à la manière des fabricants, l'exprimer par rapport au pci, il suffirait de le multiplier par le rapport pcs/pci du gaz (1,11). On aurait 101,1 % sur pci. Mais cette manière de référer le rendement au pci n'a aucun sens physique et devrait être définitivement abandonnée. Elle n'a aucun intérêt et ne fait qu'introduire de la confusion.

La figure 5.1 représente la structure des consommations d'énergie utile (en dehors de l'atelier). Les bureaux absorbent 76 % du total, dont seulement 2% pour le préchauffage d'air neuf, ce qui confirme le peu d'intérêt de ce préchauffage.

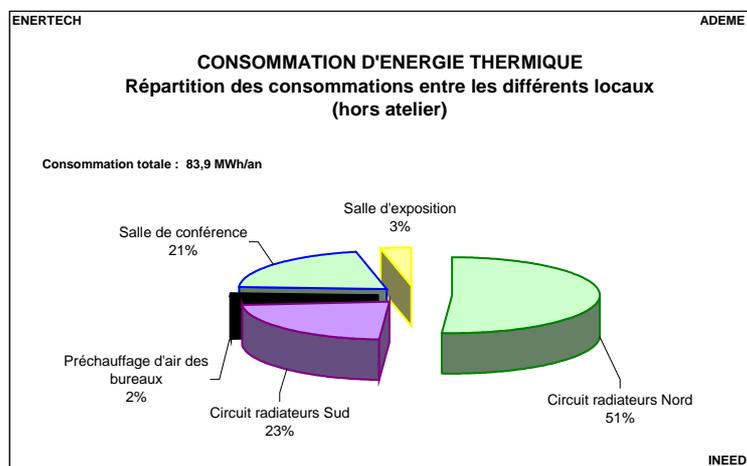


Figure 5.1 : structure de la consommation d'énergie utile par zone

La figure 5.2 représente l'énergie utile spécifique (kWh/m²/an) pour les différentes zones du bâtiment.

L'atelier apparaît de très loin comme la zone la plus consommatrice. Ceci est dû à une mauvaise qualité de l'enveloppe (le pied des murs extérieurs ne comporte aucun isolant par suite d'un oubli sur les plans d'architecte), à la présence d'une grande porte fréquemment ouverte, et à des opérations de séchage. La consommation surfacique d'énergie utile est de 90,8 kWh/an/m². Mais on trouve ensuite la salle de conférence (51 kWh/an/m²) ce qui est surprenant pour une zone à occupation très intermittente. Enfin, on observe sans surprise que la consommation du circuit nord est 2,3 fois supérieure à celle du circuit sud.

Ceci s'explique par la moindre insolation en hiver, mais aussi certainement par la présence du Mistral contre lequel il est bien difficile de se prémunir, notamment en terme d'étanchéité à l'air.

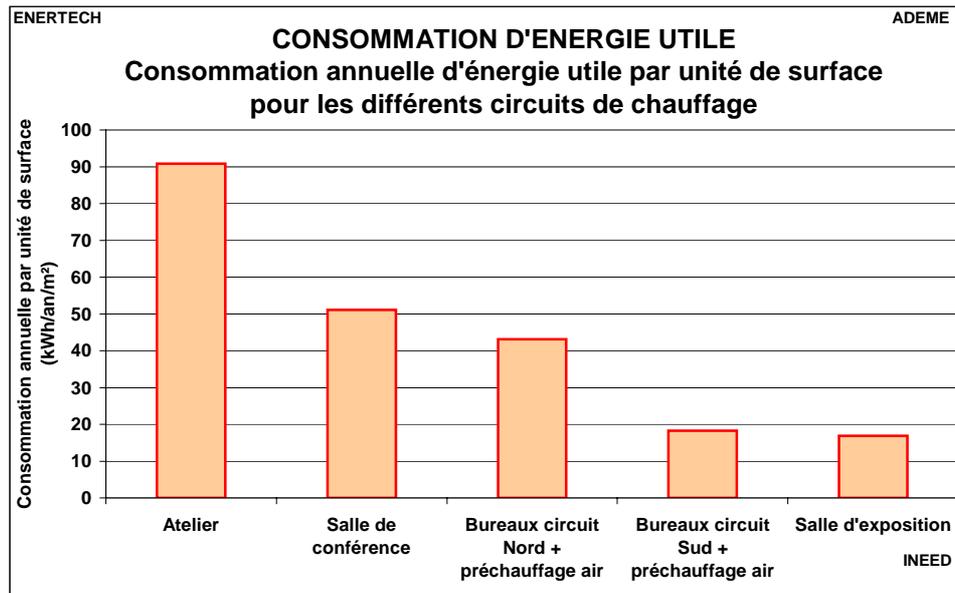


Figure 5.2 : consommation spécifique d'énergie utile par zone (kWh/m²/an)

La figure 5.3 représente l'évolution de la consommation d'énergie utile en fonction de la température extérieure (y compris atelier) les jours ouvrés et non ouvrés.

Il existe un lien évident entre les deux, mais on observe néanmoins une très forte dispersion. Ceci atteste que la température extérieure n'est pas le seul élément ayant une influence sur les consommations. Parmi les paramètres ayant un impact, on retiendra :

- La température extérieure
- Les apports internes humains
- Les apports internes liés à la consommation d'électricité
- Les apports du soleil
- Le jour de la semaine (en effet, le lundi présente des consommations supérieures du fait du passage de la température de consigne d'inoccupation à celle d'occupation)
- Le fonctionnement de l'aérotherme de l'atelier (local à occupation intermittente)

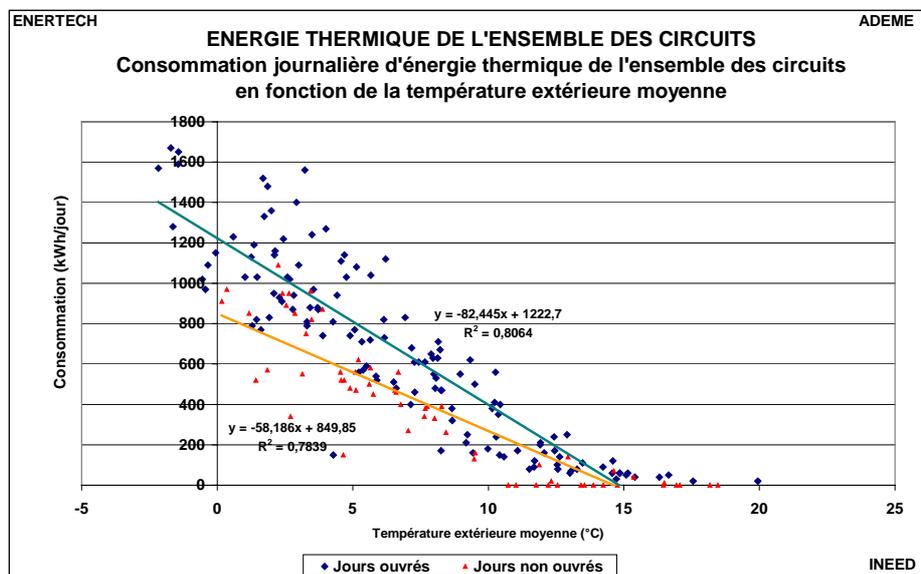


Figure 5.3 : consommation d'énergie utile départ chaufferie en fonction de la température extérieure

On peut se demander, vu le poids des usages électriques, si ceux-ci ne jouent pas un rôle très important dans l'équilibre énergétique du bâtiment. La figure 5.4 ne permet pas de savoir si le rôle qu'ils jouent est essentiel ou non, mais elle montre que, même associés à la température extérieure, ils ne permettent pas d'expliquer les variations de consommation journalière d'énergie utile.

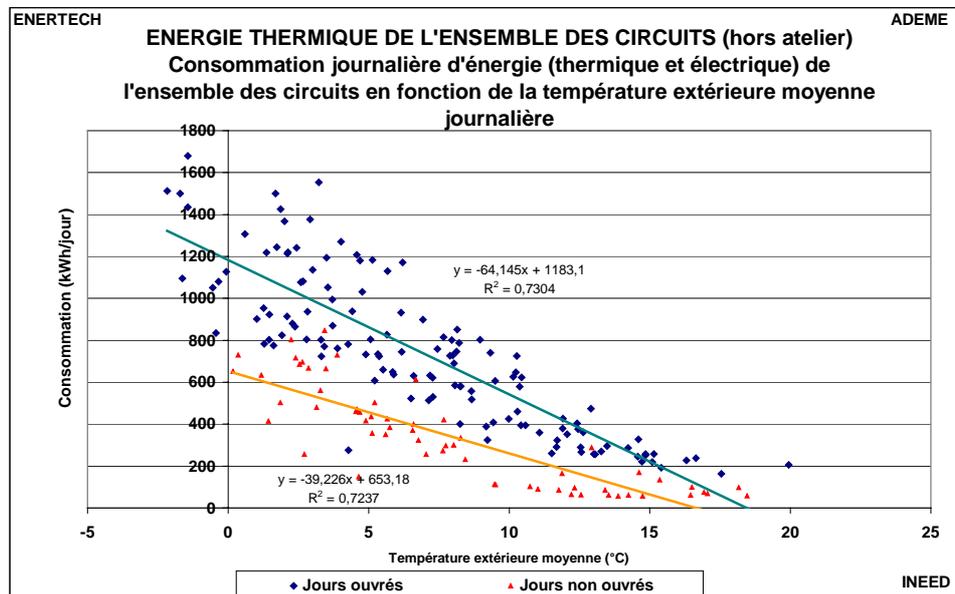


Figure 5.4 : consommation d'électricité et d'énergie utile départ chaufferie en fonction de la température extérieure

Même l'analyse que nous avons faite en recourant aux apports solaires n'a pas permis de déterminer une loi très précise sur l'évolution des besoins de chaleur en fonction des principaux paramètres identifiables. Il semble que des phénomènes complexes, comme l'occupation très intermittente de certains locaux (salle de conférence) ou l'inertie thermique, interdisent l'élaboration d'une loi prédictive simple.

V.2 LES CIRCUITS RADIATEURS NORD ET SUD

La consommation d'énergie utile des circuits radiateurs nord et sud sont respectivement de 42 800 kWh/an et 19 080 kWh/an. En ajoutant la consommation de la batterie de préchauffage des bureaux, les consommations surfaciques d'énergie utile des façades nord et sud sont respectivement de 43,1 et 18,3 kWh/an/m².

Les figures 5.5 et 5.6 représentent la consommation journalière d'énergie utile en fonction de la température journalière moyenne respectivement pour les circuits radiateurs nord et sud.

Avec cet usage de bureaux très homogène, on observe cette fois une relativement bonne corrélation de la consommation d'énergie utile des circuits nord et sud avec la température extérieure.

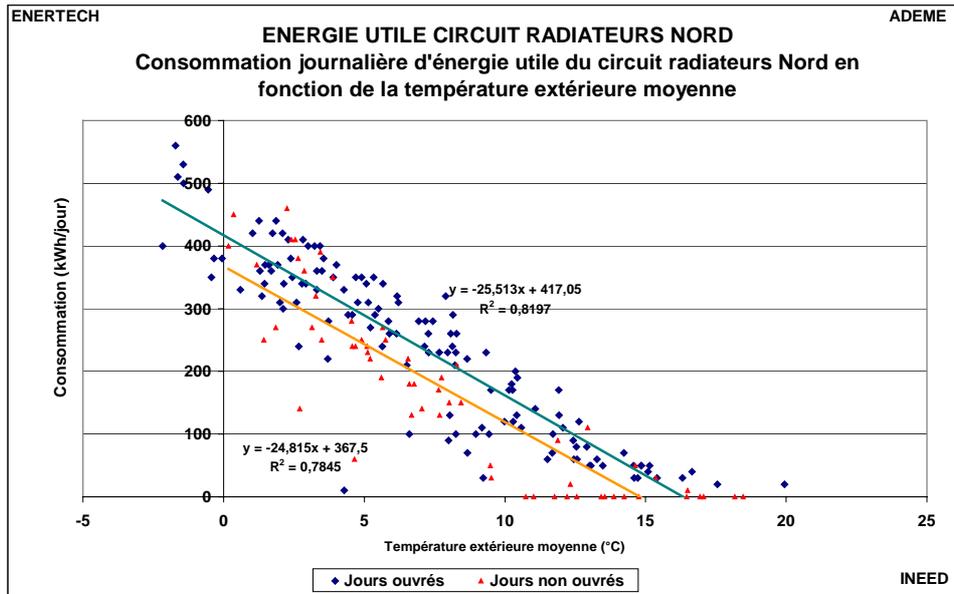


Figure 5.5 : Circuit Nord - Evolution de la consommation journalière d'énergie utile en fonction de la température extérieure

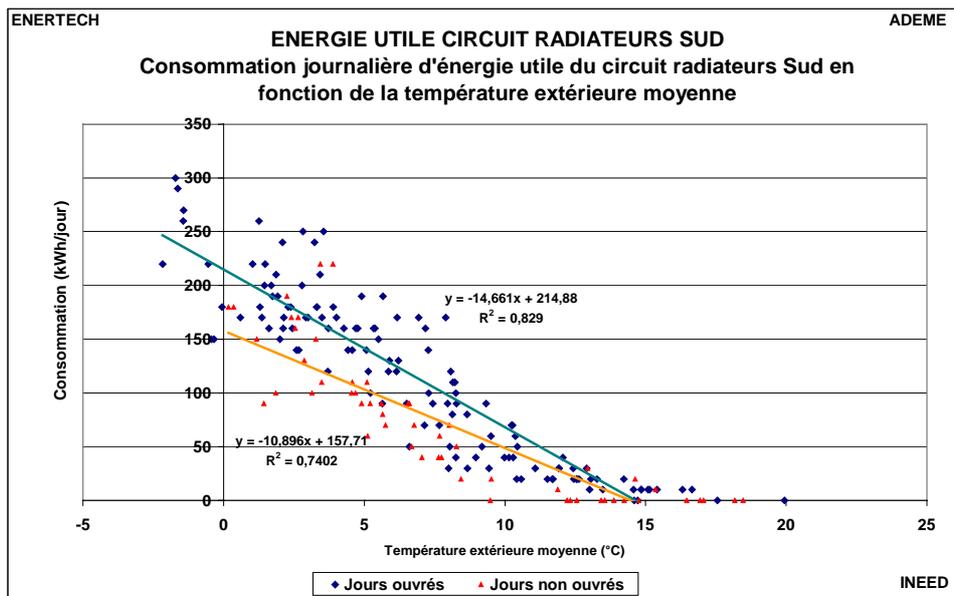


Figure 5.6 : Circuit Sud - Evolution de la consommation journalière d'énergie utile en fonction de la température extérieure

La figure 5.7 représente les courbes de charges horaires de la consommation d'énergie utile des circuits radiateurs Nord et Sud.

On observe plusieurs éléments intéressants :

- il existe bien un ralenti en période d'inoccupation. De ce point de vue l'installation semble fonctionner correctement,
- l'installation possède un optimiseur. Rappelons qu'il s'agit d'un micro processeur déterminant chaque jour, en fonction des températures intérieure et extérieure, de la constante de temps du bâtiment et de très nombreux autres facteurs, à quelle heure l'installation doit redémarrer afin que le bâtiment soit à la température de consigne à l'heure du début d'occupation.

Cette présence s'observe parfaitement sur la figure 5.7 : elle se caractérise par une « montée » en puissance lente le matin entre 3h et 6h pour le réseau Nord et entre 3h et 7 h pour le réseau Sud. Ceci traduit le fait, s'agissant d'une courbe de charge moyenne, qu'il existe peu d'occurrences de démarrage à

3 ou 4 h du matin (cela ne concerne que les jours très froids), mais qu'à 6h, quel que soit le jour de l'année, la chaudière est à pleine puissance.

- Au Nord comme au Sud on observe que l'énergie à fournir est maximum le matin pour démarrer, mais qu'après, et jusqu'au soir, la quantité d'énergie à fournir décroît inexorablement sous l'influence de la température extérieure, des apports solaires et des apports internes,

- Au Nord comme au Sud, on assiste vers 17-18h à un phénomène qui n'existe que les jours ouvrés : les besoins d'énergie utile chutent, par suite de la température élevée dans les bâtiments en fin de journée, phénomène qui n'existe évidemment pas les jours non ouvrés.

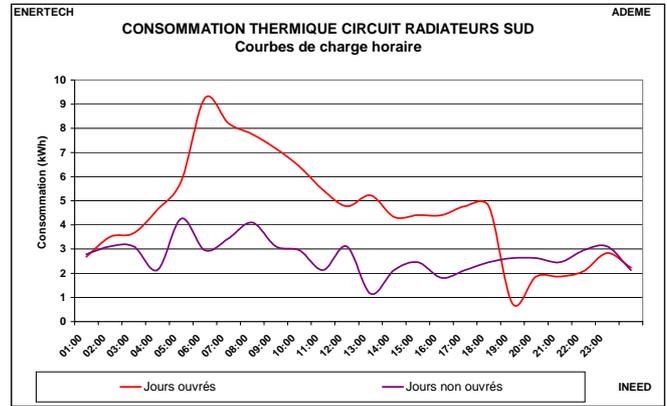
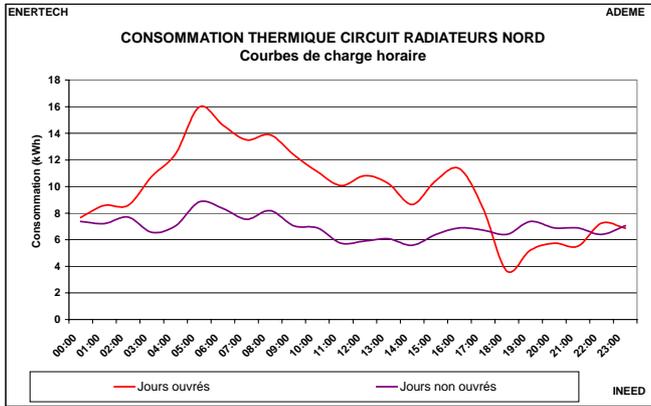


Figure 5.7 : Courbe de charge horaire moyenne de l'énergie utile en façades Nord et Sud

La figure 5.8 représente la répartition des consommations thermiques entre les jours ouvrés (ceux où on travaille) et non ouvrés (WE, et jours fériés) respectivement pour les circuits nord et sud.

La consommation des jours ouvrés représente les 3/4 de la consommation d'énergie utile de ces circuits.

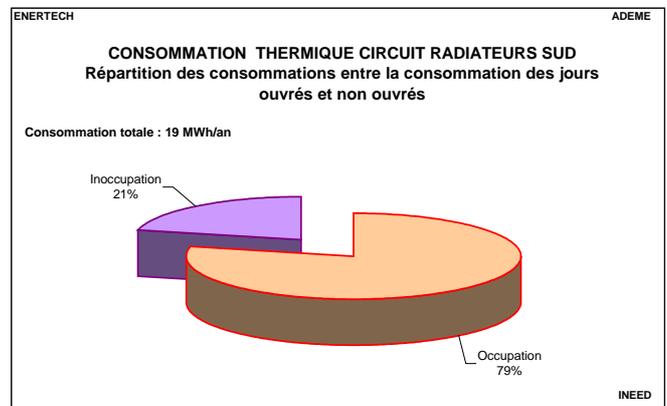
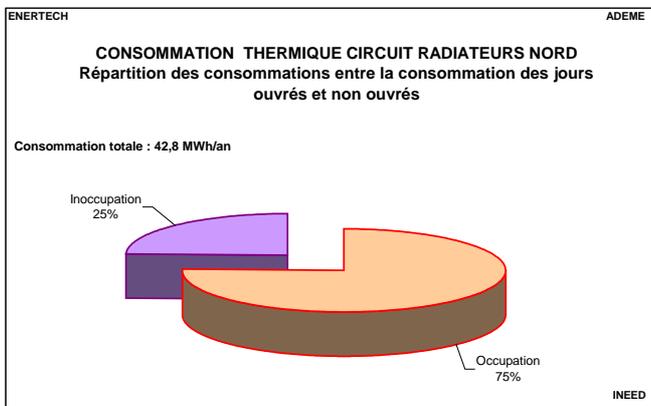


Figure 5.8 : Consommation d'énergie utile en façades Nord et Sud en fonction des jours ouvrés et non ouvrés

La figure 5.9 représente la consommation d'énergie utile des réseaux nord et sud en fonction de la température intérieure du bâtiment. Pour établir cette courbe, on relève dans la base de données toutes les consommations qui ont lieu dans un intervalle de température intérieure donné (par exemple entre 20,0 et 20,2°C). On observe que :

- 98% de la consommation de chauffage des bureaux a lieu pour des températures intérieures supérieures à 19°C,

- *a contrario*, il n'existe aucune consommation lorsque la température du bâtiment est supérieure à 21,2°C,

- ce graphique est une nouvelle preuve de l'inefficacité totale des robinets thermostatiques. On souhaite une température de 19°C (parce que c'est la réglementation), on dimensionne et on calcule les

robinets thermostatiques pour avoir ce résultat (Kvs, etc), mais on observe que leur effet se produit plus de 2°C au-delà de la consigne pour laquelle ils ont été mis en place.... C'est même pour des températures autour de 20°C qu'a lieu la consommation maximale, alors qu'on ne devrait plus avoir aucune consommation au-delà de 19°C. Quelle est la signification de ces dépassements ? Tout simplement que l'énergie consommée au-delà de 19°C est perdue, et que, si des apports de chaleur potentiellement récupérables existent, ils ne sont pas récupérés.... Le bilan énergétique est donc très mauvais.

Et ce mauvais résultat est obtenu en dépit d'un choix correct et minutieux des robinets thermostatiques.....

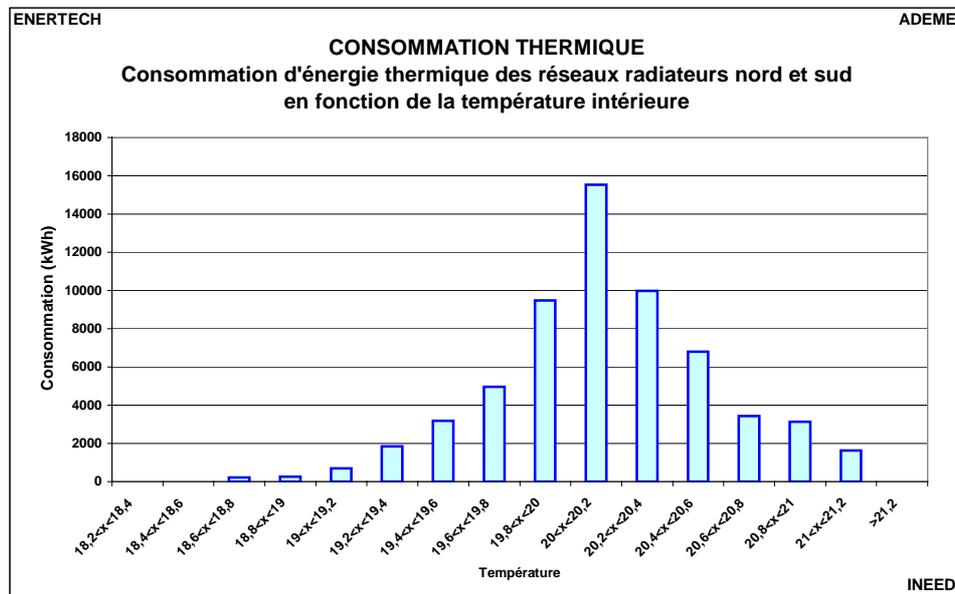


Figure 5.9 : Consommation d'énergie utile en fonction de la température intérieure

V.3 LA SALLE DE CONFERENCE

La consommation d'énergie utile de la salle de conférence a été de **17 562 kWh** au cours de l'année de mesure, soit une consommation surfacique de **51 kWh/an/m²_{SU}**.

La figure 5.10 représente la structure de la consommation d'énergie utile de cette salle entre les différents modes de fonctionnement observés :

- Consommation lors du fonctionnement normal chauffage : il existe une présence dans la salle d'au moins 30 minutes sur une journée,
- Consommation lors du fonctionnement normal en ralenti : il n'existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C,
- Consommation lors du fonctionnement de la pompe et de la CTA sans présence : ceci correspond aux quelques fois où l'on a observé un fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée,
- Consommation anormale : la pompe de la batterie chaude fonctionne mais pas la CTA.

L'ensemble des cas de fonctionnement « anormal » représente au total 5.620 kWh/an, soit un tiers de la consommation totale. Cette consommation anormale est essentiellement due au chauffage de la salle, alors que personne, au cours de la journée, ne l'a occupée. Il s'agit donc à nouveau d'un problème de mauvaise programmation. Cette programmation est pour l'heure gérée par l'accueil au rez de chaussée et a été laissée à la liberté des utilisateurs puisque l'occupation de la salle n'était pas régulière.

Il reste encore à analyser la très faible consommation anormale due au fonctionnement de la pompe de la batterie chaude. Comme cette pompe a fonctionné très longtemps en dehors des périodes d'utilisation de la salle de conférence, on pouvait craindre que la consommation thermique associée soit élevée. Mais il n'en est rien, grâce à la vanne trois voies qui est restée fermée.

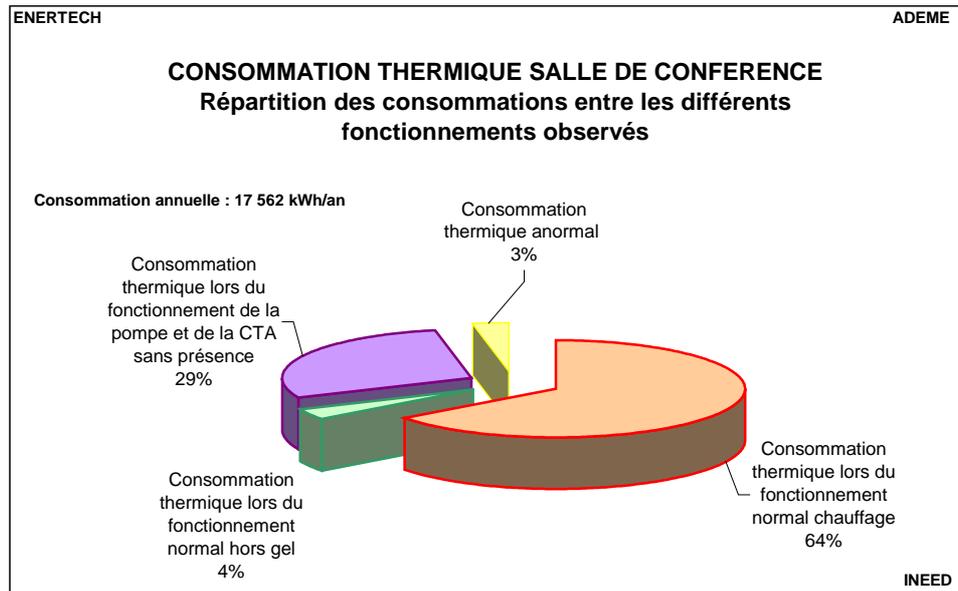


Figure 5.10 : Salle de conférence - Structure de la consommation d'énergie utile chauffage pour les différents modes de fonctionnement

V.4 LA SALLE D'EXPOSITION

La consommation d'énergie utile de la salle d'exposition est de **2 766 kWh/an** soit **16,9 kWh/an/m²_{SU}**. Cet espace dispose d'une CTA dédiée.

Cette CTA et de sa pompe associée ont présenté durant la campagne de mesures des fonctionnements atypiques. La figure 5.11 est la structure de la consommation d'énergie utile de la salle d'exposition en fonction des différents modes de fonctionnement observés :

- Consommation lors du fonctionnement normal chauffage : il existe une présence dans la salle d'au moins 30 minutes sur une journée,
- Consommation lors du fonctionnement normal en ralenti : il n'existe pas de présence dans la journée, la CTA assure tout de même le maintien à 16°C,
- Consommation lors du fonctionnement de la pompe et de la CTA sans présence : ceci correspond aux quelques fois où l'on a observé un fonctionnement de la CTA sans présence dans la journée
- Consommation anormale : la pompe de la batterie chaude fonctionne mais pas la CTA.

Contrairement à la CTA conférence, il y a très peu de consommations «anormales». La consommation d'énergie utile liée à l'occupation de la salle représente 80 % (2 220 kWh/an) de la consommation totale de la salle d'exposition.

La consommation « anormale » (en dehors des périodes de ralenti) est de seulement 7 % soit 295 kWh/an.

Il faut rester prudent sur les résultats de consommation en fonctionnement ralenti (ou hors gel). A de nombreuses reprises, la CTA et la pompe n'ont pas été mises en route alors que la température ambiante était inférieure à 12°C. Lors du traitement des données, nous avons comptabilisé en « fonctionnement hors gel » toutes les consommations associées à des températures inférieures à 16°C, mais rien ne prouve que ces consommations soient réellement dues à un fonctionnement hors gel.

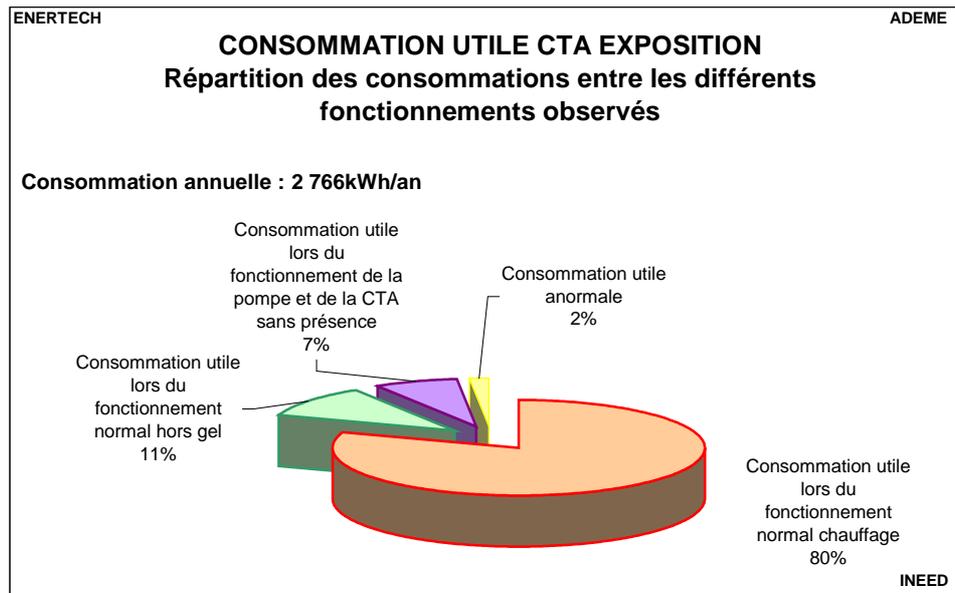


Figure 5.11 : Salle d'exposition - Structure de la consommation d'énergie utile chauffage pour les différents modes de fonctionnement

V.5 LA BATTERIE DE PRECHAUFFAGE DES BUREAUX

La consommation d'énergie utile de la batterie de préchauffage est de **1 730 kWh/an**. Soit 0,81 kWh/an/m²_{SU}.

Cette consommation est très faible. Pourtant, lors des deux premières années de fonctionnement du bâtiment, cette consommation n'a été (selon le compteur de chaleur en place) au total que de 300 kWh. Nous verrons qu'en réalité cette batterie ne consomme, de façon nominale, que très peu, mais que par suite d'un dysfonctionnement majeur du puits canadien durant l'année de mesure, elle a été amenée à fournir plus d'énergie.

La figure 5.12 représente la consommation journalière d'énergie utile de la batterie de préchauffage en fonction de la température d'entrée d'air dans la CTA. Rappelons que la CTA est alimentée soit pas l'air venant directement de l'extérieur, soit par le puits canadien.

Toutefois, la forte valeur du poids d'impulsion du compteur de chaleur (10 kWh/impulsion) et les très faibles besoins de la batterie ne rendent pas très fiables ni très pertinents les résultats obtenus.

On constate quand même que pour une température d'air supérieure à 12°C, la récupération de chaleur sur l'échangeur à roue rend tout à fait inutile l'usage de la batterie chaude. On conçoit donc que, *a fortiori*, avec un puits canadien fonctionnant correctement et élevant de 5°C la température de l'air extérieur, il n'y ait quasi plus besoin de faire fonctionner cette batterie.

Le rôle de celle-ci est d'ailleurs, selon nous, de permettre une récupération plus importante des apports gratuits qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment. Et pour cela, il faut à tout prix envoyer dans les locaux de l'air à une température la plus faible possible, tout en restant compatible avec le confort. La présence du puits canadien d'une part, et de l'échangeur d'autre part rend pratiquement inutile cette batterie chaude dont on devrait pouvoir faire l'économie sur les projets futurs.

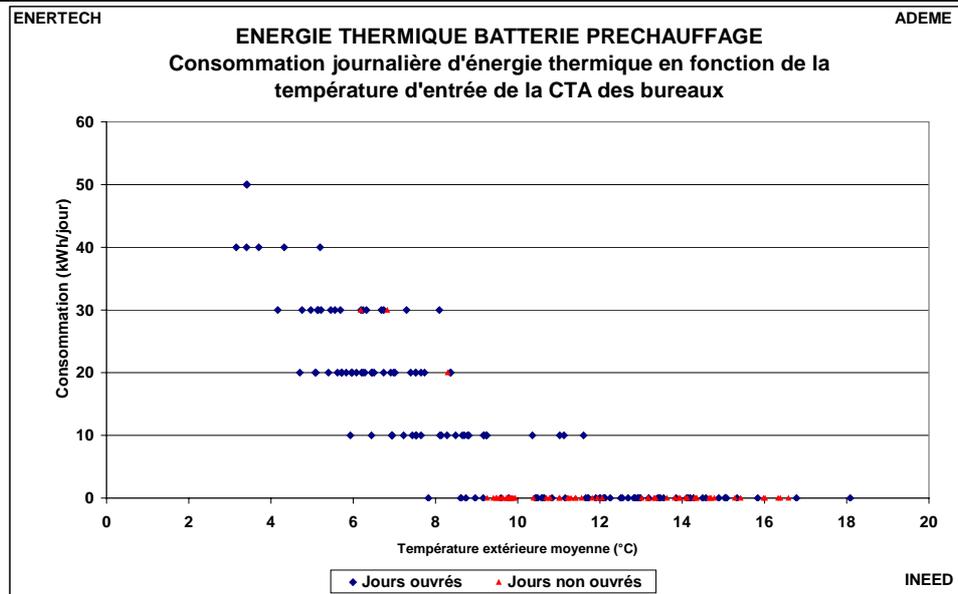


Figure 5.12 : Batterie chaude de la CTA bureaux – Consommation en fonction de la température extérieure, sans le recours au puits canadien

V.6 L'ATELIER

La consommation d'énergie utile de l'atelier a été de **25 432 kWh/an** au cours de la campagne de mesures.

Il s'agit du troisième poste en terme de consommation d'énergie utile. La consommation spécifique de l'atelier est de **90,8 kWh/an/m²** : c'est la plus importante de tout le bâtiment.

La figure 5.13 représente la consommation journalière moyenne d'énergie utile et d'électricité spécifique de l'atelier. On peut déterminer que la température de non chauffage est d'environ 12°C, et qu'en deçà de cette valeur, la loi de variation de la consommation est directement fonction de la température extérieure.

Il y a dans ces ateliers une cabine de peinture dont le fonctionnement exige un très fort taux de renouvellement d'air, conduisant à de fortes charges énergétiques. Mais, en hiver, on n'a observé un fonctionnement de la cabine de peinture que pendant deux jours (mis en évidence sur le graphique de la figure 5.13). On observe aussi que le fonctionnement de la cabine n'a jamais excédé 15 minutes. En conséquence, ce n'est pas elle, a priori, qui peut expliquer cette consommation spécifique élevée.

Il y a plusieurs autres raisons à cette surconsommation :

- la présence d'une grande porte donnant sur l'extérieur. Cette porte est souvent grande ouverte d'une part, et elle supprime tout espoir d'avoir une bonne étanchéité à l'air d'autre part. C'est incontestablement une source de déperditions importante,

- le pied du mur extérieur, sur environ 80 cm, est en béton et ne comporte aucun isolant par suite d'un oubli sur les plans. En fin de chantier, aucun acteur n'a voulu prendre ce « loupé » en considération (il n'y a pas eu d'architecte pendant le suivi de chantier de cette opération), et le résultat est là...

- l'enveloppe est de beaucoup moins bonne qualité que le reste du bâtiment, car à l'origine du projet il n'était pas vraiment question de chauffer l'atelier. Cette contrainte est venue assez tard,

- l'émission de chaleur est assurée par un aérotherme. Il est certain que dans un atelier où la hauteur sous plafond est assez importante, ce type d'émission n'est pas le plus efficace à cause de la stratification qu'il induit.

On retiendra qu'un atelier peut être une source de consommation très importante s'il est chauffé, mais qu'il pose des problèmes spécifiques parfois difficile à régler (comme les ouvertures multiples de la porte

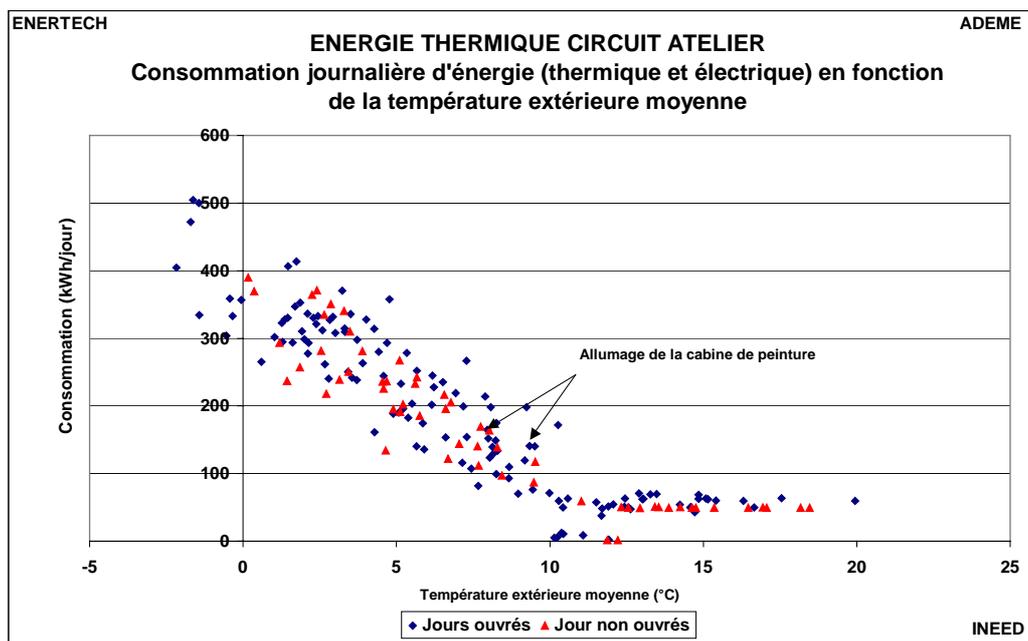


Figure 5.13 : Atelier – Consommation d'énergie utile et d'électricité en fonction de la température extérieure journalière moyenne (jours ouvrés et non ouvrés)

Il semble aussi n'y avoir pas de différence de consommation entre les jours ouvrés et non ouvrés, ce que confirme la figure 5.14. La cause en est une valeur de la température de ralenti trop proche de celle de la température de jour.

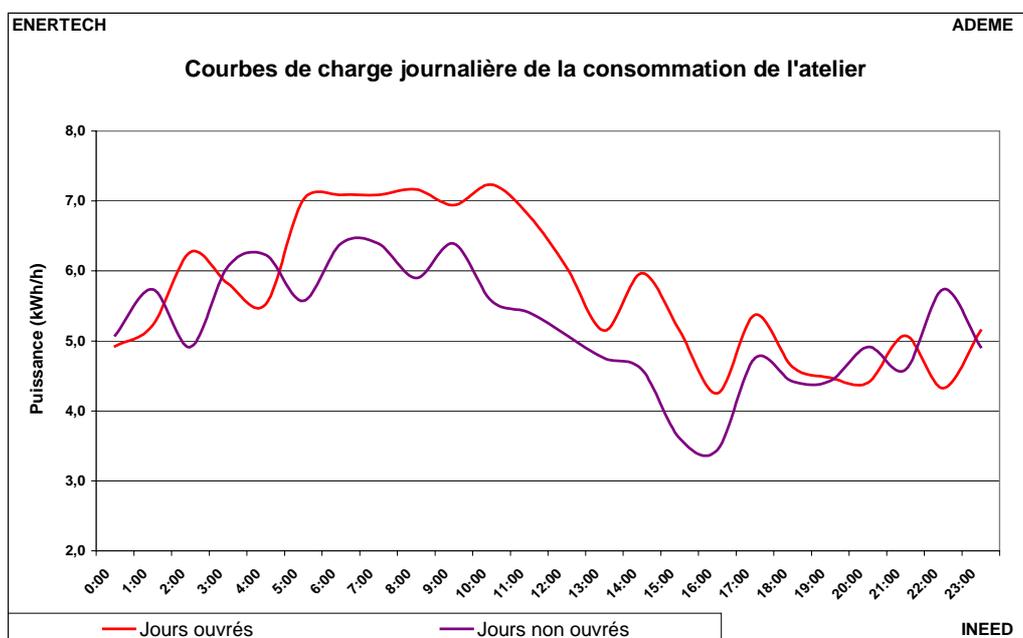


Figure 5.14 : Atelier – courbe de charge des besoins de chauffage les jours ouvrés et non ouvrés

Partie VI : Etude des températures

VI.1 TEMPERATURES DANS LES BUREAUX

Les températures d'hiver considérées sont celles observées par mesure pendant la période de chauffe du bâtiment (du 27 octobre 2008 au 09 mai 2009). Les températures d'été sont celles observées entre le 10/09/2008 et le 27/10/2008 et entre le 09/05/2009 et le 09/09/2009.

On considère que la période « jour » correspond à l'intervalle entre 8 et 19 heures.

VI.1.1 Etude des températures en hiver

Le graphique de la figure 6.1 présente les fréquences cumulées des températures observées en hiver dans un « bureau moyen ». Le « bureau moyen » est obtenu en faisant (au pas de temps de 10 minutes) la moyenne des températures observées dans l'ensemble des bureaux suivis (il y avait au total 51 thermomètres d'ambiance dans le bâtiment).

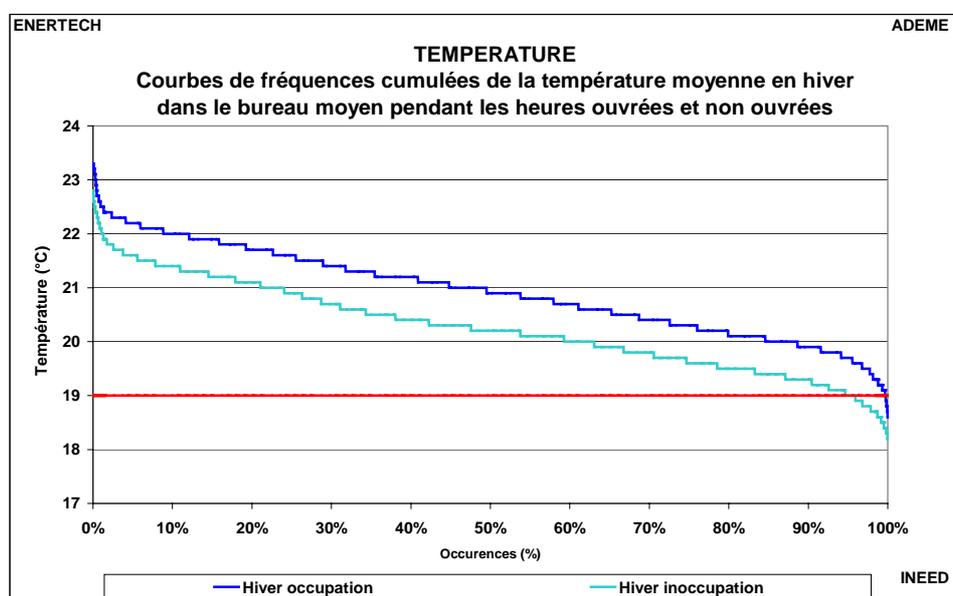


Figure 6.1 : Fréquences cumulées de la température moyenne dans le bureau moyen pendant les heures d'occupation et de non occupation, en hiver

Le tableau suivant donne les valeurs de température (minimale, maximale et moyenne) moyenne dans 22 bureaux en hiver.

| | Température | Inoccupation | Occupation |
|-------|-------------|--------------|------------|
| Hiver | Moyenne | 20,3° | 20,9° |
| | Minimale | 18,2° | 18,6° |
| | Maximale | 22,8° | 23,3° |

Valeurs moyennes des températures dans 22 bureaux

L'analyse de ces éléments permet plusieurs conclusions :

- en hiver, la température moyenne en période d'occupation est de 20,9°C. C'est très sensiblement plus que la valeur réglementaire figurant dans le Code de la construction et de l'habitation (art. R 131.19) qui précise que la température maximale moyenne dans les locaux d'habitation ou les

locaux tertiaires (sauf usages très spécifiques) ne doit pas dépasser 19°C. Il faut rappeler que dans des bâtiments de ce type, très isolés, la surconsommation induite par 1°C supplémentaire est de l'ordre de 12 à 15 %, ce qui signifie dans notre cas que **le dépassement de 1,9°C de la température réglementaire a occasionné une surconsommation d'environ 25 %, ce qui aurait ramené à 26 kWh_{ep}/m²_{SU}/an la consommation de chauffage au lieu de 35...**

On pourra épiloguer longtemps sur le fait qu'une température de 19°C est ou non suffisante pour assurer un bon confort en hiver, mais une chose est sûre, pour l'instant c'est la loi, et en principe une loi est faite pourrait être appliquée, sinon il faut la changer. Mais dans la situation de crise environnementale et énergétique actuelle, on voit mal un gouvernement adoptant un texte acceptant une température supérieure à 19°C... Il faudra donc se résigner à l'avenir à accepter de gré ou de force la température réglementaire de 19°C.

Mais il faut quand même aussi faire observer que dans un bâtiment très bien isolé, relativement étanche aux infiltrations d'air, il n'y a plus de parois froides, plus de courants d'air. En conséquence le confort est atteint beaucoup plus facilement et sans avoir recours à des températures d'air élevées. Pour avoir très souvent travaillé durant des journées entières dans ce bâtiment, en station assise, nous pouvons témoigner que le confort y est parfait avec des températures de 19°C.

- En période d'occupation, la température minimale moyenne n'a jamais été inférieure à 18,6°C. Sur l'ensemble de la saison de chauffage, la température moyenne a été inférieure à 19°C pendant seulement 2 % du temps. Ceci atteste d'excellentes conditions de confort en hiver.

- Il n'y a pas de surchauffes inconfortables l'hiver dans le bâtiment puisque la température maximale moyenne pendant l'occupation est de 23,3°C. Cela ne supprime évidemment pas les inconvénients des surchauffes, à savoir l'augmentation des pertes énergétiques.

- En période d'inoccupation la température moyenne pendant la saison de chauffage est de 20,3°C. L'écart avec la période d'occupation est faible. Cela est dû à la forte inertie du bâtiment d'une part et à la très forte isolation thermique d'autre part. La constante de temps du bâtiment est donc très élevée. Il s'ensuit que la température décroît très lentement après l'heure de fin d'occupation. Cette observation est intéressante car elle montre que dans les bâtiments très performants une part importante des apports gratuits n'est pas récupérable au sens où elle n'est pas valorisable en termes d'économies d'énergie. Si par ailleurs le système de régulation terminale n'est pas très performant, comme le sont les robinets thermostatiques, les deux phénomènes s'ajoutent pour conduire à une dégradation des performances énergétiques malgré de faibles besoins.

La figure 6.2 représente les températures dans le bureau moyen au cours des mois de décembre à février en période d'occupation et d'inoccupation. En effet, la figure 6.1 représentait ces températures pendant toute la période de chauffage, or en mi-saison, la température extérieure et les apports solaires sont plus élevés.

On note que la température est inférieure à 19°C pendant seulement 1% du temps d'occupation. La température moyenne en période d'occupation est de 20,1°C, donc plus raisonnable que sur l'ensemble de la saison de chauffage.

On observe aussi que la température maximale atteinte ne dépasse pas 21,3°C, et que la température moyenne en période d'inoccupation n'est que 19,3°C. Cet écart plus important par rapport aux analyses précédentes s'explique par l'écart lui même plus important entre les températures intérieure et extérieure dans les mois froids.

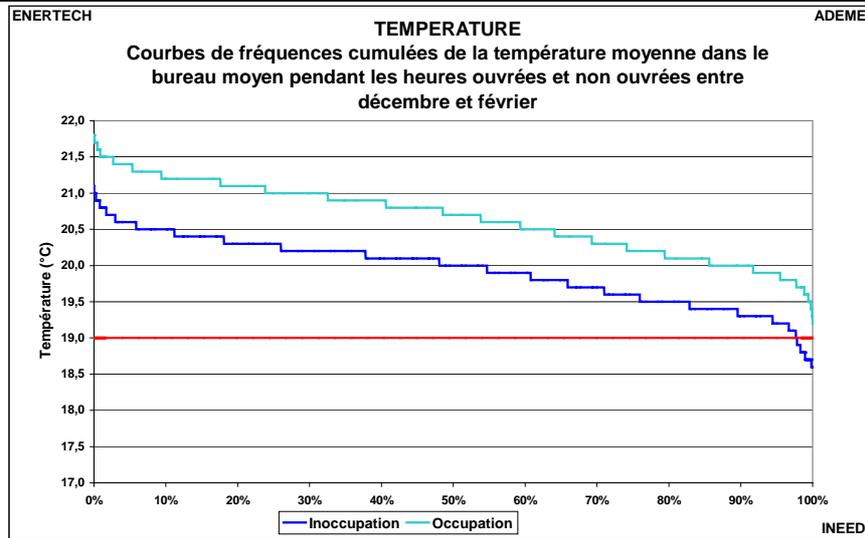


Figure 6.2 : Fréquences cumulées des températures moyenne les jours ouvrés et non ouvrés, pour la période de Décembre à Février inclus

La figure 6.3 représente la courbe de fréquences cumulées des températures d’air mesurées au niveau de la reprise d’air en entrée de CTA, en période d’occupation du bâtiment.

Globalement ce graphique confirme ce qui précède. Toutefois, les valeurs sont dans l’ensemble inférieures et il faut être attentif au fait que l’on dispose là d’une température moyenne d’air qui est pondérée par les volumes extraits dans chaque zone du bâtiment d’une part, et que les parties communes, non chauffées, contribuent d’autre part à abaisser le niveau général de température. Imaginons qu’une zone bénéficie d’un débit d’air spécifique plus élevé que les autres. La température dans cette zone aura un poids supérieure en entrée de CTA. Il peut donc exister des différences entre les figures précédentes (fondées sur une température moyenne par local) et la figure 6.3 qui représente une température d’air pondérée par le volume extrait dans chaque zone (dont des zones non chauffées) ou chaque bureau. Enfin, les conduits de reprise cheminent jusqu’aux locaux techniques en traversant des espaces non chauffés, notamment en sous sol, qui représentent des sources de pertes.

Ces précisions étant apportées, on observe au niveau de l’air extrait, que la température ambiante est plus de 98% du temps supérieure à 19°C, comme précédemment, mais que la température maximale est de 22,4 °C (contre 21,8°C), et que la température dépasse 21°C pendant 18 % du temps (contre 30%).

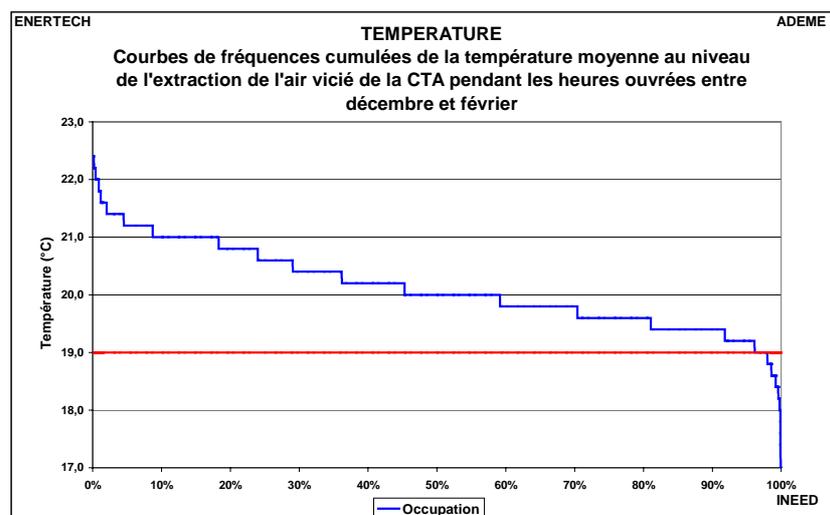


Figure 6.3 : Fréquences cumulées des températures de l’air extrait à l’entrée de la CTA les jours ouvrés, pour la période de Décembre à Février inclus

A titre plus anecdotique, la figure 6.4 représente la courbe individuelle de fréquences cumulées des températures des bureaux suivis lors de la campagne de mesures.

Il existe de grands écarts entre les bureaux. Mais ce résultat doit être pris avec une grande prudence car certains bureaux (notamment les bureaux dont les températures sont très basses) sont très peu occupés. En cas d'absence, les occupants nous ont indiqué qu'ils fermaient leur robinet thermostatique. La température est donc plus faible, d'une part par l'absence d'apports des radiateurs mais également par absence d'apports internes.

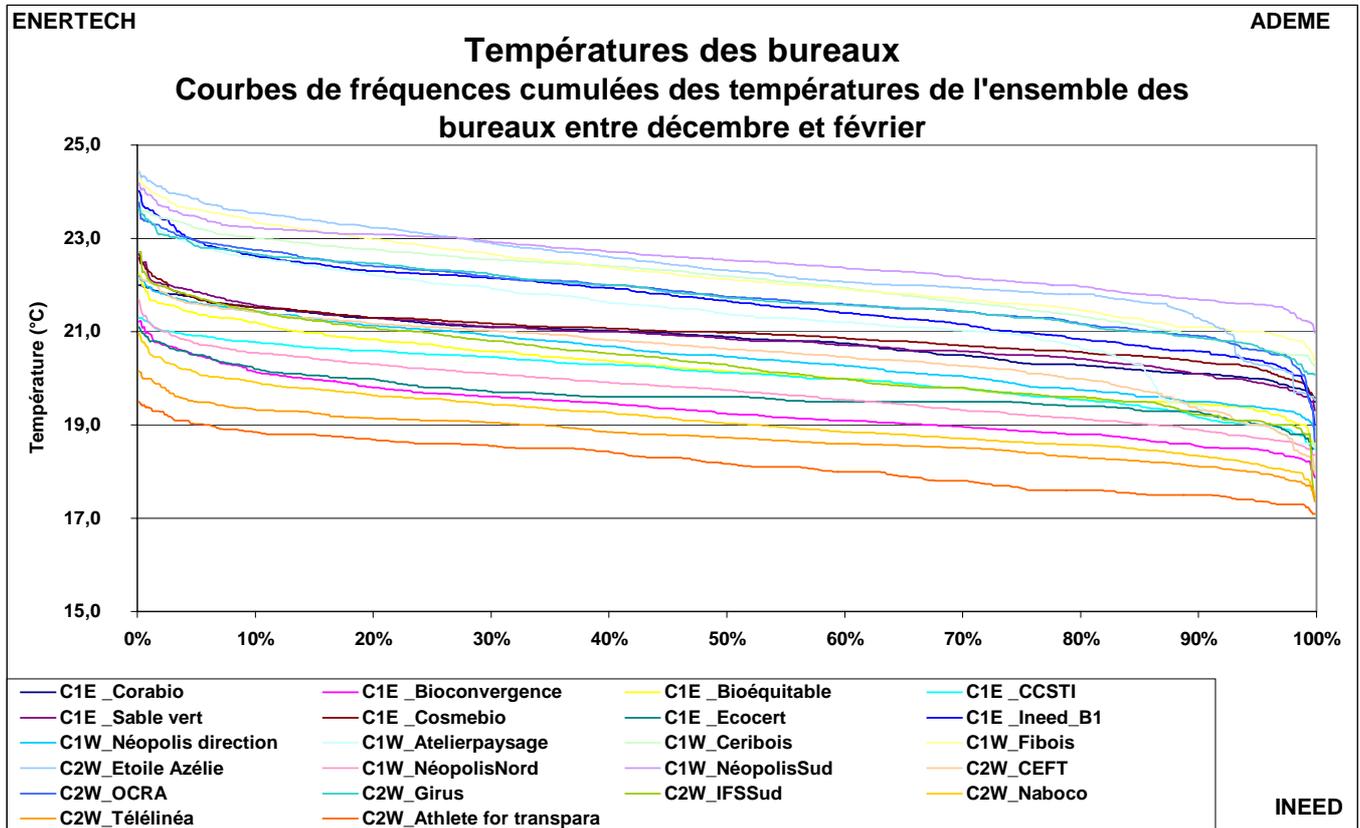


Figure 6.4 : Fréquences cumulées des températures en hiver dans les principaux bureaux suivis

Cette observation est importante, car elle montre que, puisqu'un certain nombre de locaux ne sont pas occupés et donc pas chauffés, les valeurs moyennes des températures obtenues doivent être interprétées un peu différemment : elles attestent de températures relativement élevées dans certains bureaux ! Ce que met aussi très bien en évidence la figure 6.4.

La figure 6.5 représente l'évolution journalière moyenne de la température en hiver dans le bureau moyen pour les jours ouvrés. On observe très bien la relance vers 5 heures. La température s'élève alors jusqu'à environ 20°C. Puis apparaît une augmentation très prononcée de 20,1 à 20,7°C. Elle a lieu entre 08h10 et 11h30. On a reporté sur le même graphique la consommation électrique du bâtiment (hors atelier). On constate bien ce dont on pouvait se douter : l'augmentation de température que l'on observe le matin est associée à l'augmentation de la consommation électrique dès 7,5 h le matin, elle même bien sûr en relation avec la présence humaine (et les apports de chaleur associés).

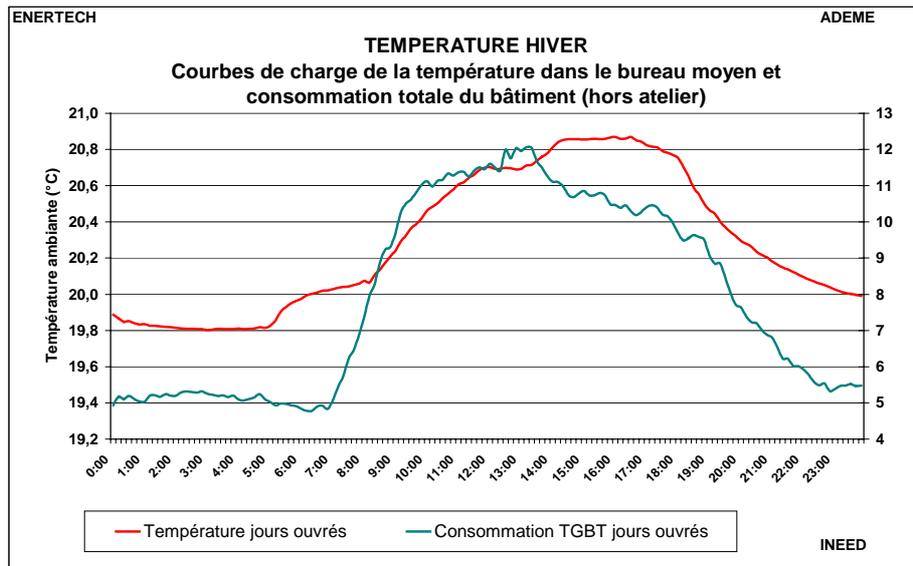


Figure 6.5 : Evolution de la température moyenne du bureau moyen au cours d'une journée, et consommation d'électricité tous usages du bâtiment

VI.1.2 Etude des températures en été

La figure 6.6 représente les courbes de fréquences cumulées des températures extérieures et de l'ensemble des bureaux en dehors de la saison de chauffage. On observe que la température extérieure a dépassé 40°C, et que pendant le même temps, la température intérieure n'a pas dépassé 28,5°C.

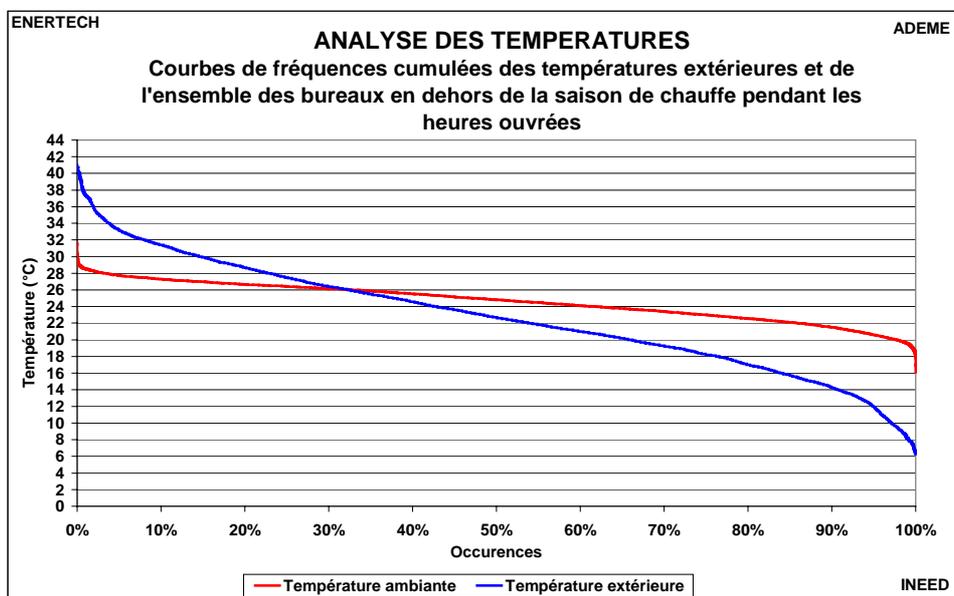


Figure 6.6 : courbe de fréquences cumulées des températures extérieures et de l'ensemble des bureaux en dehors de la saison de chauffage

Le graphique de la figure 6.7 représente les fréquences cumulées des températures observées en été dans un « bureau moyen ».

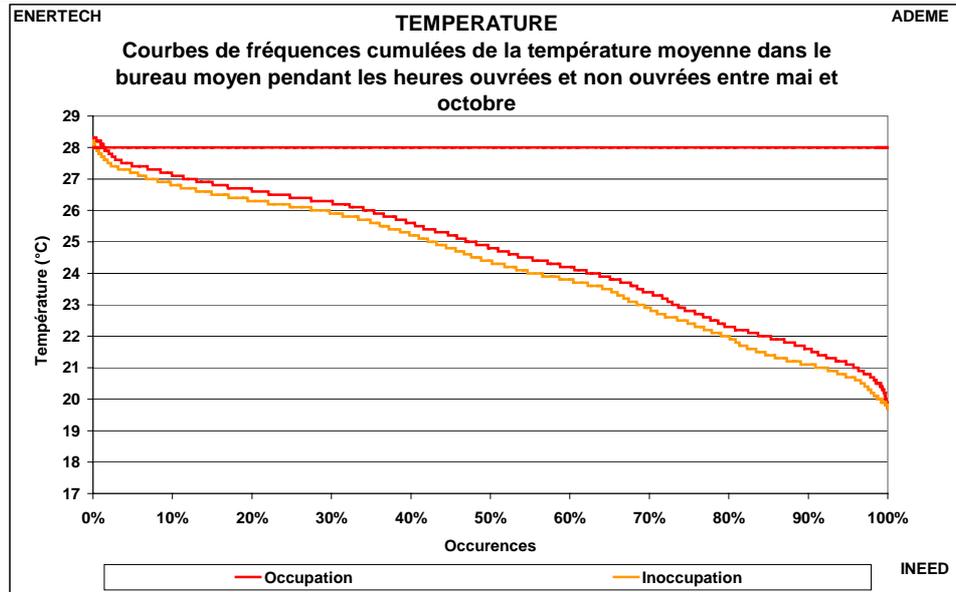


Figure 6.7 : Fréquences cumulées de la température moyenne dans le bureau moyen pendant les heures d'occupation et de non occupation, en été

Le tableau suivant donne les valeurs de température (minimale, maximale et moyenne) moyenne dans 24 bureaux en été.

| | Température | Inoccupation | Occupation |
|-----|-------------|--------------|------------|
| Eté | Moyenne | 24,2 | 24,6 |
| | Minimale | 19,7 | 19,7 |
| | Maximale | 28,2 | 28,3 |

Valeurs moyennes des températures dans 24 bureaux

L'analyse de ces éléments permet de conclure que :

- La température moyenne en été dans le bâtiment (partie bureaux) a été de 24,6°C. Ce résultat est plutôt un bon car l'été 2009 a été particulièrement chaud. Il faut se souvenir que les bâtiments à très faible consommation d'énergie ont un point faible : leur confort d'été.
- La température maximale en été a été de 28,3°C. **La température de 28°C n'a été dépassée que pendant 1,0 % du temps d'occupation, soit environ 19h.** Ceci reste dans la limite de ce qui est considéré, à tort ou à raison, comme supportable au niveau du confort.
- la température minimale a été de 19,7°C.
- l'écart entre la température moyenne en période d'occupation et en période d'inoccupation n'est que de 0,4°C, ce qui atteste d'un mauvais refroidissement nocturne des structures. Il s'agit là de l'un des points faibles du bâtiment qui n'est pas ventilé naturellement la nuit car les utilisateurs ne le souhaitent pas. On obtiendrait une amélioration très sensible du confort diurne s'il était possible de ventiler la nuit le bâtiment par ouverture, ou entre-ouverture, des fenêtres. Au lieu de quoi, le bâtiment est plus ou moins bien ventilé par la VMC (le débit réglementaire est insuffisant) dont l'air est censé passer préalablement dans le puits canadien.

La figure 6.8 représente la courbe de fréquences cumulées des températures d'air extrait mesurées à l'entrée de la CTA en période d'occupation, du 09 mai au 27 octobre. La température de l'air extrait n'a jamais dépassé 27,4°C. Comme pour la période hivernale, on peut à juste titre penser que c'est la température dans les espaces communs et le sous sol qui réduit la température de l'air.

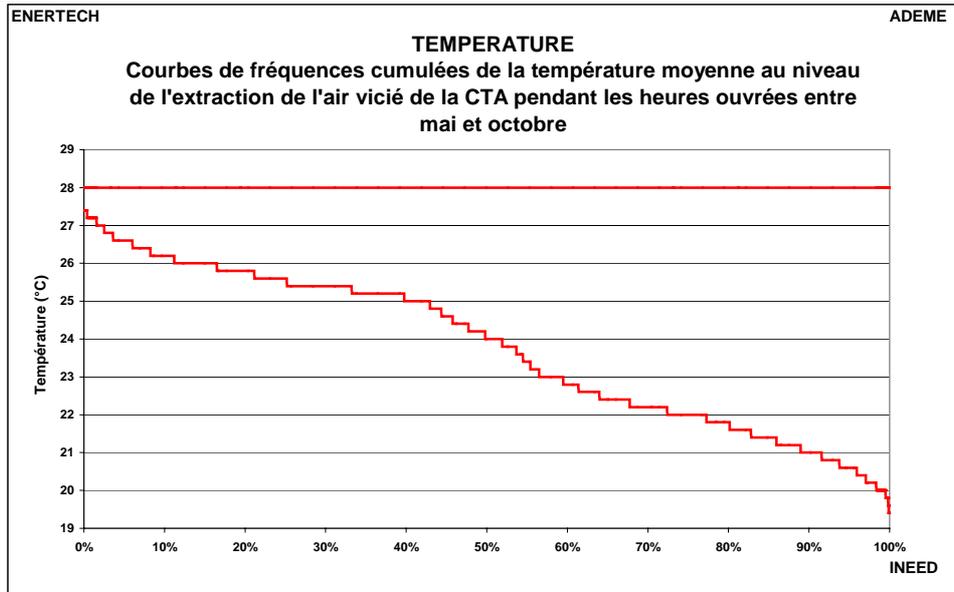


Figure 6.8 : courbe de fréquences cumulées des températures d'air extrait à l'entrée de la CTA les heures ouvrées entre Mai et Octobre

Toujours à titre anecdotique, la figure 6.9 représente la courbe de fréquences cumulées des températures dans les bureaux suivis lors de la campagne de mesures (entre Mai et Octobre).

Il existe des différences de température d'un bureau à l'autre, mais ces écarts sont beaucoup moins importants qu'en hiver. Ceci est dû au moindre rôle de l'occupation intermittente, au fait que les conditions extérieures s'imposent à tout le monde de façon identique et que les utilisateurs n'ont pas à leur service un élément de réglage individuel de la température. Il s'ensuit une beaucoup plus grande homogénéité des températures.

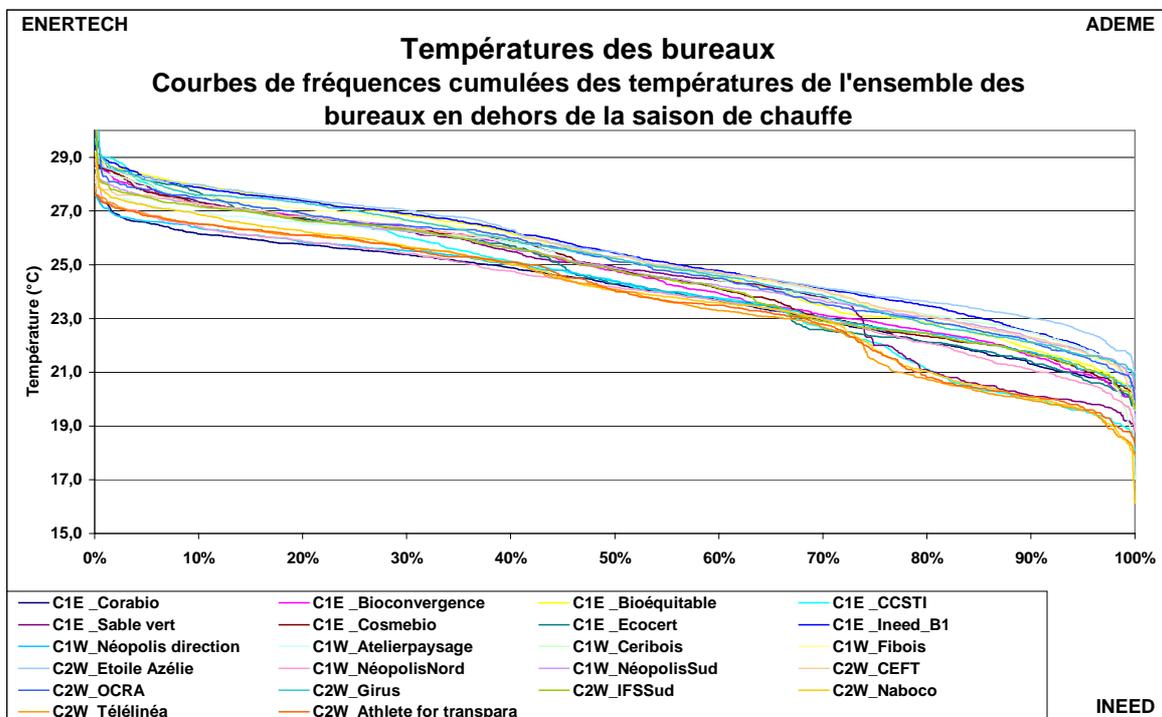


Figure 6.9 : Fréquences cumulées des températures hors saison de chauffe dans les bureaux suivis

La figure 6.10 représente, pour les bureaux suivis et dont on dispose de l'ensemble des données, le nombre d'heures pendant lesquelles la température a dépassé 28°C, la quantité d'apports internes journaliers (électriques) ces jours là, en fonction de l'orientation des locaux.

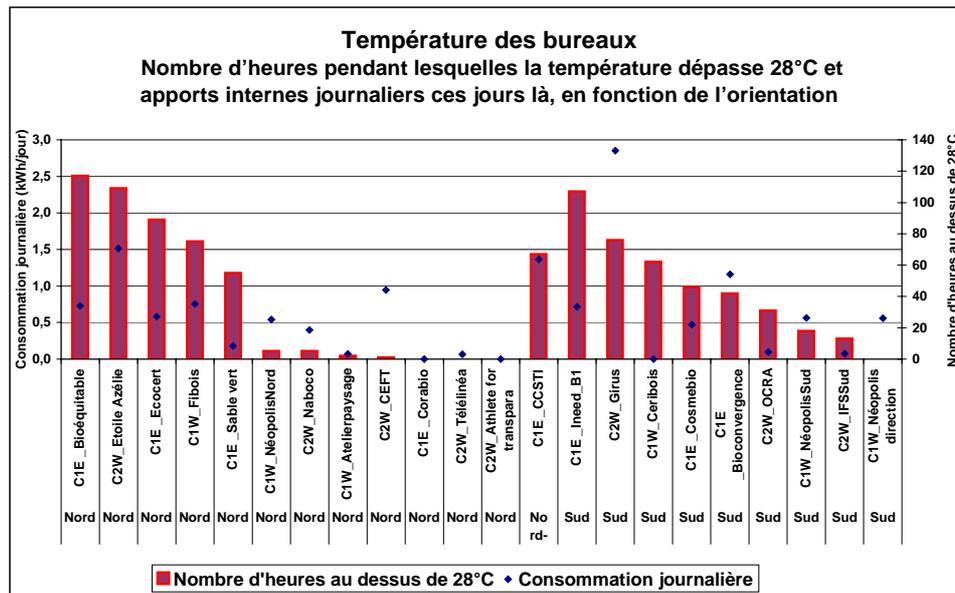


Figure 6.10 : nombre d'heures pendant lesquelles la température dépasse 28°C et apports internes ces jours là, en fonction de l'orientation

Il est très intéressant d'observer que, pour un ratio *surface vitrée/surface utile* fixe (ce qui est le cas des bureaux analysés) et des apports internes faibles (les valeurs mesurées ici sont très faibles : moins de 3 kWh/jour), les surchauffes estivales ne sont pas très affectées par l'orientation de la façade, hormis l'ouest bien sûr. En effet, les apports de chaleur qui se font par les baies vitrées ne sont pas des apports directs (rayon solaire), mais une transmission par conduction/convection qui ne dépend que de l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur. Or cet écart est pratiquement le même quelle que soit l'orientation. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de traiter toutes les façades avec la même rigueur lorsqu'on travaille sur le confort d'été, notamment en ayant soin de ne pas mettre en œuvre une trop grande surface de vitrage. La conséquence serait en effet une augmentation des surchauffes, même au Nord. Ce graphique en est une belle illustration.

La figure 6.11 représente l'évolution journalière moyenne de la température en été (établie à partir des températures horaires dans le bureau moyen) pour les jours ouvrés et non ouvrés.

On observe plusieurs phénomènes intéressants :

- il n'existe pas de différence très marquée entre les températures internes des jours ouvrés et non ouvrés. On peut en conclure que la charge la plus importante dans ce bâtiment n'est pas la charge interne (éclairage, bureautique apports humains) mais la charge climatique due à la température extérieure. Ceci est dû au travail important qui a été fait au moment de la conception afin de réduire le plus possible les consommations électriques intérieures. L'usage presque généralisé de l'ordinateur portable a été de ce point de vue un progrès important. Cette situation est encore très rare dans les bâtiments récents où les charges internes sont considérables et nécessitent presque systématiquement le recours à la climatisation.

- L'amplitude des températures journalières est d'environ 0,9°C les jours ouvrés et de 0,6°C les jours non ouvrés. Ceci est une quantification de ce qui précède.

- Comme il a été dit précédemment, ce bâtiment ne bénéficie pas de ventilation nocturne naturelle. En revanche, il y a, suite à un dysfonctionnement, une ventilation mécanique permanente nocturne. Mais on observe parfaitement les jours ouvrés (voir figure 6.11) vers huit ou neuf heures du matin l'impact de l'ouverture des fenêtres opérée par les usagers : la température diminue immédiatement

dans le bâtiment. Ceci justifierait donc une stratégie plus volontariste visant à recourir à cette ventilation nocturne qui resterait, certes, à la liberté des utilisateurs. Mais on peut constater à quel point elle pourrait être efficace.

■ En revanche, on ne peut que déplorer la faible efficacité de la ventilation mécanique nocturne. Ceci s'explique relativement bien si l'on considère que le débit nominal de l'installation représente à peine 0,5 vol/h de renouvellement d'air. Même en doublant ce volume, on reste très loin des débits de renouvellement d'air nécessaires pour refroidir les structures : ces débits sont plus proches de 3 vol/h, ce qui est parfaitement irréalisable avec une installation de ventilation mécanique calée sur un débit nominal six fois plus faible. On ne doit finalement pas être étonné de constater que l'apport de cette ventilation mécanique est d'à peine 0,1°C comme le montre la figure 6.11. On peut d'ailleurs se demander s'il est bien nécessaire de dépenser autant d'énergie (électricité) pour un résultat aussi médiocre. Il est vrai que durant l'année de mesures le puits canadien a été très mal utilisé par suite de dysfonctionnements graves dans la programmation des installations : en été il était utilisé la nuit alors que l'air extérieur était plus frais, et il n'était pas utilisé la journée alors qu'il aurait dû !

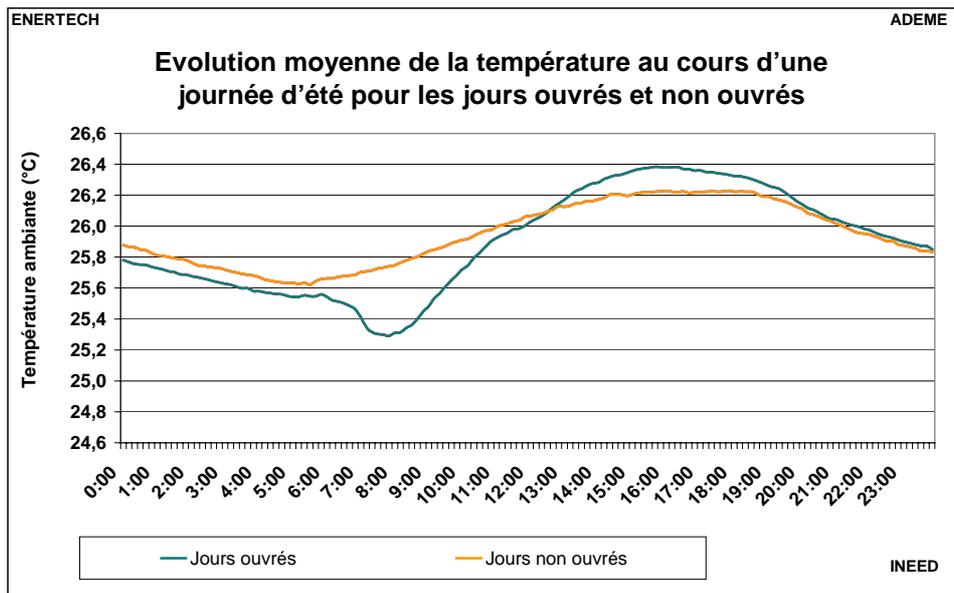


Figure 6.11 : Evolution de la température moyenne dans les bureaux les jours ouvrés et non ouvrés en été

La figure 6.12 représente l'évolution de la température intérieure au cours de la semaine dans l'ensemble des bureaux. Pour cela, on a calculé la température moyenne pour chaque heure de la semaine (dans chaque bureau) au cours du mois de juillet et d'août.

La température extérieure est à peu près constante d'un jour à l'autre. Or on observe que la température intérieure moyenne n'évolue pratiquement pas au cours de la semaine. Ceci signifie que le bâtiment est à peu près en équilibre énergétique et que, malgré sa mauvaise ventilation nocturne, il se décharge la nuit d'une quantité d'énergie sensiblement égale à celle qu'il a accumulée durant la journée.

S'il était mieux ventilé, cela permettrait néanmoins d'abaisser son niveau de température interne et donc de le rendre plus confortable.

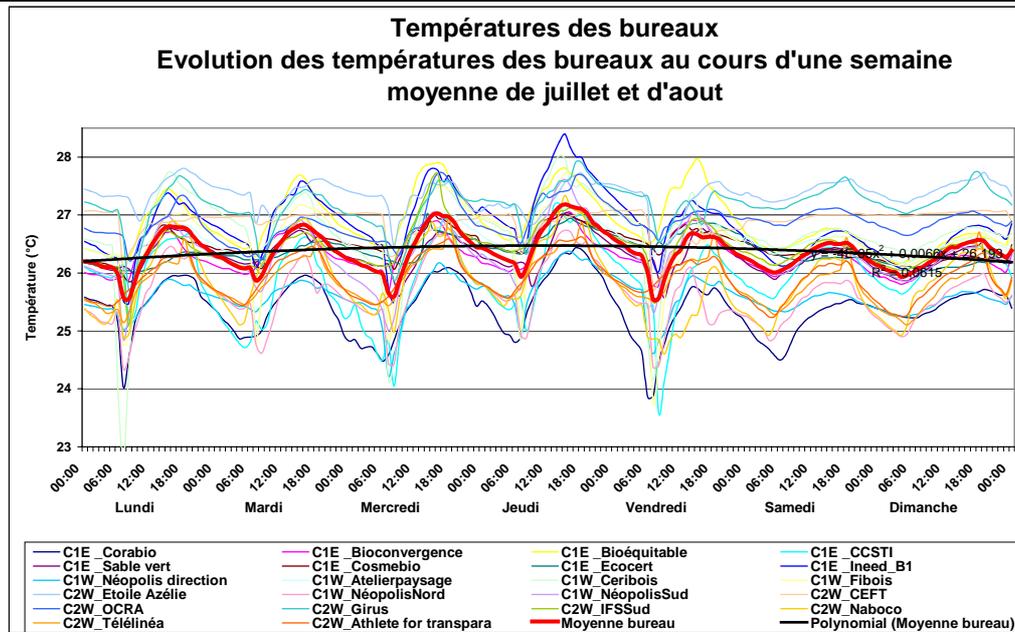


Figure 6.12 : Evolution de la température intérieure en été au cours d'une semaine

VI.1.3 Etude du confort thermique en été

Le confort thermique a été le sujet de nombreux travaux de recherche. Il existe deux types d'approches pour qualifier ou étudier le confort.

La première approche est l'**approche analytique**. Elle est basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, par des modèles physiques et physiologiques essentiellement. L'objectif étant de connaître la sensation thermique des occupants grâce à ces modèles physiologiques. Il existe plusieurs modèles analytiques tels que le modèle de Fanger ou celui de Gagge.

La seconde approche est l'**approche adaptative**. Cette approche est basée sur des observations in situ. C'est à partir de ces observations que de grandes bases de données ont été créées, corrélant les conditions thermiques à l'intérieur des bâtiments et le ressenti des occupants. Après analyse statistique, ceci permet de connaître les combinaisons de paramètres (température, hygrométrie, vitesse de l'air, etc) considérées comme neutres ou confortables par les occupants. Cette approche a suscité plus d'intérêt lorsque des chercheurs ont montré qu'en appliquant les indices établis par l'approche analytique à leurs bases de données, le confort prévu ne correspondait pas toujours au confort perçu par les occupants. Ils ont remarqué que l'écart entre la perception du confort par les occupants et l'identification du confort d'après l'approche analytique était moins important dans les bâtiments climatisés que dans les bâtiments non climatisés. En effet, les conditions dans les bâtiments climatisés s'approchent souvent des conditions statiques des chambres climatiques qui ont servi pour développer les outils de l'approche analytique. En revanche, dans les bâtiments non climatisés, les conditions sont dynamiques et suivent notamment les changements du climat extérieur. C'est pour cela que certains chercheurs ont adopté la thèse de l'adaptation selon laquelle des facteurs en dehors de la physique et de la physiologie influencent la perception du confort thermique (climat, région, type de bâtiment).

VI.1.3.1 Approche analytique

Trois bureaux, situés sur trois façades différentes, ont bénéficié d'une mesure de la température et de l'hygrométrie ambiantes. Ceci permet de mieux préciser les conditions de confort dans le bâtiment.

Les figures 6.13 à 6.15 représentent, dans le diagramme de l'air humide, les conditions de température et d'hygrométrie intérieures de chaque bureau. On a également fait figurer les polygones de

confort utilisés par les climaticiens (ici celui du Professeur Porcher). Chaque point représente un enregistrement à 10 minutes pendant les heures ouvrées en dehors de la saison de chauffe (de mai à octobre, du lundi au vendredi, de 8 heures à 19 heures).

Si l'on se réfère à la littérature, il existe d'autres polygones de confort, comme celui de l'ASHRAE (qui est en fait celui du professeur danois Fanger), ou celui de l'israélien Givonni. On observe que seul le polygone de grand confort défini dans le cours du Pr Porcher peut être comparé aux polygones de confort des autres auteurs. On devra donc considérer dans ce qui suit que **seul le « grand confort » correspond à un résultat satisfaisant**. On ne peut en effet accepter l'idée qu'entre 27 et 34°C on soit dans des zones de confort « acceptables ».

On observe qu'une grande majorité des couples température/hygrométrie (60 % des valeurs) est comprise dans la zone de grand confort.

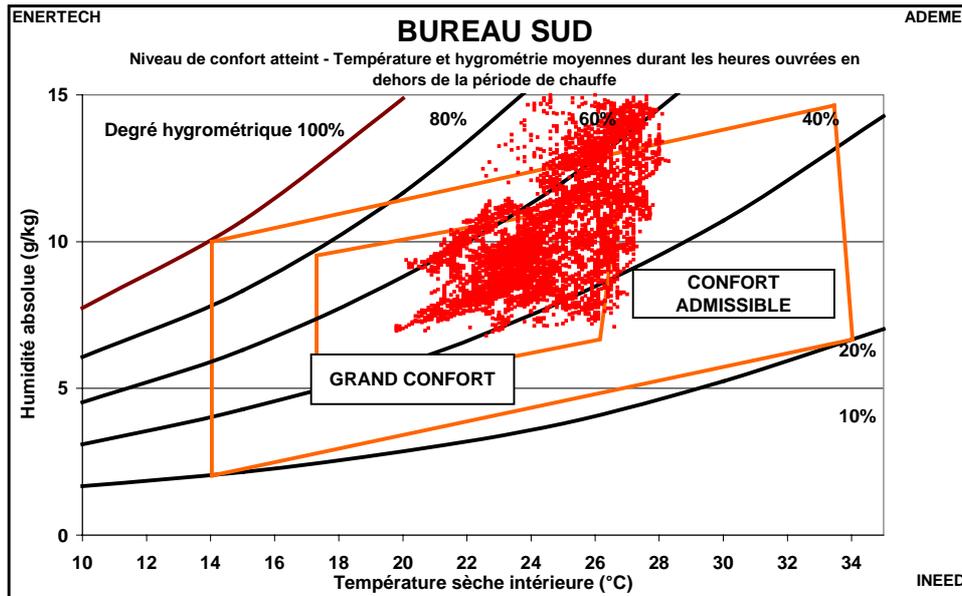


Figure 6.13 : Evolution des conditions de confort hygrothermique en été dans le bureau Sud

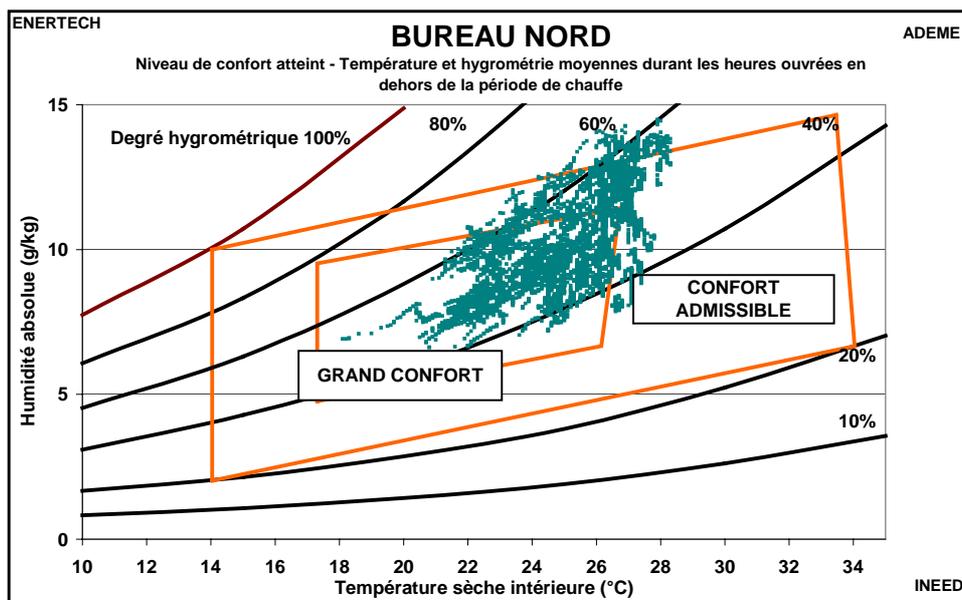


Figure 6.14 : Evolution des conditions de confort hygrothermique en été dans le bureau Nord

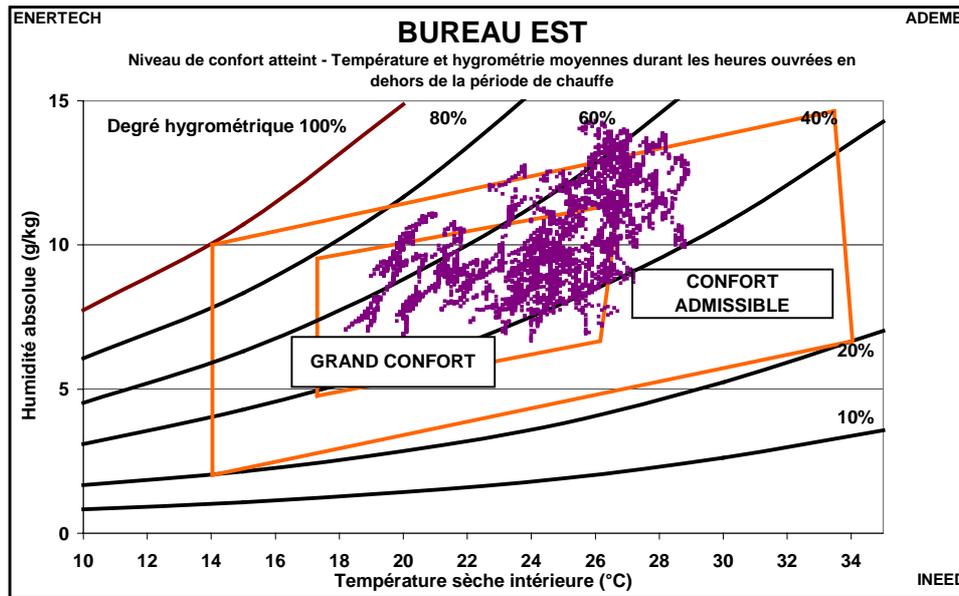


Figure 6.15 : Evolution des conditions de confort hygrothermique en été dans le bureau Est

On observe aussi que les points en dehors de la zone de grand confort correspondent tous à des valeurs très élevées de l’humidité absolue (entre 13 et 15 g/kg_{as}). Ceci est la signature des jours d’orage. Et pour retrouver des conditions de confort ces jours là, il n’y aurait qu’une seule solution : déshumidifier l’air (sans pour autant abaisser le niveau de température après déshumidification), ce qui supposerait une installation de climatisation, non voulue par le maître d’ouvrage, mais aussi non souhaitable et dont on peut parfaitement se passer en acceptant quelques journées par an de climat un peu « lourd ».

Le tableau suivant complète les figures précédentes : il précise le pourcentage du temps pendant lequel les conditions de confort sont optimales, acceptables et hors limites (en dehors de la période de chauffe). Rappelons que nous n’envisageons ici que les heures ouvrées en dehors de la période de chauffe.

| | Grand confort | Confort admissible | Hors confort |
|-------------|---------------|--------------------|--------------|
| Bureau sud | 62 % | 25 % | 13 % |
| Bureau nord | 63 % | 30 % | 7 % |
| Bureau est | 66 % | 28 % | 6 % |

Notre bureau d’études ayant déjà réalisé des campagnes de mesure sur le confort dans des bureaux climatisés, nous avons eu l’idée de comparer le confort obtenu avec et sans climatisation.

La figure 6.16 compare les trois bureaux de l’INEED avec six bâtiments climatisés en région PACA que nous avons instrumentés il y a quelques années. Chaque bâtiment ou bureau est caractérisé, comme précédemment, par le pourcentage de la période estivale d’occupation pendant laquelle il est en grand confort, en confort admissible ou hors confort. Nous avons également fait figurer la consommation associée à la climatisation (échelle d’ordonnée de droite). La période d’observation est la même pour tous : juillet-août.

Les bureaux de l’INEED sont en moyenne 39% du temps en zone de grand confort, ce qui n’est le cas d’aucun des autres bâtiments, pourtant climatisés, qui sont en moyenne 29,5% du temps seulement en grand confort. En revanche, les trois bureaux de l’INEED sont en moyenne pendant 13,5% du temps hors confort, alors que, toujours en moyenne, les 6 autres bâtiments n’y sont que 8,7 % du temps. On peut conclure que la climatisation n’améliore pas les conditions courantes de fonctionnement du bâtiment,

mais en revanche elle réduit la fréquence des conditions exceptionnelles, celles des jours d'orage qui ont été évoqués précédemment et qui se caractérisent par de très fortes hygrométries.

On relèvera sur l'échelle de droite le poids énergétique de la climatisation.

Notons enfin qu'à l'INEED, c'est dans le bureau Sud que l'inconfort est le plus important. On pourrait penser que c'est dû à l'orientation et aux apports solaires. En fait, pas du tout. Le Sud est même souvent une orientation connaissant peu de problèmes contrairement à ce qu'on croit. Ici, l'explication tient à ce que c'est un bureau avec une très forte densité d'occupation (5 personnes pour 36 m²). La source de chaleur et d'inconfort est donc interne.

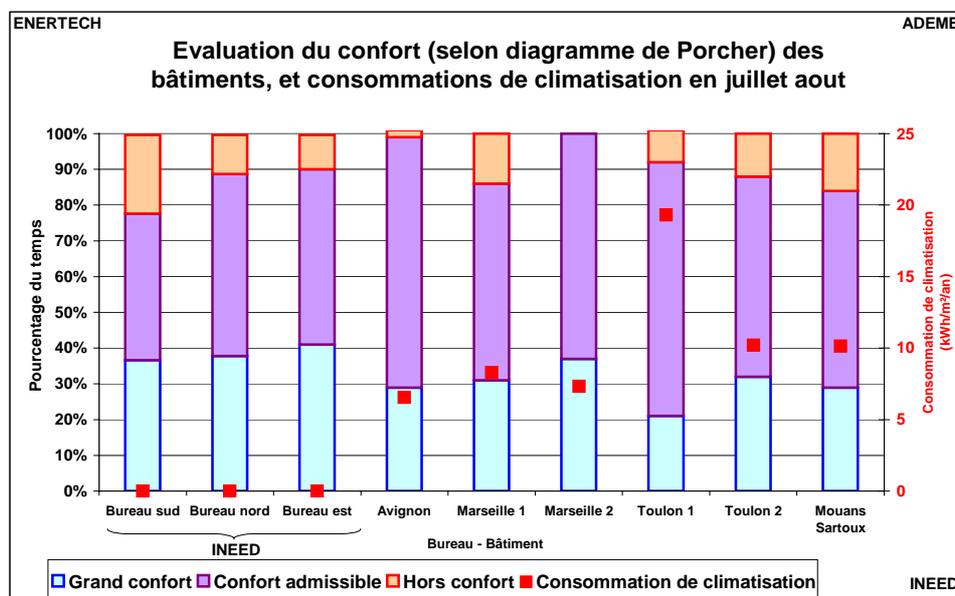


Figure 6.16 : Comparaison des conditions de confort des locaux de l'INEED non climatisés et de six bâtiments bénéficiant de climatisation

VI.1.3.2 Approche adaptative

L'approche adaptative permet également de caractériser le confort d'été. Elle se base sur l'idée que l'homme s'adapte à la température extérieure et que, plus la température extérieure est élevée, plus la température de confort le sera aussi.

Aucune de ces méthodes ne prend en compte l'humidité comme composante du confort.

La figure 6.17 représente l'évolution de la température de confort en fonction de la température extérieure, pour trois des méthodes de l'approche adaptative (Humphreys, RP-884 et SCAT).

Ces méthodes ne sont en accord que dans la fourchette de températures extérieures comprises entre 28 et 30°C. A 20°C, elles sont très divergentes et situent le confort avec des écarts de 3°C !

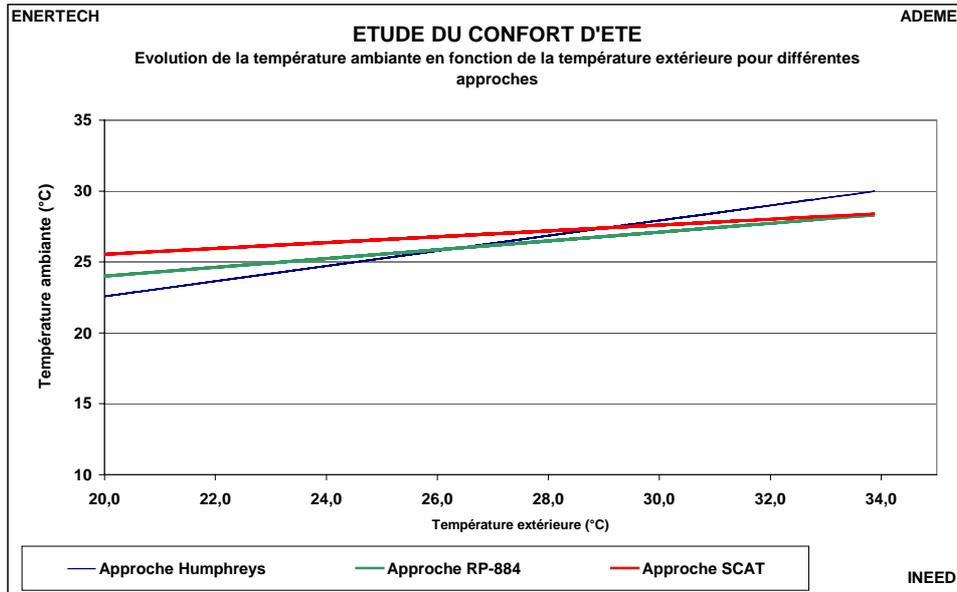


Figure 6.17 : Evolution de la température de confort en fonction de la température extérieure pour différentes méthodes de l'approche adaptative

Les figures 6.18 à 6.20 comparent l'évolution de la température moyenne journalière en période d'occupation en fonction de la température extérieure telle qu'elle a été observée dans les bureaux d'une part, et telle que les prévoient les trois méthodes utilisant l'approche adaptative d'autre part.

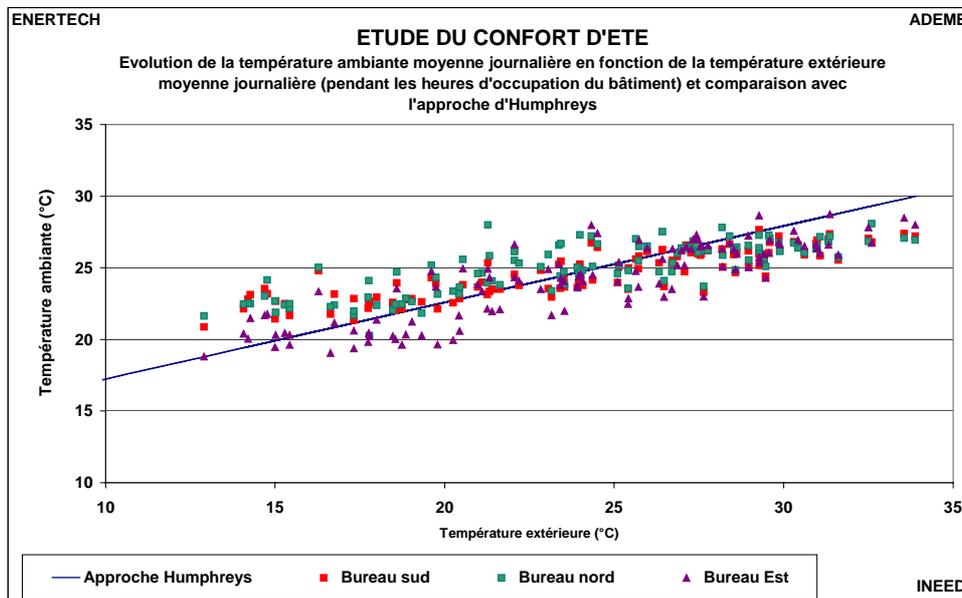


Figure 6.18 : Température ambiante en fonction de la température extérieure – Comparaison des mesures et de la méthode adaptative (approche Humphreys)

Sur la figure 6.18 il existe une bonne corrélation entre les préconisations de la méthode Humphreys et les mesures faites dans l'ensemble des bureaux suivis. Mais cela ne prouve pas que la méthode est juste et qu'en conséquence le bâtiment a un confort parfait !

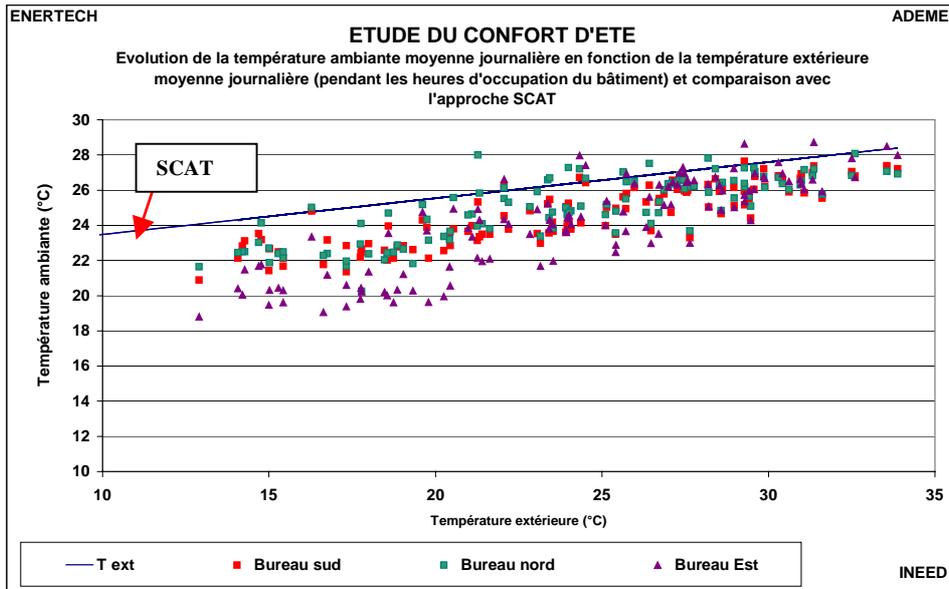


Figure 6.19 : Température ambiante en fonction de la température extérieure – Comparaison des mesures et de la méthode adaptative (approche SCAT)

Pour ce qui est de la méthode SCAT (figure 6.19), elle semble tracer une valeur maximale pour la température de confort qui est en permanence supérieure aux valeurs observées. Le bâtiment serait donc en permanence en confort. Cela paraît quand même difficile à soutenir....

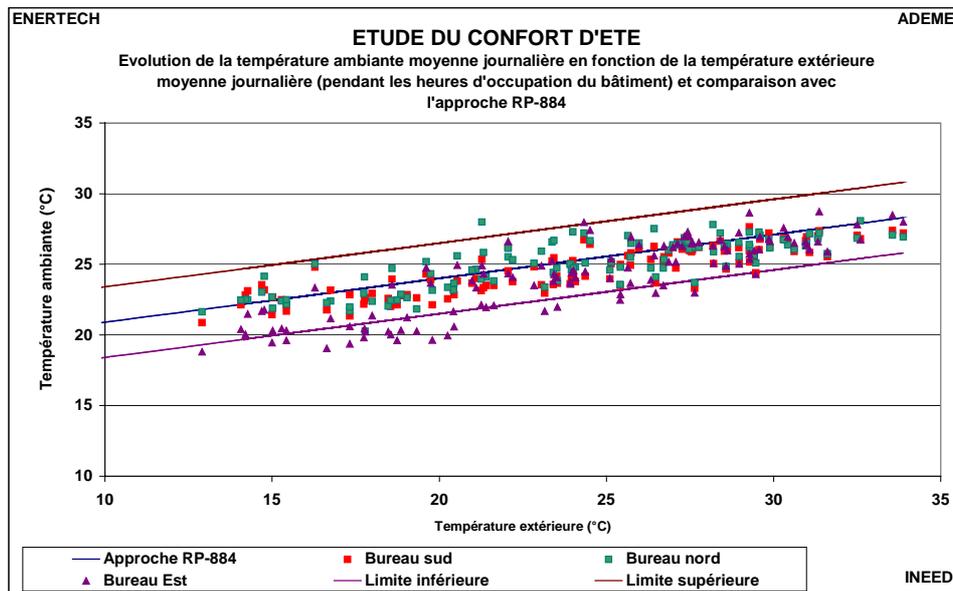


Figure 6.20 : Température ambiante en fonction de la température extérieure – Comparaison des mesures et de la méthode adaptative (approche RP-884)

Les contraintes de la méthode RP-884 sont représentées sur la figure 6.20 où elles sont matérialisées par la « bande » de confort (c'est la zone dans laquelle 90 % des occupants sont satisfaits) qui inclut tous les points compris dans un intervalle de +/- 2,5°C par rapport à la « température de confort ». Cette méthode est la plus couramment admise. Or la figure 6.20 ne fait apparaître qu'un seul point en dehors de la partie supérieure de l'enveloppe. Certains points sont en deçà de la partie inférieure de l'enveloppe (inter saison), mais les températures ne sont jamais inférieures à 19°C.

Le tableau suivant reprend les résultats graphiques précédents. On a pour chaque approche considéré une « bande » de 5°C autour de la « température de confort », puis on a calculé le nombre de points compris dans cette bande.

| | Sud | Nord | Est |
|--------------------|-----|------|------|
| Approche Humphreys | 86% | 81% | 86% |
| Approche AP-884 | 98% | 97% | 78%* |
| Approche Scat | 76% | 87% | 59% |

* Températures inférieures à la limite inférieure de l'approche

Comme des sondes de température avaient été installées dans la majorité des bureaux et que l'approche adaptative n'est fondée que sur la température ambiante, on a pu tracer la température moyenne journalière en période d'occupation en fonction de la température extérieure pour tous les bureaux suivis ainsi que la température de confort optimale selon la méthode AP-884. Voir figure 6.21.

Le résultat est très intéressant car 98,5% des températures sont inférieures à la limite supérieure de la méthode AP-884. On peut conclure que le confort est de très bonne qualité dans le bâtiment de l'INEED, et ce résultat a été obtenu sans aucune climatisation.

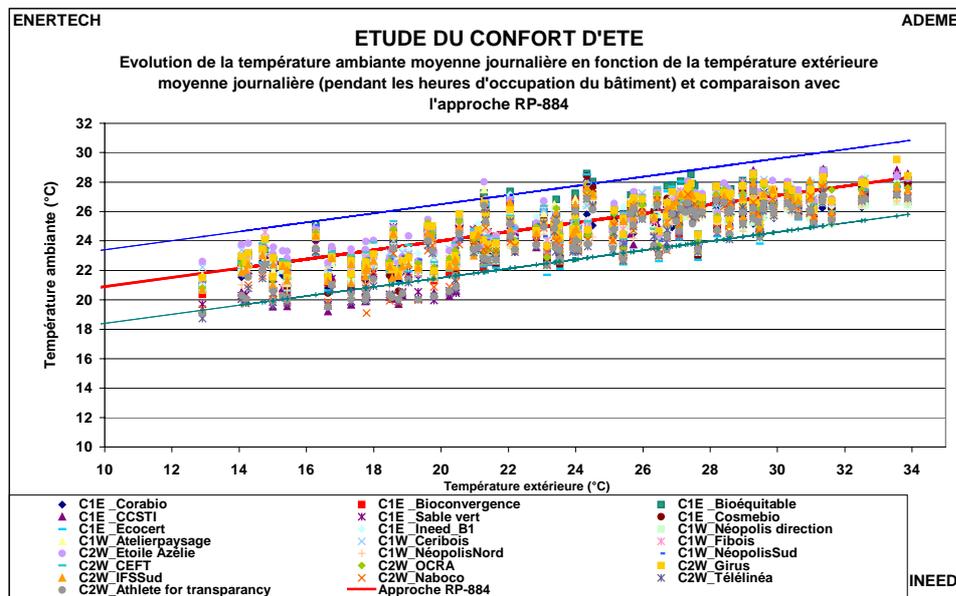


Figure 6.21 : Température ambiante en fonction de la température extérieure – Comparaison des mesures et de la méthode adaptative (approche RP-884) pour l'ensemble des bureaux suivis

VI.1.4 Etude de l'influence de la ventilation nocturne sur le confort d'été

Comme indiqué précédemment, il existe un système de surventilation nocturne mécanique dans le bâtiment. Il est automatiquement mis en marche si la température ambiante dépasse celle d'inconfort et si la température extérieure ou de sortie du puits canadien est inférieure de 2°C à celle mesurée dans le bâtiment (à l'aide de 4 sondes).

Mais, comme on l'a vu lors de l'étude de la CTA des bureaux, celle-ci ne fonctionne pas correctement (c'est à dire en période d'occupation) et tourne en permanence depuis le début de la campagne de mesures. Autrement dit, dans le bâtiment, la ventilation nocturne a lieu, que ce soit nécessaire ou non. Il était donc difficile de savoir comment aurait réagit la régulation en fonctionnement normal afin de connaître l'influence éventuelle de la ventilation nocturne sur le confort intérieur.

Mais nous disposons heureusement d'une indication précieuse dans le bâtiment. En effet, les registres tout ou rien qui assurent la ventilation des salles de réunion s'ouvrent (pour autoriser la ventilation de la salle) sous deux conditions : soit en détectant une présence, soit en cas de ventilation nocturne identifiée par le système de régulation centrale (décrit ci-dessus). C'est cette seconde fonction qui nous a permis de savoir à tout instant, malgré le fonctionnement permanent de la VMC, si la ventilation nocturne aurait ou non été activée dans le bâtiment (car à ce moment là les registres s'ouvrent), puisque nous avons mis des détecteurs nous permettant de connaître la position des registres (ouvert ou fermé) à tout moment. On a pu constater que le système de commande fonctionnait correctement, mais qu'il ne servait à rien puisque la CTA était en marche continue.

VI.1.5 Etude des températures de soufflage dans les bureaux

La figure 6.22 représente les courbes de fréquences cumulées de la température de soufflage à l'entrée de plusieurs bureaux d'une part, et à la sortie de la CTA bureaux d'autre part, en dehors de la saison de chauffage.

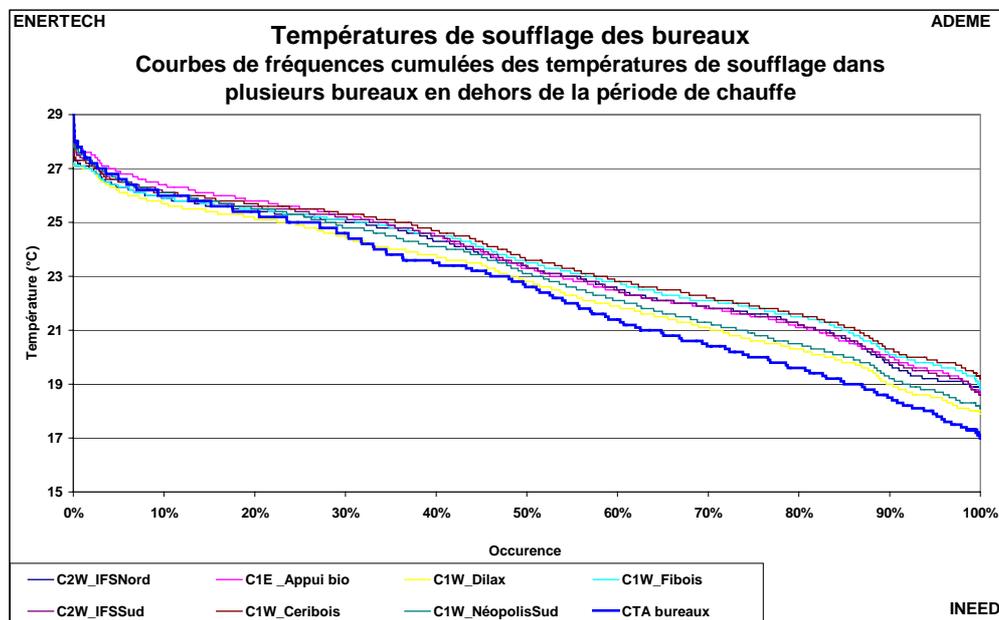


Figure 6.22 : courbes des fréquences cumulées des températures de soufflage dans plusieurs bureaux et au départ de la CTA bureaux

On observe sans aucune ambiguïté que la température de l'air soufflé dans les bureaux est toujours supérieure à celle au départ de la CTA, alors qu'on est en période estivale. Ceci signifie très clairement que l'air se réchauffe dans les réseaux lors de son transit dans le bâtiment. Ce faisant, il refroidit les zones qu'il traverse (souvent des circulations). Mais ce phénomène doit dans certains cas être contenu car il peut perturber le fonctionnement des locaux desservis.

VI.2 TEMPERATURE DANS LA SALLE DE CONFERENCE

VI.2.1 Etude des températures en hiver

La figure 6.23 représente les courbes de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle de conférence pendant la saison de chauffage en périodes d'occupation et d'inoccupation.

La température moyenne en occupation est de 19,2°C alors qu'elle n'est que de 18,2°C en inoccupation. Mais à l'évidence, la température d'inoccupation aurait pu être encore plus faible, car la température de ralenti est de 16°C. L'explication tient à ce que c'est la personne à l'accueil qui décide de la mise en marche de la CTA (système de chauffage de la salle de conférence). Or, comme on l'a vu, cette mise en marche n'a pas forcément lieu au moment opportun, et elle s'opère souvent la veille.....

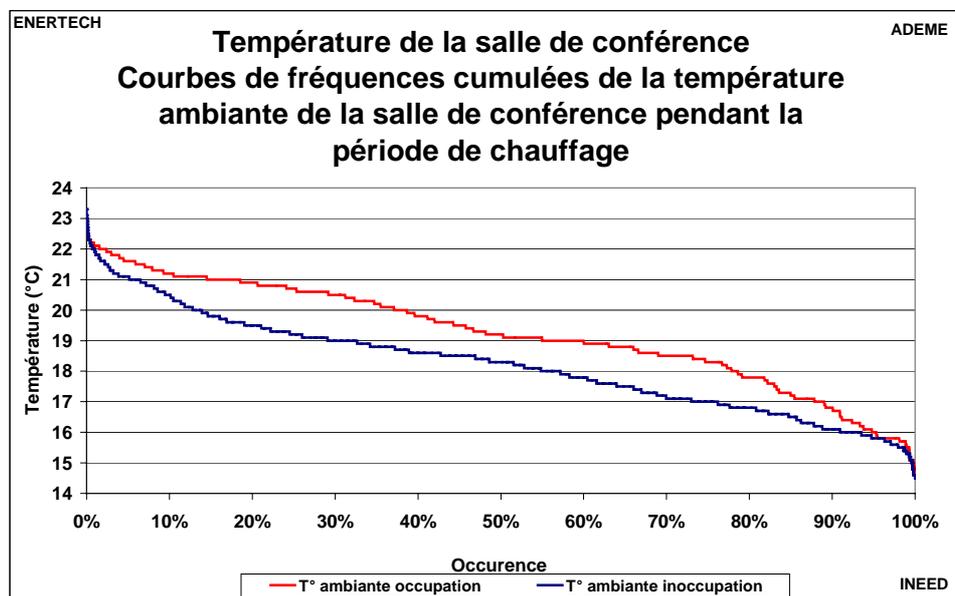


Figure 6.23 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle de conférence, en période d'occupation et d'inoccupation durant l'hiver

Afin de vérifier les conditions de confort dans la salle de conférence, il est donc nécessaire d'étudier les températures lorsqu'il y a occupation ET que la CTA fonctionne. La figure 6.24 représente la courbe des fréquences cumulées de la température ambiante de la salle de conférence pendant la saison de chauffe et pendant les heures de présence avec un fonctionnement de la CTA.

La température est inférieure à 19°C durant seulement 5 % du temps, mais ceci est dû aux périodes de remise en chauffe de la salle. La température moyenne est de 20,6°C et la température maximale de 22,8°C. Ces valeurs sont supérieures à la limite réglementaire de 19°C, mais on ne peut pas encore dire si ceci est dû à un défaut de régulation terminale ou si c'est dû à la présence trop abondante des apports internes, tout système de chauffage arrêté.

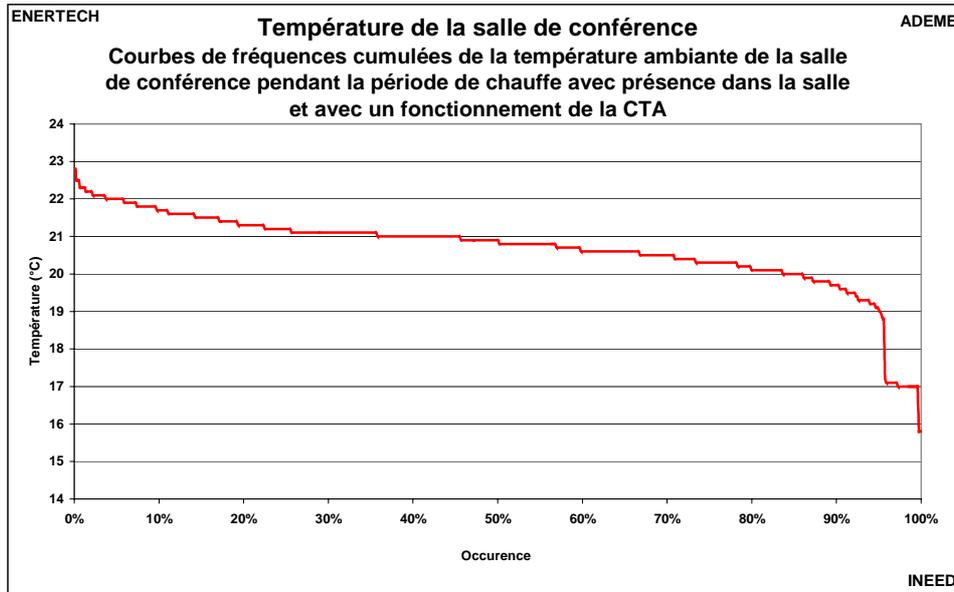


Figure 6.24 : courbe de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle de conférence, en période d'occupation et avec CTA en fonctionnement, durant l'hiver

La figure 6.25 représente l'évolution de la température ambiante, la puissance électrique des moteurs de la CTA, et la consommation d'énergie utile (compteur de chaleur) de la salle de conférence le 22/01/2009. Lors du fonctionnement de la CTA, on observe que la température oscille entre 20°C et 22°C, ce qui est très important. Ces variations ne sont pas dues à un phénomène de « pompage » car la période est trop grande. Peut-être est-ce dû à un différentiel trop important de la régulation.

Mais il est aussi étonnant de constater que la consommation d'énergie utile n'est pas nulle au delà d'une température de 19°C dans la salle. Ce qui signifie que la régulation, ou les points de consigne, doivent être revus afin de faire en sorte que, si la température dépasse 19°C, ce ne sera pas à cause du fonctionnement de l'installation de chauffage mais seulement de la présence d'apports gratuits.

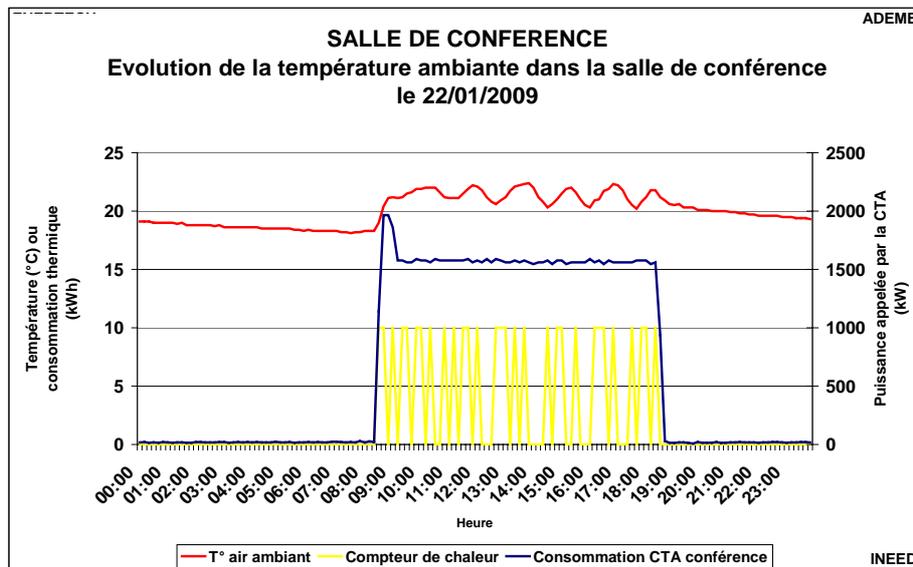


Figure 6.25 : Evolution de la température ambiante, de la consommation électrique de la CTA et de la consommation d'énergie utile de la salle de conférence, le 22/01/2009

VI.2.2 Etude des températures en été

La figure 6.26 représente les courbes de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle de conférence en période d'occupation et d'inoccupation, en dehors de la période de chauffage. Il n'y a pas de différences très sensibles entre les températures, pendant et hors occupation ! La température de 28°C n'a jamais été dépassée dans cette salle.

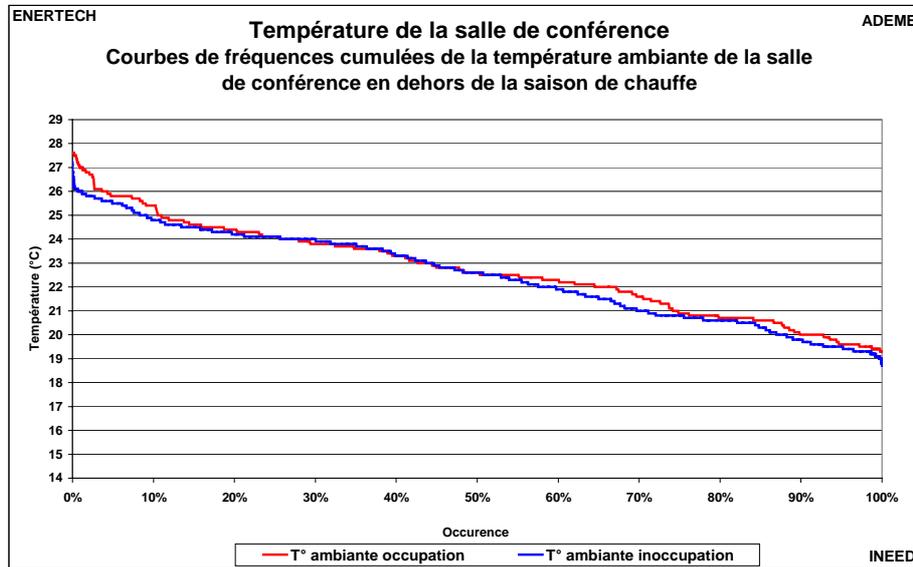


Figure 6.26 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle de conférence, en période d'occupation et d'inoccupation en été

Mais on sait que le pilotage du fonctionnement de la salle n'est pas très bon, si bien que l'approche globale proposée par la figure 6.26 ne permet pas de comprendre s'il est légitime ou non que les températures soient sensiblement les mêmes en périodes d'occupation et d'inoccupation.

Pour lever ce doute, on a porté sur la figure 6.27 la courbe de fréquences cumulées de la température ambiante en période d'occupation mais également avec CTA en fonctionnement, et la courbe de fréquences cumulées de cette température lorsque la salle n'est pas occupée et/ou que la CTA est arrêtée.

Dans ce cas, la différence de température est nette. La température moyenne en cas de présence et de fonctionnement de la CTA est de 25°C contre 22,5 dans l'autre cas. Ceci s'explique très simplement par les apports de chaleur des personnes présentes dans la salle.

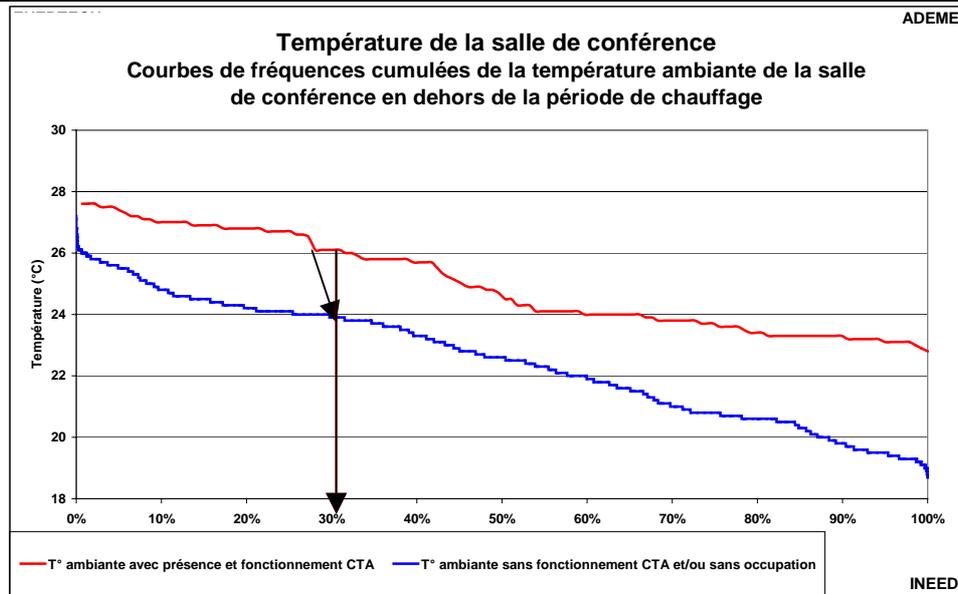


Figure 6.27 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle de conférence en période d'occupation + fonctionnement CTA, et en période d'inoccupation et/ou arrêt de la CTA, en été

Que conclure de ces observations ?

La principale leçon est bien sûr qu'il faut très vite revoir la programmation du fonctionnement de cette salle de conférence et modifier la manière dont elle est pilotée actuellement. Aujourd'hui, elle est ventilée, voire chauffée et même refroidie alors qu'elle est vide. Tout ceci a déjà été analysé en détail dans les chapitres précédents.

On peut aussi conclure que **les températures en période d'occupation estivale sont très confortables**. Là aussi, le confort est un succès.

VI.3 TEMPERATURE DANS LA SALLE D'EXPOSITION

VI.3.1 Etude des températures en hiver

La salle d'exposition est une salle intéressante à étudier et à comparer avec la salle de conférence, car elle possède un rapport surface vitrée/surface utile de 49 %, valeur beaucoup trop importante qui avait été mise en œuvre malgré l'avis défavorable de l'énergéticien. Pour mémoire, ce même rapport vaut 17% pour la salle de conférence.

La figure 6.28 représente les courbes de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle d'exposition pendant la saison de chauffe, en période d'occupation et d'inoccupation.

La température moyenne d'occupation est de 20,9 °C, mais la température maximale atteint 26°C. En rapprochant ces évolutions de température de la consommation d'énergie utile fournie par le compteur de chaleur, on constate que le chauffage fonctionne jusqu'à des températures ambiantes supérieures à 23°C. A contrario, pendant 16 % du temps la température est inférieure à 19°C alors qu'il y a présence dans la salle. Premier constat : le système est très mal régulé, et les points de consigne ne sont pas où ils devraient.

En comparant, pour les périodes d'inoccupation, les courbes de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle de conférence (figure 6.11) et de la salle d'exposition, on constate de beaucoup plus grandes variations de température dans la salle d'exposition que dans la salle de

conférence. Ceci est dû à la plus grande inertie thermique et à la meilleure isolation, donc à la plus grande constante de temps, de la salle de conférence par rapport à la salle d'exposition.

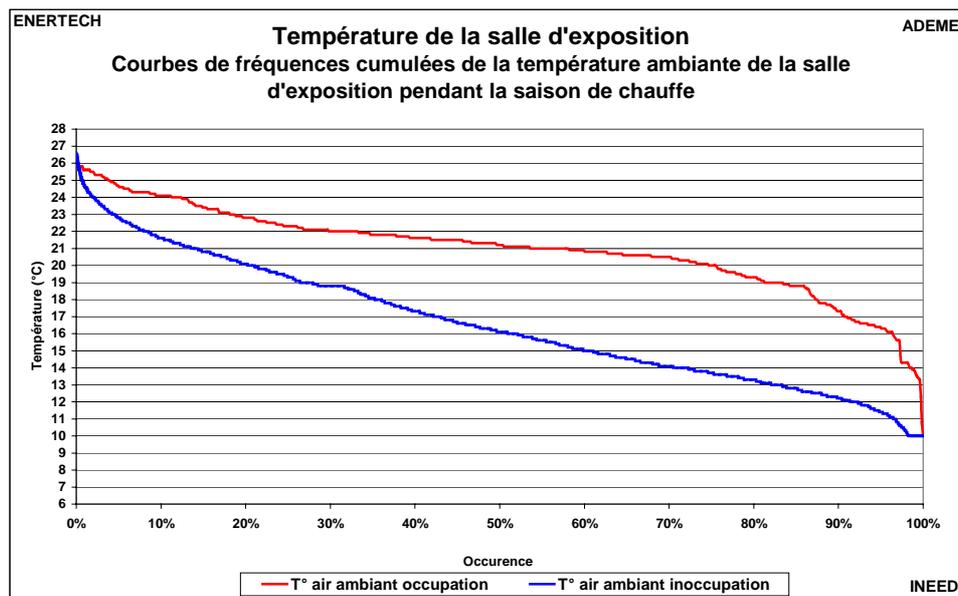


Figure 6.28 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle d'exposition en hiver, en période d'occupation et d'inoccupation

Tout comme pour la salle de conférence, il est nécessaire d'étudier la température ambiante non seulement lorsqu'il y a présence mais également lorsque la CTA fonctionne. En effet, c'est cette dernière qui assure le rôle de chauffage, il est donc nécessaire de la mettre en marche pour que la salle chauffe.

La figure 6.29 représente la courbe de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle de conférence du 01/12/2008 au 01/03/2009 pendant les heures de présence et avec un fonctionnement de la CTA d'une part, et en période d'inoccupation et/ou CTA arrêtée.

En période d'occupation, la température évolue entre 19 et 24°C, ce qui est trop, d'autant plus qu'on a mis en évidence précédemment que le chauffage fonctionne même lorsque la température ambiante est de 23°C. Pendant seulement 3% du temps, la température est inférieure à 19°C.

La température moyenne en période d'occupation (et de fonctionnement de la CTA) est de 21,2°C contre 14,3°C en inoccupation.

On peut conclure qu'en hiver il ne fait jamais froid dans cette salle et qu'il faudrait au contraire faire en sorte que la température soit plus basse. Ceci dit, il s'agit d'une salle très vitrée, avec un effet de parois froides renforcé par l'intermittence importante d'occupation. Il pourrait donc être nécessaire, et acceptable, d'augmenter les points de consigne au-delà des valeurs usuelles.

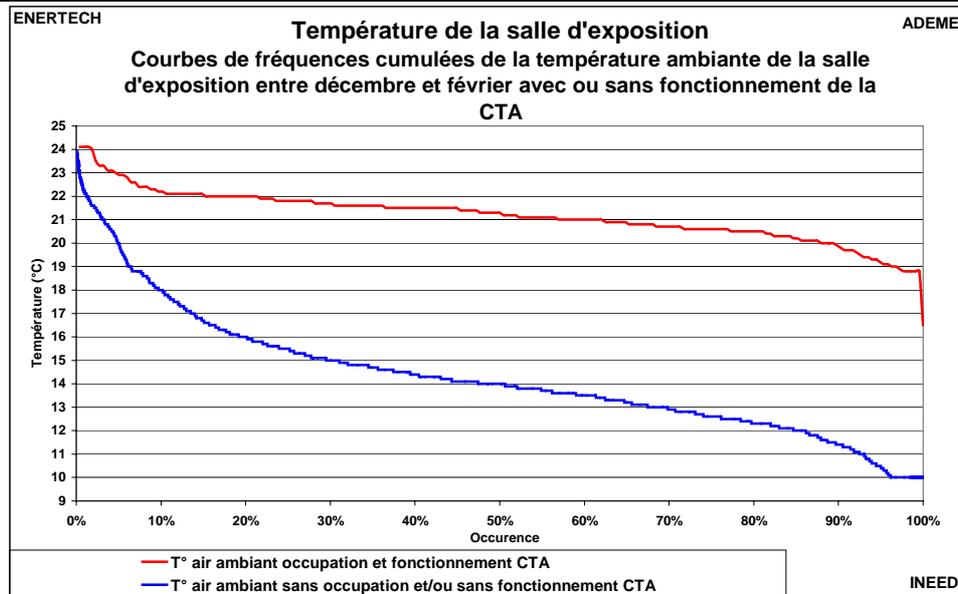


Figure 6.29 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle d'exposition en période d'occupation + fonctionnement CTA, et en période d'inoccupation et/ou arrêt de la CTA entre Décembre et Février

VI.3.2 Etude des températures en été

La figure 6.30 représente les courbes de fréquences cumulées de la température ambiante de la salle d'exposition, en période d'occupation et d'inoccupation, en dehors de la saison de chauffage. Il n'y a guère de différence selon que la salle est ou non occupée. Au demeurant, elle n'est pratiquement jamais occupée en été car elle est jugée inutilisable par les usagers à cause de la température qui y règne. En effet, 28°C a été dépassé durant plus de 32% du temps hors saison de chauffage, ce qui est considérable. La température de la salle est montée jusqu'à 36°C. **Très clairement, cette salle est tout à fait inconfortable et la raison en est simplement la taille des surfaces vitrées, malgré la présence d'occultations verticales permanentes extérieures en bois sur la façade Est et horizontale au Sud. Il est plus que dommage que les énergéticiens ne soient pas écoutés lorsqu'ils pronostiquent une catastrophe de ce type.** Leur mission n'est pas d'aller « contre » l'architecture mais au contraire d'alerter l'architecte de manière objective, au moyen d'outils puissants (la simulation dynamique) pour l'aider à trouver le parti architectural le plus intéressant dans le respect des contraintes de confort et d'énergie. Espérons que cet exemple servira à d'autres et qu'il ne sera pas reproduit.

Est-ce que le phénomène aurait pu être évité en mettant plus de protections solaires, un facteur solaire plus bas (il vaut 0,6 sur les vitrages en place), une ventilation nocturne naturelle efficace ? Incontestablement on aurait amélioré la situation. Mais il est probable, c'est ce que toutes les simulations démontrent, qu'on n'aurait malheureusement pas supprimé les surchauffes excessives qui existent. Pourquoi ? Parce qu'en été, les parties vitrées, comme en hiver, constituent le point faible des parois verticales. La chaleur sort en hiver par les vitrages, pas par les murs bien isolés. En été c'est la même chose, mais en sens inverse : la chaleur extérieure pénètre dans le bâtiment par les parois vitrées, par simple convection/conduction. Et même les protections solaires ne peuvent rien contre ce phénomène. Il s'ensuit que lorsque les parois vitrées ont été surdimensionnées, on ne peut plus guère espérer retrouver le confort, même avec les meilleures protections solaires du monde et une bonne ventilation nocturne, etc. Il faudrait doubler les parois vitrées avec un isolant thermique. Trop vitrer, dans les bâtiments qui cherchent à consommer très peu, conduira toujours à augmenter (voire dans certaines situations à faire exploser) les consommations en hiver, et à rendre inhabitable le bâtiment en été à cause des surchauffes. Il est probable que de nombreux projets se feront encore sans tenir compte de la recommandation qui précède. Mais ils se traduiront tous par des difficultés et un inconfort coûteux en été.

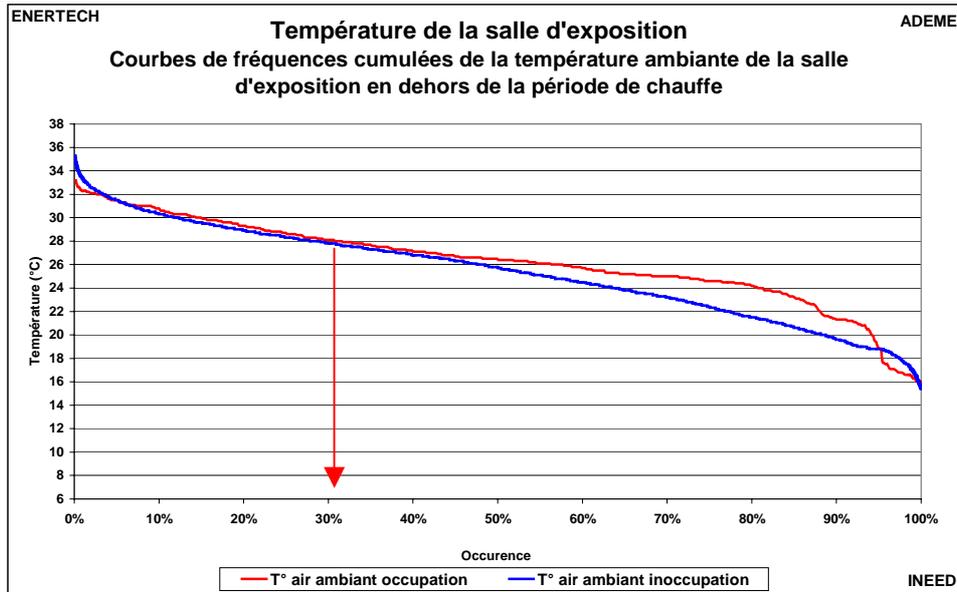


Figure 6.30 : courbe de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle de conférence, en période d’occupation et d’inoccupation en été

En examinant le fonctionnement de la salle occupée avec la CTA, ou non occupée et/ou avec CTA arrêtée, on observe que la température est inférieure lors de l’occupation et du fonctionnement de la CTA que durant l’inoccupation. Il est probable que ceci est très simplement dû au fait qu’en période d’occupation, les usagers mettent en route la CTA, certes, mais surtout **ils ouvrent les fenêtres !**

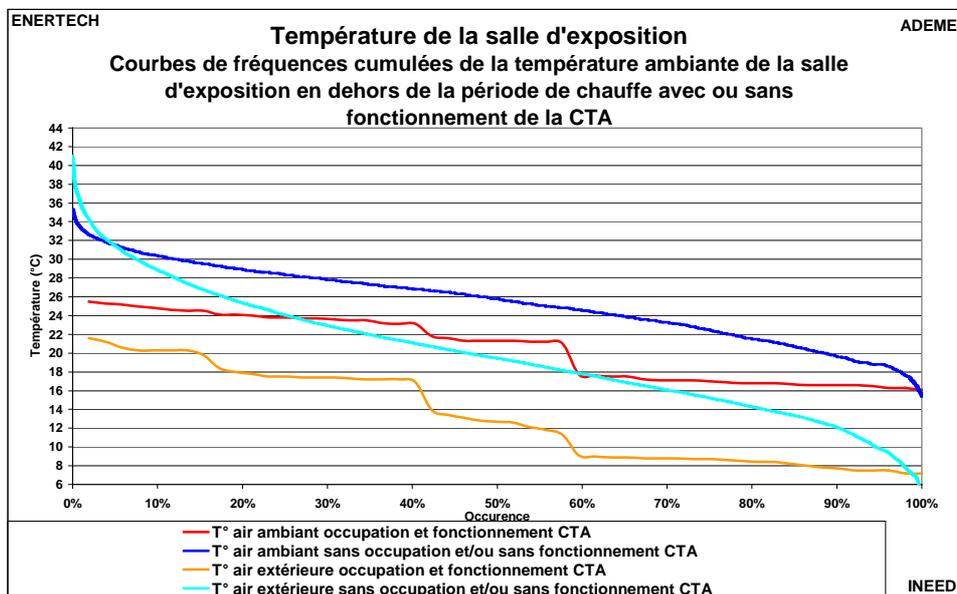


Figure 6.31 : courbes de fréquences cumulées de la température ambiante dans la salle d’exposition en période d’occupation + fonctionnement CTA, et en période d’inoccupation et/ou arrêt de la CTA, en été

Si les usagers acceptaient d’ouvrir le soir et de fermer le matin les grandes portes-fenêtres de cette salle sur l’extérieur, il est certain que les conditions de confort s’amélioreraient considérablement....

La figure 6.32 représente la température ambiante des salles de conférence et d’exposition en fonction de la température extérieure, en dehors de la saison de chauffe, en période d’inoccupation et sans fonctionnement de la CTA.

La température ambiante apparaît largement plus conditionnée par la température extérieure dans le cas de la salle d'exposition que dans celui de la salle de conférence. Alors que la température extérieure est proche de 40°C, la température de la salle de conférence et d'exposition sont respectivement de 25°C et 35°C. Pourtant ces deux salles sont exposées exactement de la même manière. L'une est au rez-de-chaussée, l'autre au dernier niveau. La seule chose qui les distingue est...la taille de leur surface vitrée (référée à leur surface utile bien sûr).

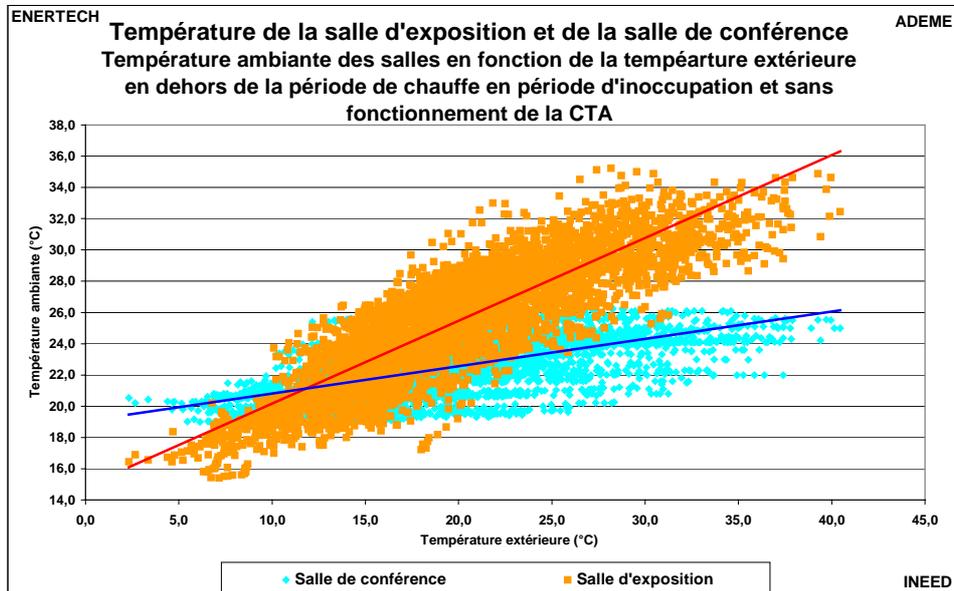


Figure 6.32 : températures des salles de conférence et d'exposition en fonction de la température extérieure, hors saison de chauffe, en période d'inoccupation et sans fonctionnement de la CTA

VI.4 TEMPERATURE DANS LES SALLES DE REUNION

Au cours de la campagne de mesure, plusieurs mesureurs ont disparu dont celui de la mesure de la température de la salle « Baie d'Halong ». On n'a donc pas pu traiter les données relatives à cette salle.

VI.4.1 Etude des températures en hiver

Dans ce chapitre nous n'avons traité que les mesures effectuées sur la période allant du 1^{er} décembre au 28 février, car ça a été la plus froide de l'hiver.

Le tableau suivant reprend les températures minimale, moyenne et maximale sur la période d'étude en fonction de l'occupation ou non de la salle. En moyenne, la température en période d'occupation est de 20,8°C, et en période d'inoccupation de 20,1°C. Ces salles étant « enclavées » dans le bâtiment parmi les autres locaux, elles sont peu indépendantes pour leur température. Une chose est sûre, elles aussi sont largement au-delà de 19°C, avec toutes les conséquences déjà évoquées par cette situation.

| | | Johannesburg | Kyoto | Rio | Atoll d'Aldabra |
|--------------------|---------|--------------|-------|------|-----------------|
| Hiver inoccupation | Mini | 19,1 | 18,0 | 17,8 | 18,6 |
| | Moyenne | 20,7 | 20,2 | 19,2 | 20,1 |
| | Maxi | 23,1 | 24,1 | 21,4 | 21,7 |
| Hiver occupation | Mini | 16,5 | 17,6 | 18,0 | 18,2 |
| | Moyenne | 22,0 | 21,0 | 20,4 | 19,8 |
| | Maxi | 24,3 | 24,1 | 22,2 | 21,1 |

Les figures 6.33 et 6.34 représentent les courbes de fréquences cumulées des températures entre décembre et février en période d'occupation et d'inoccupation.

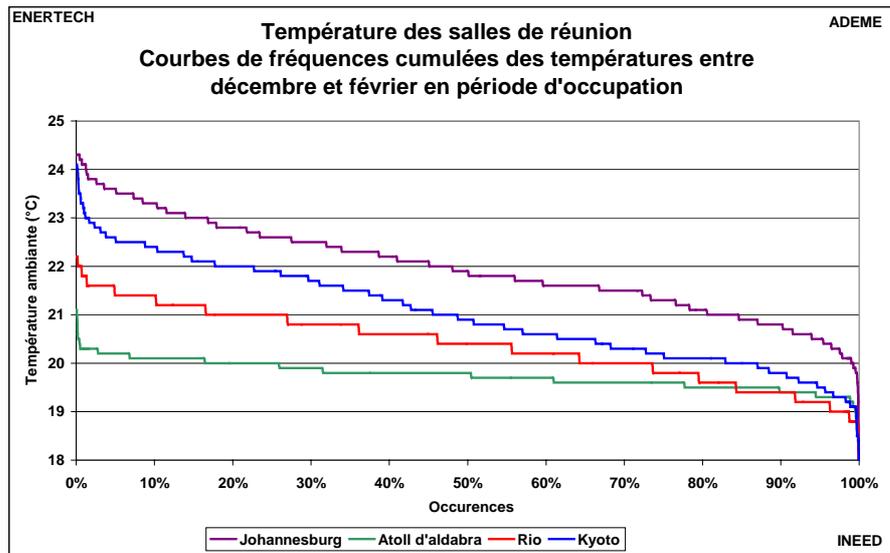


Figure 6.33 : fréquences cumulées de la température des salles de réunion, en hiver, en période d'occupation

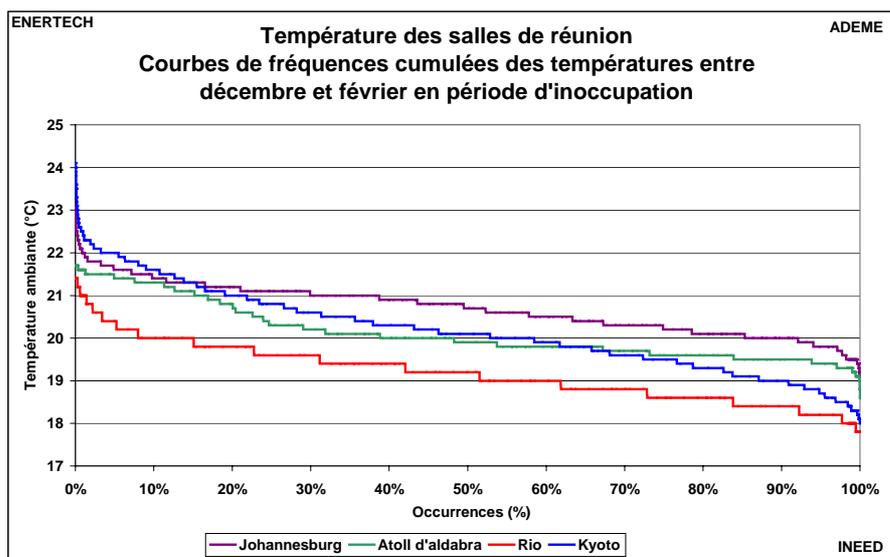


Figure 6.34 : fréquences cumulées de la température des salles de réunion en hiver, en période d'inoccupation

VI.4.2 Etude des températures en été

A l'exception de la salle Kyoto, les températures moyennes sont plus fraîches pendant l'occupation que pendant l'inoccupation. Ceci est très certainement imputable à la ventilation des salles de réunion qui fonctionne lorsqu'une présence est détectée. Quelle que soit la salle, la température n'a pas dépassé 28°C pendant plus de 1% de l'occupation et n'a jamais dépassé 28°C en inoccupation.

Le capteur de la salle Kyoto s'est mis à dysfonctionner à partir du 22 juin, ce qui explique les diminutions plus rapides de température sur les courbes des figures 6.35 et 6.36.

| | | Johannesburg | Kyoto | Rio | Atoll d'Aldabra |
|------------------|---------|--------------|-------|------|-----------------|
| Eté inoccupation | Mini | 19,5 | 17,1 | 18,4 | 16,4 |
| | Moyenne | 24,6 | 21,0 | 24,5 | 24,4 |
| | Maxi | 26,6 | 25,9 | 28,0 | 27,2 |
| Eté occupation | Mini | 19,7 | 18,0 | 18,0 | 18,2 |
| | Moyenne | 24,3 | 24,1 | 23,9 | 22,4 |
| | Maxi | 28,5 | 26,0 | 28,0 | 26,8 |

En été, la température moyenne en période d'occupation comme d'inoccupation a été de 23,7°C dans les quatre salles. En moyenne, la température maximale en période d'occupation a été de 27,3°C, et de 26,9°C en période d'inoccupation. Toutes ces températures attestent du bon fonctionnement estival du bâtiment et de ces salles en particulier.

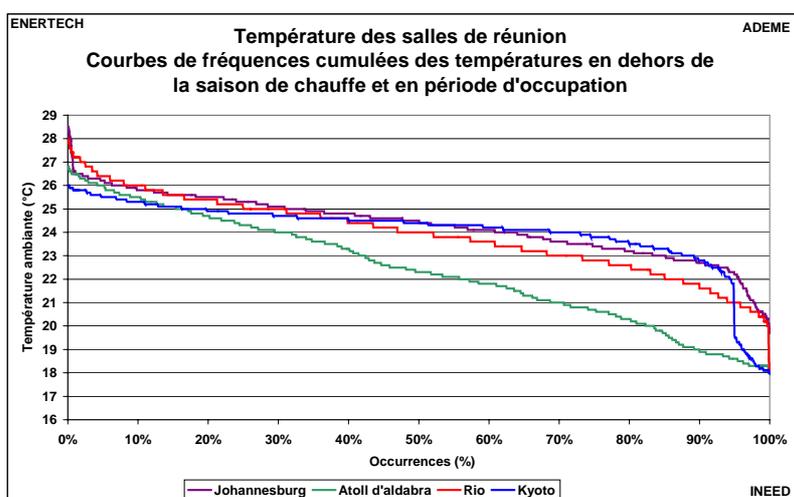


Figure 6.35 : fréquences cumulées de la température des salles de réunion, hors saison de chauffage, en période d'occupation

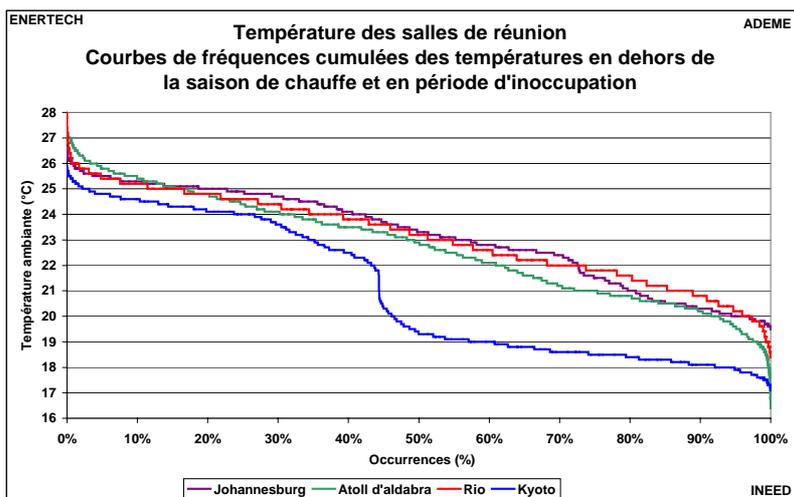


Figure 6.36 : fréquences cumulées de la température des salles de réunion, hors saison de chauffage, en période d'inoccupation

VI.5 TEMPERATURE DANS LES ESPACES COMMUNS

VI.5.1 Local CTA

La figure 6.37 représente la courbe de fréquences cumulées des températures du local d’implantation de la CTA bureaux. Ce local n’est évidemment pas chauffé. Rappelons aussi qu’il est situé à R-1. Les températures minimales, moyennes et maximales sont respectivement de 14°C, 19,6°C et 25,8°C.

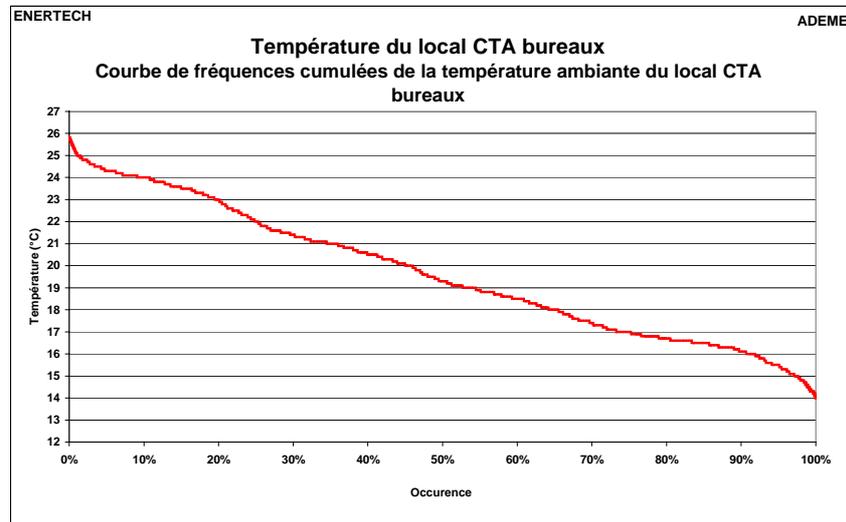


Figure 6.37 : courbe de fréquences cumulées de la température dans le local CTA Bureaux

VI.5.2 Le local VDI

La figure 6.38 représente la courbe de fréquence cumulées des températures ambiante du local serveur.

Les températures minimale, moyenne et maximale sont respectivement de 20,5°C, 24,8°C et 29,3°C.

Il est très intéressant d’observer que, pour des raisons de réduction des consommations d’énergie, il avait été décidé de ne pas doter ce local de climatisation. Et cela fonctionne sans que la climatisation soit nécessaire. Les matériels sont d’une robustesse qui leur permet de résister à des températures de l’ordre de 30°C. Il n’est pas nécessaire de les faire travailler en ambiance climatisée à 23°C.... La preuve en est faite.

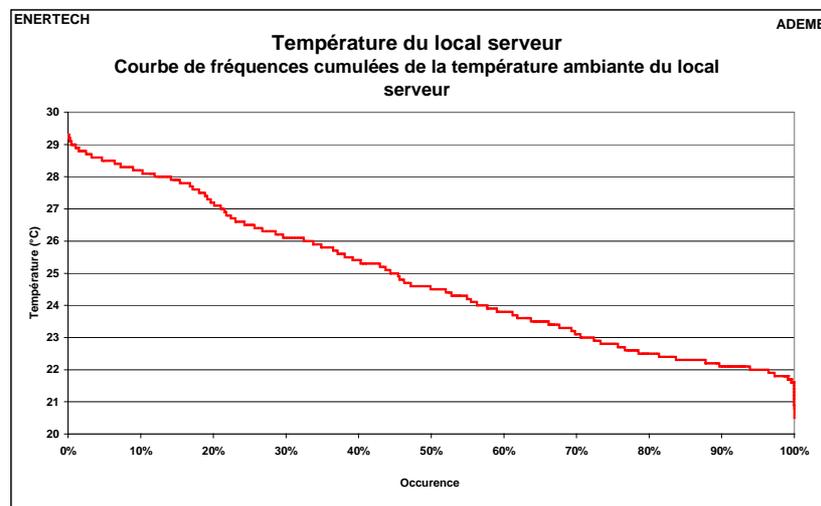


Figure 6.38 : courbe de fréquences cumulées de la température dans le local serveurs

Partie VII : Etude des systèmes thermiques

VII.1 TAUX DE CHARGE DE LA CHAUDIERE

Le taux de charge de la chaudière est le rapport de la puissance (à charge partielle) à la puissance maximale, ou de l'énergie fournie dans un intervalle de temps, à l'énergie produite à pleine puissance dans cet intervalle de temps. Analysé à l'échelle de l'année, il permet donc de caractériser l'adéquation de la chaudière avec le bâtiment.

En effet, le rendement d'une chaudière « classique » décroît sensiblement avec son taux de charge car la réduction de celui-ci conduit à de fréquents arrêts de la chaudière qui fonctionne alors de façon très intermittente, générant des pertes relatives importantes car continues.

Ce bâtiment dispose d'une chaudière VARINO à brûleur modulant. Celle-ci se caractérise par un rendement quasi constant quelle que soit sa charge. Celle-ci est modulable de 10 à 100 % de la puissance. Cette modulation est obtenue par variation de la surface du brûleur, ce qui maintient une combustion idéale pour chaque type de flamme.

La figure 7.1 représente la courbe de fréquences cumulées du taux de charge de la chaudière au pas de temps horaire. Chaque valeur est donc obtenue en faisant le rapport de l'énergie fournie par la chaudière en une heure (et mesurée sur le compteur de chaleur), à l'énergie qu'elle aurait fournie en une heure à pleine puissance.

L'aspect « en escalier » de cette courbe est imputable au poids des impulsions des compteurs de chaleur qui est de 10 kWh, ce qui est relativement élevé et ne permet pas un suivi extrêmement fin. Au maximum, on aurait théoriquement pu observer 15 impulsions par heure (15 impulsions x 10 kWh = 150 kWh/h). On observe que le taux de charge s'élève au maximum à 87% soit 130 kW, mais de manière extrêmement ponctuel (une seule fois). **Le taux de charge maximum « effectif » n'a en réalité pas dépassé 67%.** Il n'a été supérieur à 50% que durant 3% du temps de la période de chauffe (132 heures). En excluant toutes les périodes hors saison de chauffage, **le taux de charge moyen est de 21%.**

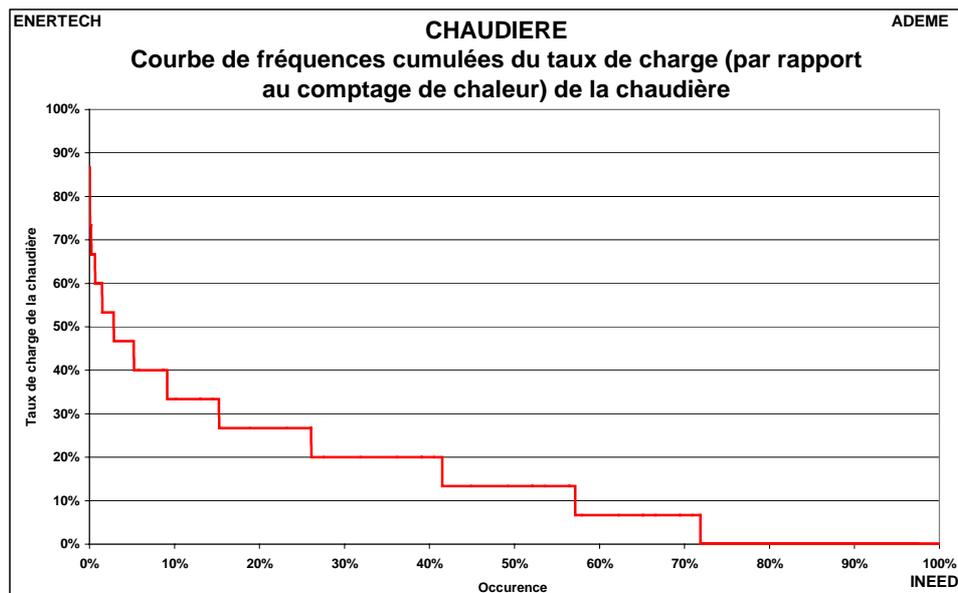


Figure 7.1 : Fréquences cumulées du taux de charge de la chaudière calculé au pas de temps de l'heure

VII.2 ETUDE DU RENDEMENT DE GENERATION

On appelle rendement de génération le rapport de l'énergie, ou de la puissance, utile en sortie de chaudière, à l'énergie, ou la puissance, primaire en entrée. Dans ce qui suit il faudra plutôt considérer l'énergie à la sortie de la boucle primaire (compteurs de chaleur au départ), ce qui inclut les pertes de cette boucle dans le bilan.

A l'échelle de toute l'année, **le rendement moyen de génération est de 91,2 %** (en prenant le pouvoir calorifique supérieur du gaz comme référence). Cette valeur doit être considérée comme très bonne. La figure 7.2 représente la courbe de fréquences cumulées du rendement journalier de la chaudière, en ne considérant que les jours où la consommation a dépassé 40 kWh. On ne peut en effet raisonner qu'au pas de temps de la journée à cause de la différence des poids d'impulsion du compteur gaz (1 kWh) et des compteurs de chaleur (10 kWh).

A l'échelle de la journée, le rendement observé est compris entre 100 % et 57 %. Le rendement est inférieur à 70 % pendant seulement 3 % du temps. Ce résultat est évidemment surprenant. Mais il s'explique par le fait que la connaissance, et même la détermination, du pouvoir calorifique du gaz n'est pas très précise d'une part, et qu'au mieux elle est connue à l'échelle du mois d'autre part, ce qui peut créer une distorsion sensible du résultat.

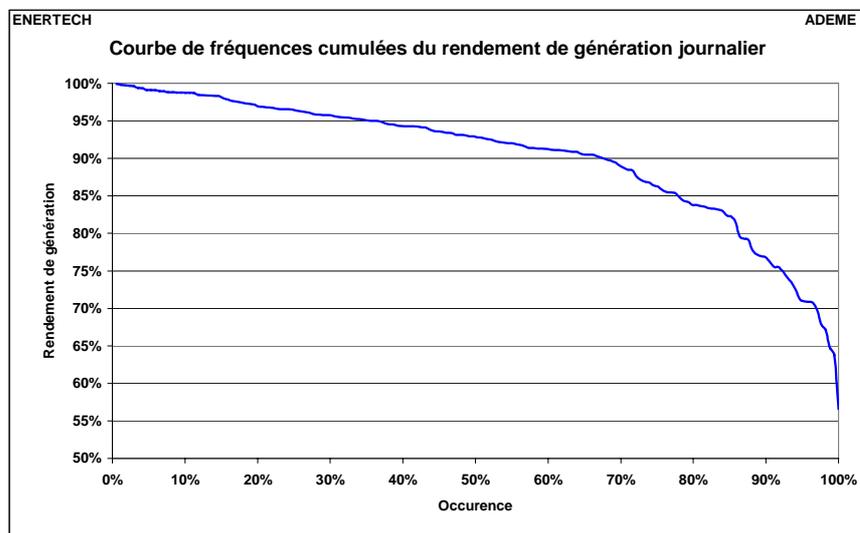


Figure 7.2 : Courbe de fréquences cumulées du rendement de génération journalier

La figure 7.3 représente le rendement moyen journalier pour chaque semaine (avec les mêmes incertitudes que celles évoquées précédemment) du suivi ainsi que la température extérieure moyenne de la semaine.

Ce graphique met en évidence de façon très claire l'évolution du rendement de génération avec la charge. Plus celle-ci baisse, plus le rendement se dégrade. Ceci appelle plusieurs observations importantes :

- avec une chaudière traditionnelle, le rendement d'exploitation décroît avec la charge. On doit donc en conclure de manière formelle qu'**il ne faut jamais surdimensionner une chaudière**, faute de quoi elle travaillera toute l'année en forte sous charge, même aux moments les plus froids. En conséquence, son rendement annuel sera très faible,

- la chaudière Varino est un peu particulière car elle voit son rendement augmenter lorsque sa charge décroît. C'est ce que fait apparaître la documentation technique la concernant. Or c'est le contraire qui apparaît sur le graphique de la figure 7.3. Pourquoi ? Probablement parce que le rendement de génération ne doit pas être évalué sur les seules pertes de la chaudière. Autour de la chaudière il y a une boucle primaire, des collecteurs, de gros volumes d'eau dans tous ces conduits, des vannes, divers organes, etc. Et à chaque démarrage de l'installation, il faut réchauffer ces éléments qui se sont refroidis depuis le cycle précédent. La chaudière n'est donc pas seule en cause dans la baisse de rendement en sous

charge : tous les réseaux et organes rattachés à elle participent de cette dégradation. Que faut-il en conclure concrètement pour la conception des installations ? Quelques règles simples :

- il faut que tous les réseaux primaires soient les plus courts possibles. Cela concerne la boucle primaire elle-même, la bouteille d'équilibre lorsqu'elle existe,
- dans la mesure du possible, il faut aussi que ces réseaux contiennent le moins de volume d'eau possible, car tous ces volumes doivent être réchauffés à chaque démarrage,
- l'ensemble des réseaux ET des organes se trouvant sur ces réseaux doit être hyper calorifugé. Les épaisseurs d'isolant utilisées doivent être conséquentes car en valeur relative, les pertes résiduelles sont très importantes dans les bâtiments ayant très peu de besoins. Mais chacun doit aussi comprendre que même les organes doivent aussi être calorifugés (corps de pompe, vannes, filtres, échangeurs, etc).

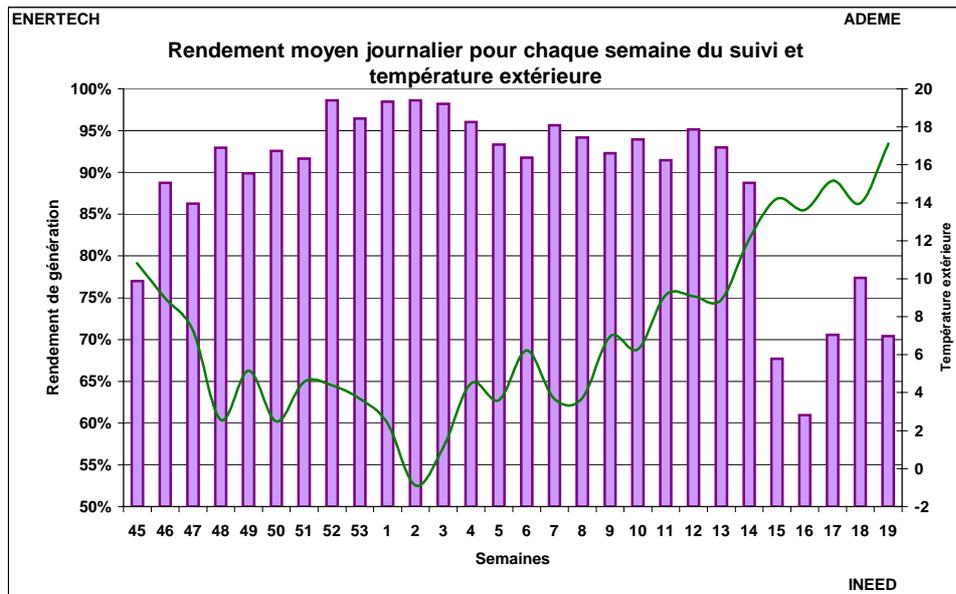


Figure 7.3 : Evolution du rendement moyen journalier pour chaque semaine du suivi, et de la température extérieure moyenne hebdomadaire.

Les figures 7.4 représente le rendement de génération journalier en fonction du taux de charge de la chaudière. L'ensemble des valeurs de la saison de chauffage figure sur ce graphique.

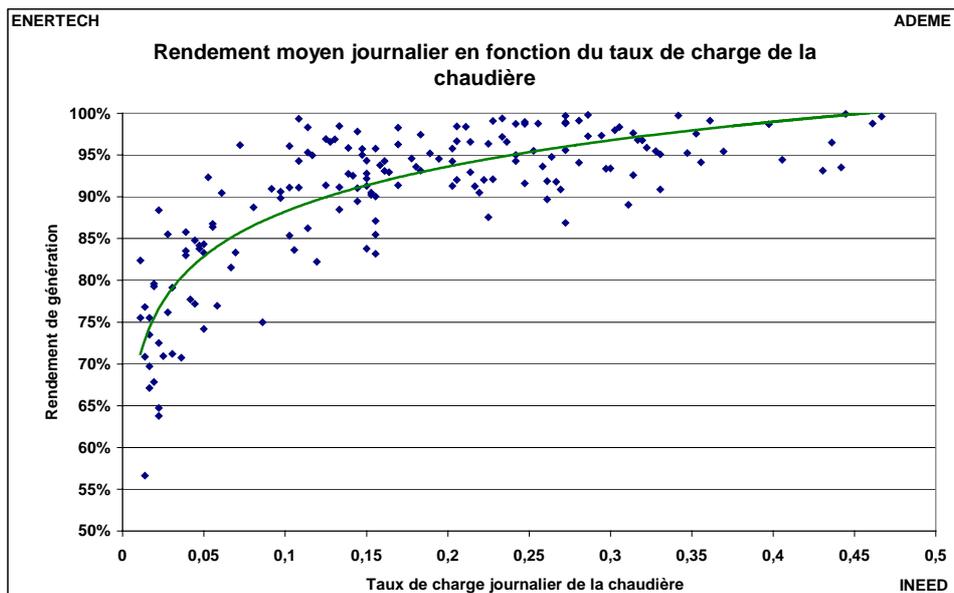


Figure 7.4 : Rendement de génération moyen journalier en fonction du taux de charge de la chaudière

Il est important de noter qu'à l'échelle de la journée, ce graphique montre que le taux de charge ne dépasse jamais 50% sur l'ensemble de la saison de chauffe.... C'est peu et explique pourquoi, même sans un surdimensionnement du générateur, le rendement à charge partiel doit être considéré comme le point très faible de toutes les installations. Or dans les bâtiments performants, les équipements travailleront de plus en plus en sous charge à cause du rôle majeur que jouent les apports gratuits. On doit donc s'attendre à ce que les rendements de génération se dégradent.

VII.3 ETUDE DE L'EFFICACITE DE L'ECHANGEUR DE LA CTA DES BUREAUX

L'installation de ventilation des bureaux est de type double flux avec récupérateur de chaleur à roue. On a suivi en continu l'ensemble des températures d'air soufflé et extrait de la CTA, ainsi que la consommation du moteur électrique de la roue de l'échangeur et la consommation de la CTA (ventilateurs).

L'ensemble de ces données permet de connaître l'efficacité de l'échangeur :

$$\eta \text{ échangeur} = \frac{T^{\circ} \text{ air soufflé} - T^{\circ} \text{ air neuf}}{T^{\circ} \text{ air extrait} - T^{\circ} \text{ air neuf}}$$

Cette relation n'est correcte que si les débits masses soufflé et extrait sont identiques. C'est l'hypothèse que nous avons faite dans ce qui suit. Cette relation dépend aussi du degré hygrométrique de l'air extrait. Les essais normalisés se font avec un degré hygrométrique de 50% sur l'air extrait (à 20°C).

Le calcul a été réalisé uniquement lorsque la CTA et la roue de l'échangeur étaient en fonctionnement et la batterie chaude à l'arrêt.

La figure 7.5 représente la courbe de fréquences cumulées de l'efficacité de l'échangeur de la CTA bureaux. L'efficacité moyenne sur l'année est de 74,8% avec un maximum de 96%. Pendant 50% du temps l'efficacité a été supérieure à 75%.

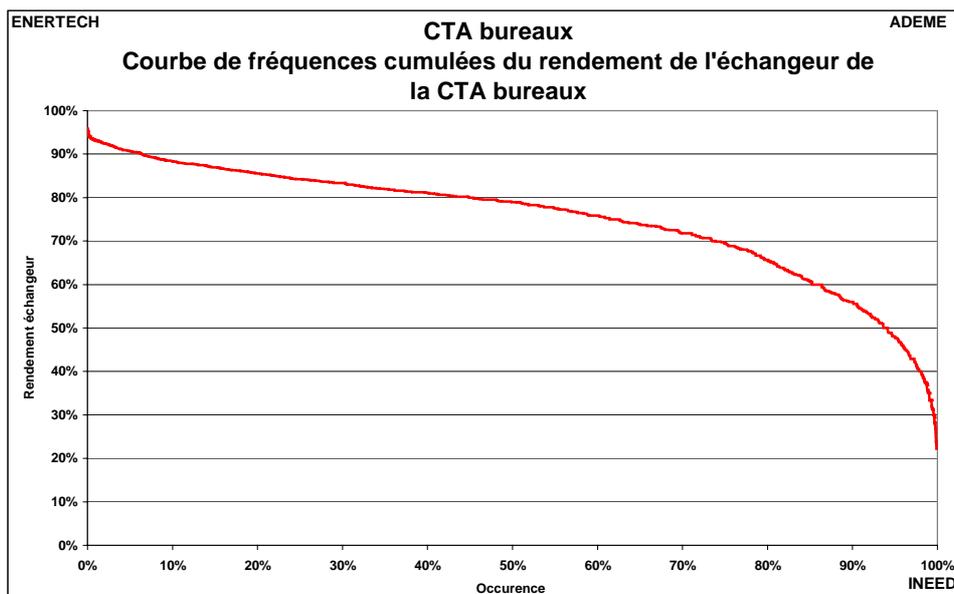


Figure 7.5 : Fréquences cumulées de l'efficacité de l'échangeur de la CTA bureaux

Ce graphique apporte quelques réponses mais pose aussi problème :

- à première vue on peut considérer que le résultat est relativement satisfaisant, car une efficacité de 75 % en moyenne est conforme à ce que l'on attend en général d'un échangeur de ce type (on prend souvent 70 % par précaution dans les calculs, et avec raison),

- on est *a priori* surpris d'observer que l'efficacité varie de 20 à 95 % car celle-ci ne devrait évoluer que très peu, essentiellement à cause de la variation de la chaleur latente disponible : en mi saison l'air neuf extérieur n'est plus très froid, et il ne permet plus la condensation de la vapeur d'eau de l'air extrait (qui est une source de chaleur). Il s'ensuit que l'efficacité de l'échangeur baisse.

On peut tenter d'expliquer ce phénomène par la variation de l'humidité de l'air au cours de l'année et la variation induite de la chaleur latente récupérée, mais c'est insuffisant. On peut aussi objecter que la CTA est à débit très variable et que lorsque le débit diminue, le temps de séjour de l'air dans l'échangeur augmente, donc aussi la qualité de l'échange et l'efficacité de l'échangeur. Mais lorsque le débit diminue, le coefficient d'échange superficiel diminue et donc aussi l'efficacité de l'échange !

La figure 7.6 représente l'efficacité de l'échangeur en fonction de la température d'entrée dans la CTA. On observe que :

- l'efficacité décroît fortement lorsque la température de l'air neuf augmente,
- il existe une certaine dispersion « relativement ordonnée » autour d'une tendance très marquée et très propre. Cette dispersion (autour d'une même température d'air neuf) provient essentiellement des variations de débit d'air propres à la CTA.

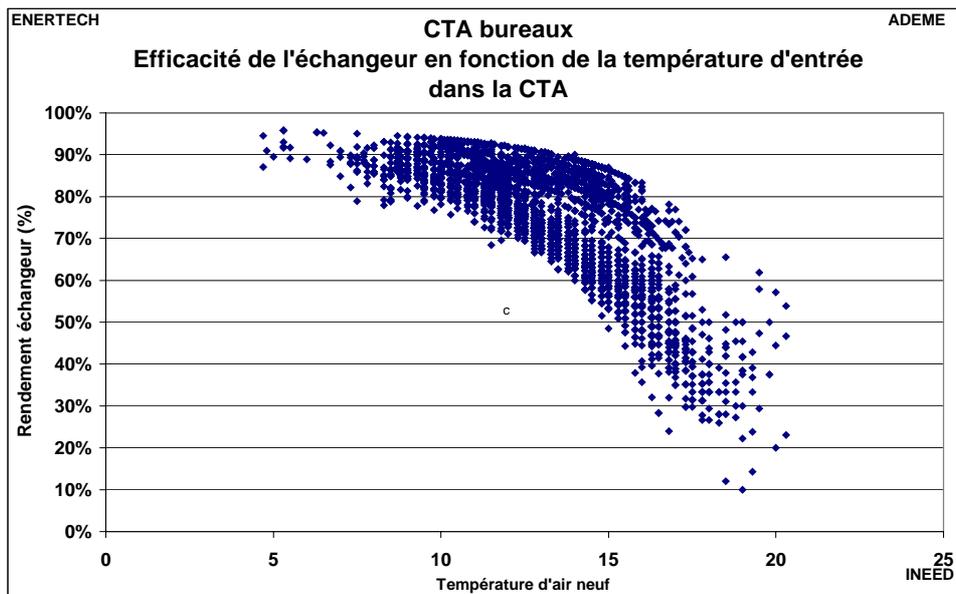


Figure 7.6 : Efficacité de l'échangeur en fonction de la température d'air neuf

Mais la raison des variations un peu mystérieuses de l'efficacité réside dans le fait que la CTA en place possède, sans que la maîtrise d'œuvre l'ait demandé dans son CCTP, une régulation de la vitesse de la roue de l'échangeur en fonction de la température d'entrée d'air. La figure 7.7 montre que, plus la consommation électrique du moteur de la roue est faible (donc plus la roue tourne lentement), plus l'efficacité de l'échangeur diminue. CQFD. En été, il n'y a plus d'échange, ce qui n'est pas forcément une bonne chose car en cas de forte chaleur extérieure, l'échangeur aurait permis de refroidir l'air neuf avec l'air extrait....

Ceci a une conséquence importante : avec une régulation de ce type, il n'est pas possible dans le calcul des bilans thermiques de prendre une efficacité constante au cours de l'année. En hiver, heureusement, l'efficacité est maximum lorsqu'il fait le plus froid. Mais cette efficacité chute très fortement en mi-saison, et il faudrait en tenir compte dans les calculs.

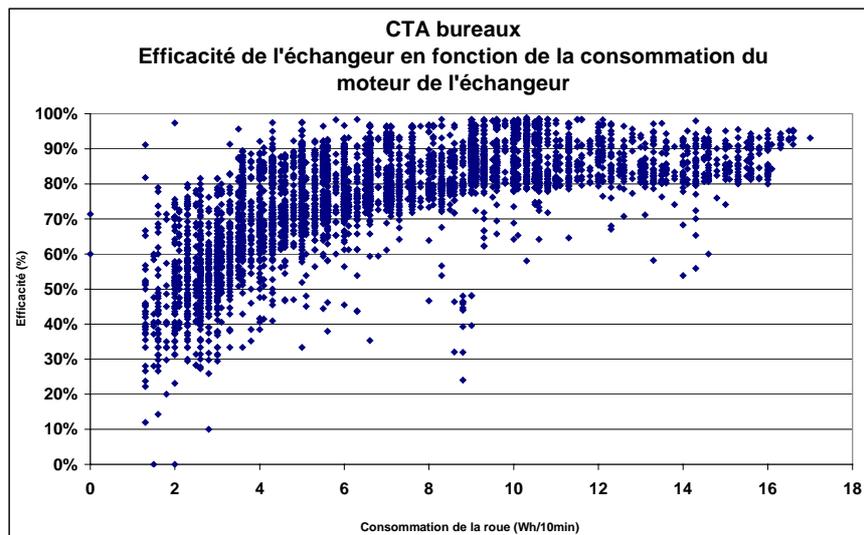


Figure 7.7 : Efficacité de l'échangeur en fonction de la consommation du moteur de la roue

VII.4 ETUDE DU PUITES CANADIEN

L'installation de ventilation comprend un puits canadien. Celui-ci préchauffe l'air extérieur en le faisant circuler dans le sol avant de le souffler dans les bureaux. On se reportera au schéma de la figure 2.4 qui présente le couplage du puits avec l'installation de ventilation.



Nappe inférieure des tubes du puits canadien. Profondeur : 2,8 m. Longueur : 40 m. Nombre de tubes : 6
 $\varnothing = 160 \text{ mm}$

Ce chapitre est consacré à l'étude du puits canadien en hiver (préchauffage de l'air) et en été (refroidissement de l'air).

La figure 7.8 représente l'évolution des températures moyennes journalières d'entrée et de sortie du puits canadien au cours de l'année, les jours de fonctionnement de la CTA (c'est à dire quand le puits canadien est ventilé).

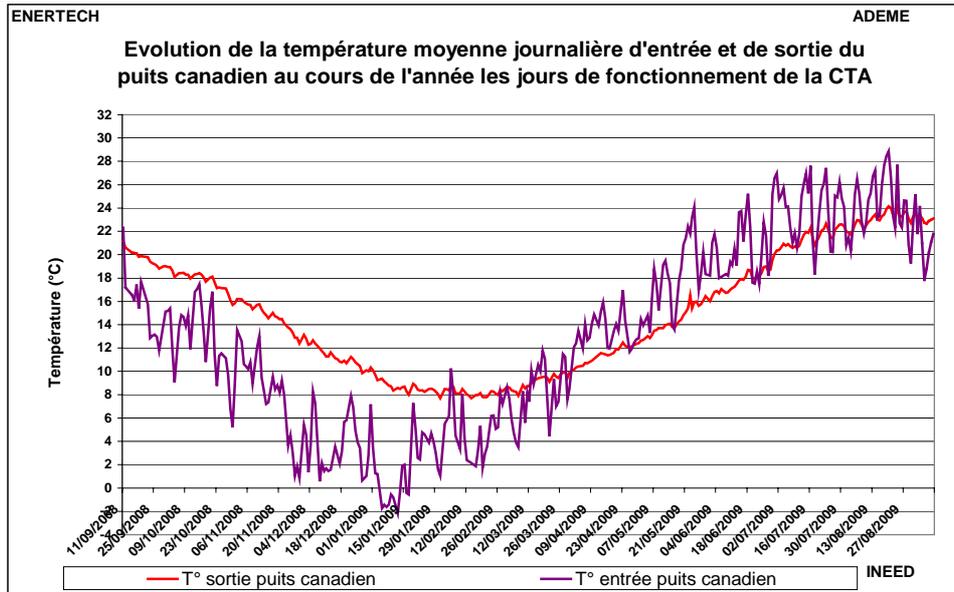


Figure 7.8 : Températures moyennes journalières à l'entrée et à la sortie du puits canadien

On s'aperçoit immédiatement de l'intérêt qualitatif du puits canadien. On observe notamment que :

- le puits joue le rôle d'un amortisseur : les variations de température au cours de l'année sont plus importantes en entrée qu'en sortie : l'écart entre extremums est de 25°C en sortie et de 44°C en entrée,
- curieusement, c'est aux solstices d'hiver et d'été que l'écart de température entre entrée et sortie est le plus important (8 à 10°C), et c'est aux équinoxes que cet écart est pratiquement nul, c'est à dire que les températures d'entrée et de sortie sont identiques,
- le puits canadien agit comme un filtre puissant : la température d'entrée fluctue énormément d'un jour à l'autre, alors que la température de sortie est beaucoup plus « lisse »,
- le puits canadien agit enfin comme un « déphaseur » : il décale les phénomènes d'environ 2 mois. Il n'a donc pas tout à fait le caractère de « stockage inter saisonnier » qu'on lui prête parfois. Il eût fallu pour cela qu'il déphase de 6 mois.

La figure 7.9 confirme ce qui précède concernant les variations de l'écart de température par rapport aux solstices et aux équinoxes.

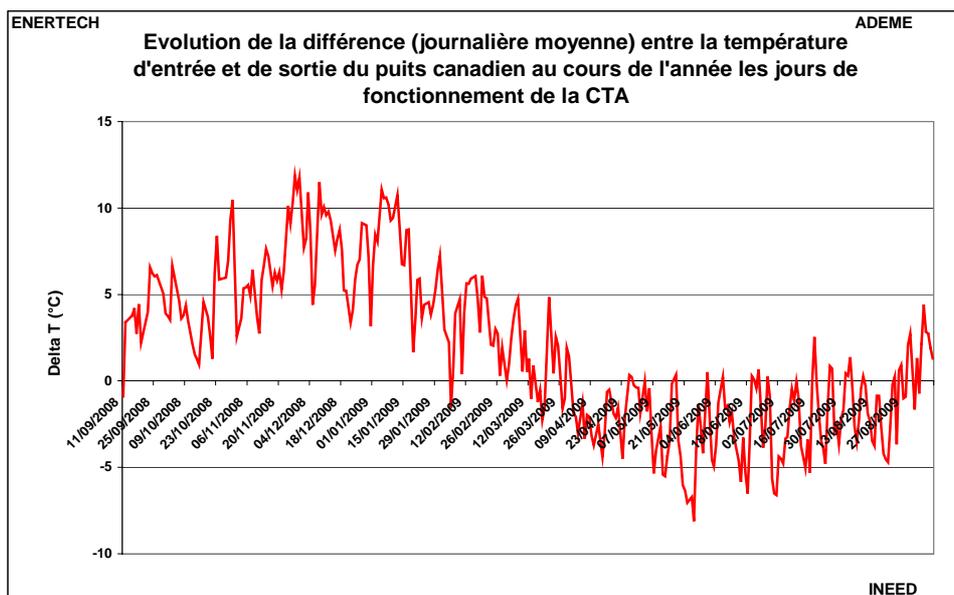


Figure 7.9 : évolution de l'écart de température entre entrée et sortie du puits canadien

La figure 7.10 représente l'évolution de l'hygrométrie moyenne journalière d'entrée et de sortie du puits canadien au cours de l'année les jours de fonctionnement de la CTA. Le principal intérêt de cette mesure était de permettre l'établissement d'un bilan enthalpique (voir plus loin). Mais dans l'immédiat, on peut faire sur la figure 7.10 quelques observations intéressantes :

- l'hiver, le degré hygrométrique extérieur est très élevé, et il baisse au cours de l'année lorsque la température extérieure augmente (tout le monde sait cela...),
- en réchauffant l'air en hiver, le puits canadien conduit très logiquement à abaisser son degré hygrométrique, ce qui apparaît très clairement,
- ceux qui pensaient qu'il y avait beaucoup de condensation dans un puits canadien, avec du ruissellement et des bactéries partout risque d'être déçus. La figure 7.10 fait apparaître très peu de moments de condensation : ils sont très ponctuels et peu nombreux. Non, la condensation n'apparaît pas comme un phénomène majeur dans un puits canadien, en tout cas sous le 45° parallèle.

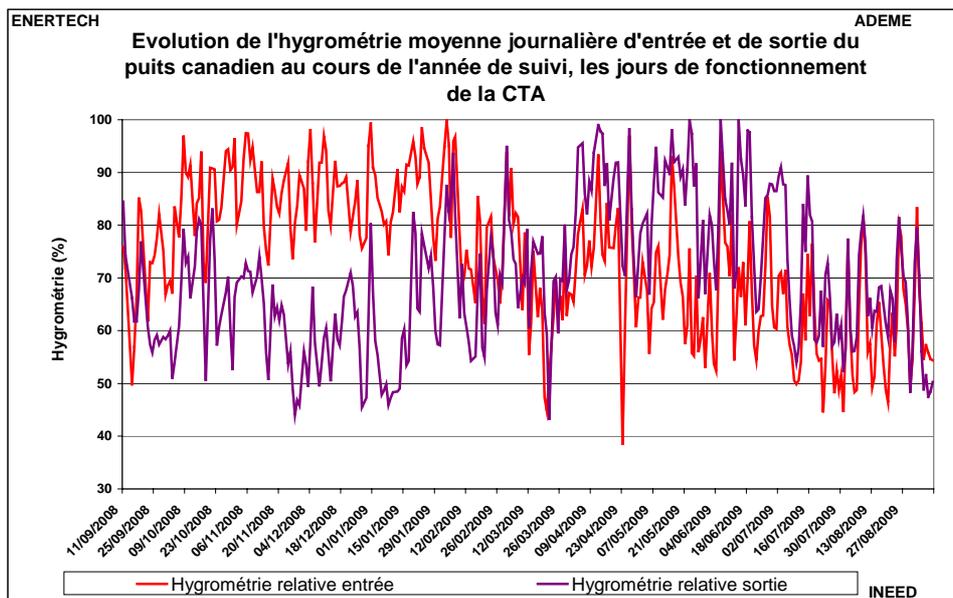


Figure 7.10 : évolution de l'hygrométrie en entrée et sortie du puits canadien lorsque la CTA fonctionne

VII.4.1 Etude du fonctionnement en hiver

VII.4.1.1 Fonctionnement du puits canadien en hiver

On a représenté sur la figure 7.11 la position du volet du puits canadien ainsi que les températures d'air extérieur, de sortie du puits canadien et d'entrée dans la CTA au cours de journées d'hiver.

Plusieurs dysfonctionnements graves apparaissent sur ce graphique :

- lorsque le volet admet l'air du puits en entrée de CTA, les températures « sortie PC » et « entrée CTA » devraient être égales (puisque c'est le même air). Or elles ne le sont pas, ce qui atteste d'un défaut d'étanchéité permanent au droit du volet d'amenée d'air neuf conduisant à un mélange. On peut même se risquer, au vu des niveaux de température, à affirmer que dans le cas d'une arrivée d'air par le puits canadien, environ 80 % de l'air vient effectivement du puits mais 20 % directement de l'extérieur.

- le pilotage du volet n'obéit pas à la logique qui lui avait été programmée au départ. En effet, chaque nuit, jusqu'à 8h du matin, l'air traverse le puits canadien avant d'être admis dans la centrale. C'est effectivement correct d'un point de vue gestion des températures, mais cela n'aurait jamais dû avoir lieu puisque la nuit la CTA devrait toujours être arrêtée. Puis de 8h à 20h, en plein hiver, l'air arrivant sur la

CTA est directement l'air extérieur ! **Le puits canadien est court-circuité au moment où au contraire, il devrait être utilisé.**

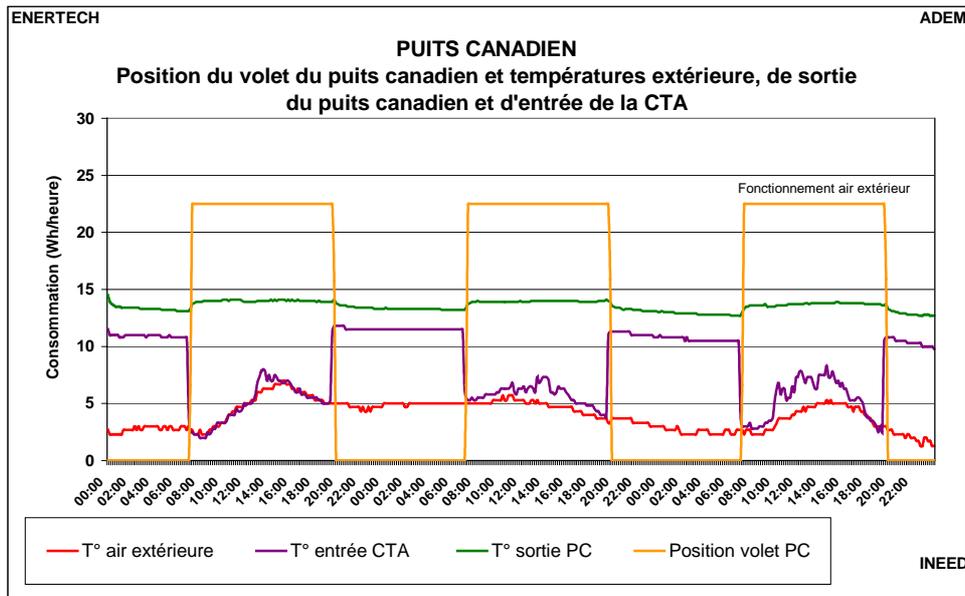


Figure 7.11 : Températures et position du volet de sélection de l'air neuf (journées d'hiver)

Ce graphique montre donc clairement que le puits canadien fonctionne exactement à l'inverse de ce qu'il devrait, donc qu'il ne sert à rien, puisque de surcroît il fonctionne la nuit, c'est à dire à un moment où la ventilation aurait dû être arrêtée.

Cette situation de dysfonctionnement majeur est grave, car deux ans avant, l'installation avait été calée proprement et fonctionnait correctement. Il faudra donc que le maître d'ouvrage recherche, soit avec la société de maintenance mise en place, soit parmi les utilisateurs, qui a modifié les réglages, pour quelles raisons, et avec quelle légitimité.

Il est à noter que la consommation d'énergie thermique de la batterie de préchauffage de la CTA apporte des éléments permettant de situer mieux le début du dysfonctionnement. En effet, l'index du compteur de chaleur de la batterie était quasi nul lors du début de la campagne de mesures. Cela veut donc dire que pendant les premières années de fonctionnement du bâtiment, la batterie n'avait pas fonctionné, montrant ainsi (en partie) le bon fonctionnement du puits canadien. Or, au moment de la dépose de nos mesureurs, l'index du compteur était passé à 1,8 MWh.

VII.4.1.2 Calcul de l'énergie fournie par le puits canadien en hiver

Disposant du débit de la CTA mesurée au pas de temps de 10 minutes, des températures et des hygrométries en entrée et sortie du puits, il est aisé de calculer le bilan enthalpique du puits. Malheureusement, la ventilation a fonctionné jour et nuit au lieu de ne fonctionner qu'aux heures de bureau, et le puits canadien a été utilisé la nuit au lieu de l'être la journée. On est donc dans un schéma très perturbé, et très différent du régime nominal. Du point de vue de la consommation de chauffage (et d'ailleurs d'électricité), le fonctionnement actuel est catastrophique. Mais en revanche, le bilan des échanges du puits canadien pendant l'hiver ne sera pas trop éloigné de la réalité dans la mesure où il a fonctionné 12h/j, mais la nuit au lieu de la journée. La principale conséquence est que la température d'entrée aura été plus faible que la température qu'il y aurait eu en fonctionnement nominal.

On a donc calculé l'énergie fournie par le puits canadien dans son état de fonctionnement constaté.

Lors de l'instrumentation, le mesureur de débit a été placé d'une façon qui s'est révélée incorrecte (sur les indications du constructeur de la CTA...), si bien que le débit (au pas de temps de 10 minutes)

n'est connu que depuis le 4 mars 2009. Or les variations de ce débit sont à l'échelle journalière pour la majorité, voire hebdomadaire tout au plus, mais pas le mois (car les semaines se reproduisent sensiblement à l'identique), si bien que nous avons utilisé à l'échelle de toute l'année les valeurs mensuelles observées après le mois de mars (en considérant que tous les mois étaient identiques).

L'énergie fournie par le puits canadien pendant la période de chauffe est de **5 294 kWh/an (soit 2,5 kWh/m²/an) pour un fonctionnement avec de l'air provenant du puits canadien uniquement en dehors des périodes d'occupation (mode de fonctionnement actuel)**. Seul ce résultat est relativement fiable car il correspond à la réalité et que celle-ci a pu être mesurée. Mais il est certain que ceci ne renseigne pas de façon absolument exacte sur l'apport qui aurait été celui du puits avec un fonctionnement nominal. A noter que le défaut d'étanchéité du volet air extérieur/puits conduit à ce que, dans la réalité actuelle, la production de chaleur du puits est en fait inférieure à celle calculée puisque le débit d'air réel le traversant est inférieur au débit total mesuré.

Cet apport de chaleur par le puits conduit à une économie d'énergie de chauffage (sans défaut de volet), en supposant le rendement global de l'installation égal à 70 %, de **3,6 kWh/m²/an**.

La figure 7.12 représente l'énergie de préchauffage ou de prérefroidissement journalier de l'air lorsque la CTA reçoit directement l'air issu du puits canadien pendant la période de chauffe (cas actuel).

On constate d'un jour à l'autre de brusques variations de l'énergie fournie par le puits canadien. Il y a plusieurs explications possibles :

- la principale raison est une variation brutale de la température extérieure par suite d'un changement de temps,
- il se peut aussi que le volume d'air ayant parcouru le puits au cours de la journée ait sensiblement varié par suite d'une utilisation différente des salles de réunion (ce qui induit des modifications de débit sur l'installation),

En moyenne l'énergie journalière fournie par le puits canadien est de 37 kWh/jour et la valeur maximale de 106 kWh/an.

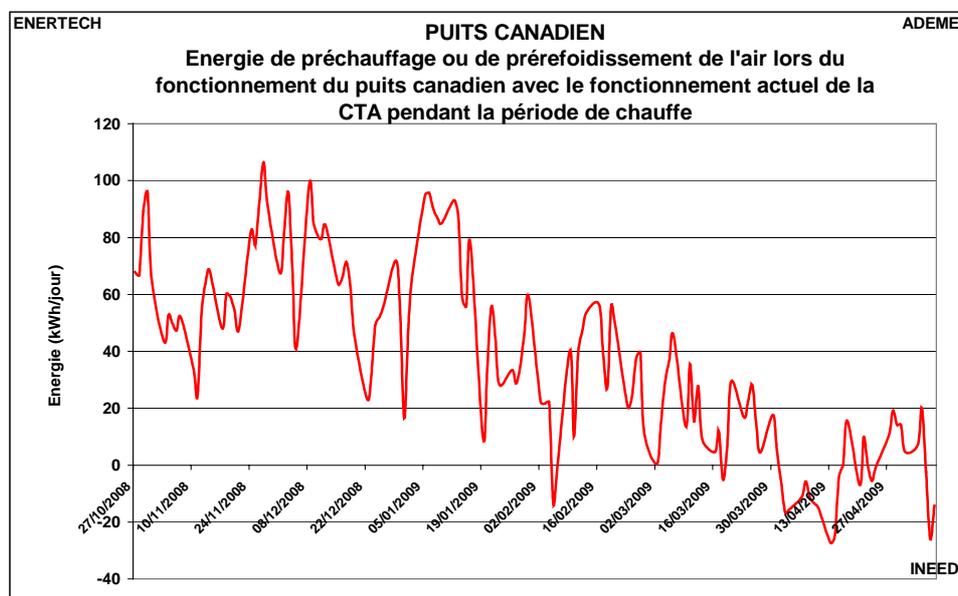


Figure 7.12 : Energie fournie quotidiennement par le puits canadien en hiver

VII.4.2 Etude du fonctionnement en été

VII.4.2.1 Fonctionnement du puits canadien en été

On a représenté sur la figure 7.13 la position du volet du puits canadien ainsi que les températures d'air extérieur, de sortie du puits canadien et d'entrée dans la CTA durant des journées d'été.

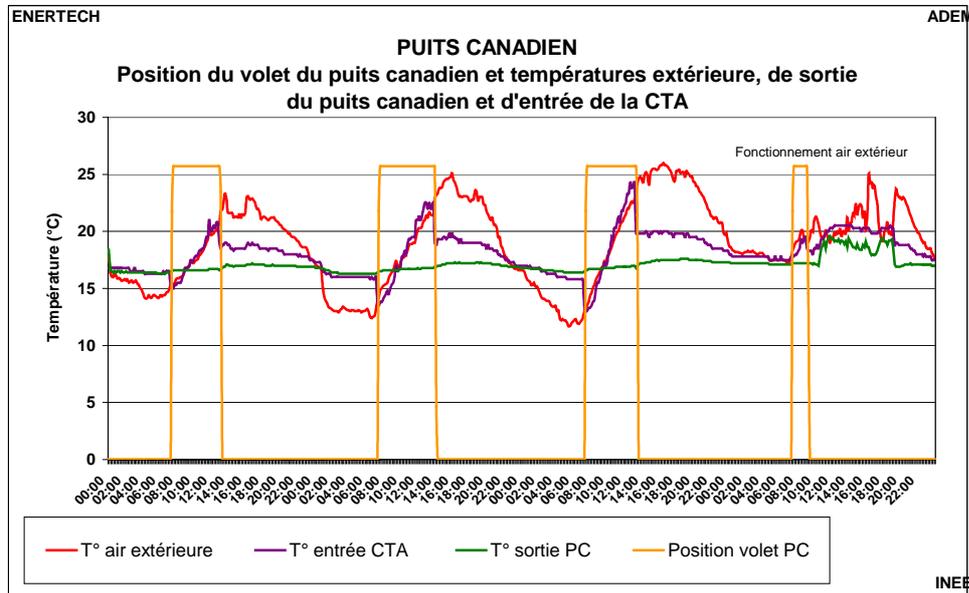


Figure 7.13 : Températures et position du volet de sélection de l'air neuf (journées d'été)

Plusieurs dysfonctionnements graves apparaissent sur ce graphique :

- le pilotage du volet n'obéit pas à la logique qui avait été programmée au départ. En effet, chaque nuit, jusqu'à 8h du matin, l'air traverse le puits canadien avant d'être admis dans la centrale. Or dans la période d'observation (6 au 11 Juin 2009) la ventilation nocturne n'a pas eu à fonctionner, comme en atteste l'observation des clapets de gestion de l'air sur les salles de réunion. Il n'y aurait donc pas dû avoir de ventilation du tout pendant la nuit. On relève aussi que, de 8h à 14h en été, l'air arrivant sur la CTA est directement l'air extérieur ! Le puits canadien est court-circuité au moment où au contraire, il devrait être utilisé. On peut voir que dès 9h du matin, la température de l'air à la sortie du puits est plus basse que la température extérieure, donc qu'il aurait été préférable de passer par le puits.

- après 14h, et jusqu'à 8h00 le lendemain matin, l'air à l'entrée de la centrale vient du puits. Mais, comme en hiver, on observe que ce n'est que partiellement le cas. A nouveau, un défaut d'étanchéité des volets air extérieur/puits canadien conduit à un mélange de l'ordre de 60% d'air en provenance du puits et 40 % de l'extérieur. Ce dysfonctionnement devra être corrigé car il ne permet pas de profiter pleinement du puits canadien.

VII.4.2.2 Analyse de la condensation dans le puits

Grâce à la pose de sondes de température et d'hygrométrie en entrée et en sortie de puits, il a été possible d'avoir une idée du temps pendant lequel il y avait de la condensation à l'intérieur des conduits.

La figure 7.14 représente les fréquences cumulées du degré hygrométrique de l'air à l'entrée et à la sortie du puits canadien en dehors de la saison de chauffage. On observe qu'en se refroidissant lors du passage dans le puits canadien, l'air voit son degré hygrométrique augmenter. Ce faisant, il se trouve **67 heures dans l'année** où l'air à la sortie du puits est saturé (son degré hygrométrique est de 100%) et pendant lesquelles il y a donc eu condensation dans le puits. Au total, ce sont **88 litres d'eau** qui se sont condensés durant tout l'été. Ceci permet de fixer les idées sur le phénomène de la condensation dans les puits canadiens : tout dépend bien sûr du climat et des caractéristiques de l'air extérieur, mais il semble

que ce soit un phénomène ponctuel. Ceci dit, il conduit néanmoins à un volume de condensats qu'il convient de prendre en compte, notamment pour créer une évacuation adaptée. A l'INEED, les conduits sont munis d'une pente douce en direction du bâtiment. Les condensats sont donc collectés dans la terre à l'opposé de l'entrée dans le bâtiment.

Bien que le phénomène de condensation soit peu important, sa présence améliore le confort en réduisant la quantité d'humidité introduite dans le bâtiment et contribue à « assécher » un peu l'air ambiant, donc à le ramener dans les zones du polygone de confort.

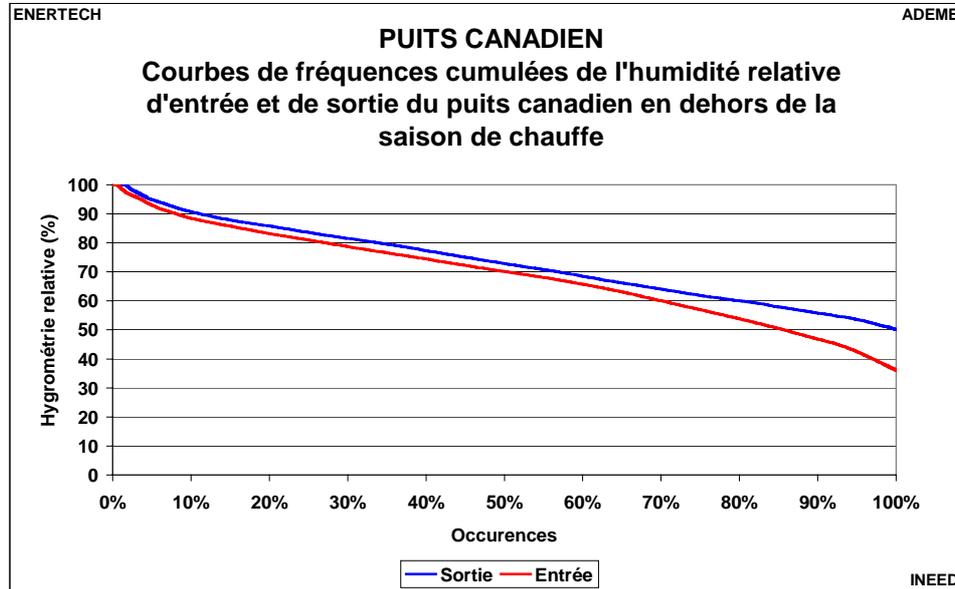


Figure 7.14 : Fréquences cumulées du degré hygrométrique de l'air à l'entrée et à la sortie du puits en dehors de la saison de chauffage

En hiver, le rôle du puits canadien étant de réchauffer l'air, et celui-ci ayant un degré hygrométrique très élevé, il n'y a aucun risque de condensation dans le puits qui va au contraire réduire l'humidité relative de l'air lors de sa traversée.

VII.4.2.3 Calcul de l'énergie retiré par le puits canadien en été

Le calcul de l'enthalpie de l'air d'entrée et de sortie du puits canadien permet de connaître la puissance de rafraîchissement fournie au bâtiment par le puits canadien.

L'énergie fournie par le puits canadien pendant la période d'été est de **3 816 kWh/an (soit 1,8 kWh/m²/an)** de rafraîchissement pour un fonctionnement avec de l'air provenant du puits canadien selon la régulation actuelle (c'est à dire avec tous les dysfonctionnements signalés).

La figure 7.15 représente l'énergie de prérefroidissement journalière apportée par l'air issu du puits canadien, en dehors de la période de chauffe et avec le fonctionnement actuel.

On observe que, comme on pouvait s'y attendre, le puits fonctionne, durant l'été, majoritairement en refroidisseur, et ce rôle est d'autant plus important qu'on est proche de la fin de la saison de chauffage. Sans surprise, car on a pu déjà observer ce phénomène (voir figure 7.7), on constate que l'effet refroidisseur devient nul au moment de l'équinoxe d'automne. Mais on observe enfin un fonctionnement anormal qui doit être analysé : il arrive parfois que, bien qu'on soit en été, le puits réchauffe l'air. Or cette séquence n'est en principe pas souhaitable l'été, et elle est même impossible si la température intérieure dépasse 23°C. En effet au-delà de cette valeur, l'automate sélectionne celle de la température intérieure ou extérieure qui est la plus basse. Or, à une seule occurrence près, toutes les températures intérieures étaient supérieures à 23°C, et donc l'air aurait dû venir de l'extérieur et non pas du puits canadien. Ceci constitue donc un nouveau dysfonctionnement de la CTA des bureaux qu'il faudra corriger....

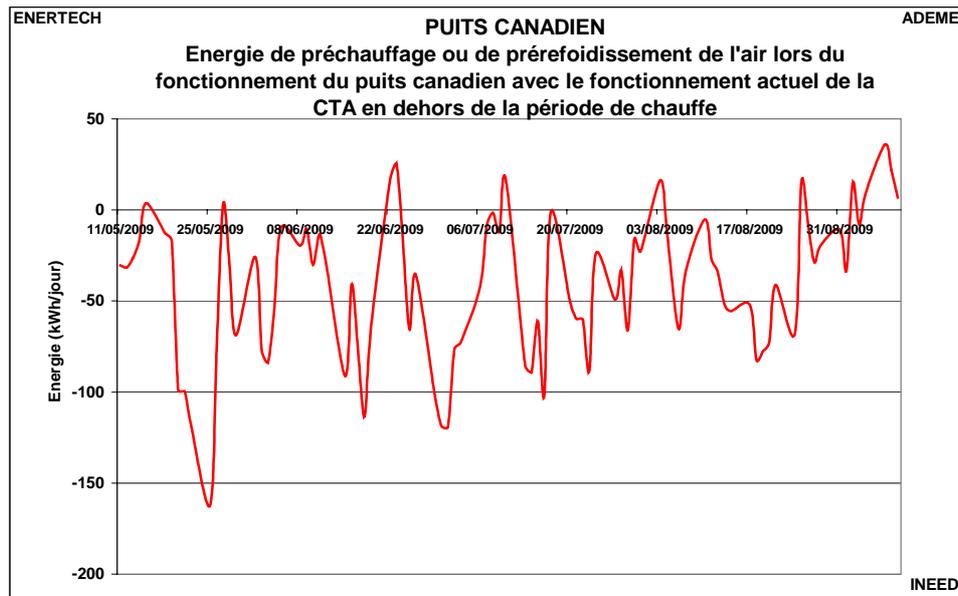


Figure 7.15 : Energie de refroidissement fournie chaque jour par le puits canadien en été

C'est le 25 mai (donc peu de temps après la fin de la saison de chauffage) que l'énergie de prérefroidissement a été la plus importante avec environ 150 kWh/jour par une température extérieure de 31°C et une température de sortie de puits canadien de 16°C. L'énergie de prérefroidissement fournie au bâtiment est en moyenne de 36 kWh/an/jour, c'est à dire pratiquement la même valeur que celle du préchauffage en hiver, ce qui est légitime, puisque l'hiver et l'été ont sensiblement la même longueur, et que l'énergie stockée doit être déstockée....

Partie VIII : Liste des dispositions correctives à mettre en œuvre rapidement

L'un des avantages de faire une campagne de mesures, est de savoir avec précision ce qui fonctionne correctement et ce qui ne fonctionne pas. Le bâtiment de l'INEED n'échappe pas à cette règle, et la présente campagne a révélé un nombre de dysfonctionnements très importants. Nous reprenons dans ce qui suit les principales actions à mettre en œuvre rapidement, sans que cette liste soit exhaustive, afin que le bâtiment retrouve un niveau de consommation beaucoup plus faible.

Eclairage

- 1 - Régler le seuil de détection crépusculaire sur la commande d'allumage du hall Sud (§ IV.2.8)
- 2 - Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des parties communes (§ IV.2.9) et des sanitaires (§ IV.2.10),

Bureautique

- 1 - Toutes les personnes travaillant à l'INEED **DOIVENT** arrêter leurs matériels de bureautique lorsqu'elles ont fini de l'utiliser (pour aller en réunion, à midi, le soir, le WE). Il faut mettre en place des campagnes de sensibilisation à cette fin, et montrer les résultats de cette campagne de mesure (§ IV.3).
- 2 - Demander à chaque entité travaillant à l'INEED d'équiper les matériels de bureautique avec une barrette multiprises permettant la suppression des veilles lorsque le matériel est arrêté (§ IV.3).
- 3 - Apprendre aux usagers de l'INEED à émuler puis à paramétrer correctement le gestionnaire d'énergie Energy Star qui est livré avec toutes les machines depuis plus de 8 ans (§ IV.3).

Chaufferie

- 1 - Arrêter l'alimentation électrique de la chaudière dès la fin de la saison de chauffe (§ IV.2).
- 2 - Interdire le démarrage des pompes avant que la chaudière ne soit mise en marche au début de l'hiver (§ IV.2).

CTA bureaux

- 1 - Reprogrammer correctement les heures de fonctionnement de la ventilation (aux heures d'occupation mais pas la nuit ni les WE, sauf en cas de surventilation nocturne l'été). Prévoir le cas des jours fériés (comme le 1^{er} mai).
- 2 - Reprogrammer correctement la logique de fonctionnement du volet d'admission d'air en amont de la CTA.
- 3 - Rendre étanches les volets en amont de la CTA : ils fonctionnent aujourd'hui de manière très approximative et il existe des mélanges d'air importants.
- 4 - Supprimer le dysfonctionnement qui existe sur la CTA dans la nuit du dimanche au lundi où, pendant 10 à 20 minutes, les ventilateurs se remettent en marche.
- 5 - Mettre en place une maintenance sérieuse avec changement périodique des filtres sur l'air neuf air extrait ce qui n'est pas fait aujourd'hui.

Salle de conférence, CTA, groupe froid associé et autres équipements

- 1 - Reprogrammer correctement le fonctionnement de la pompe à eau glacée (IV.4.5)
- 2 - Reprogrammer correctement le fonctionnement de la CTA, de la pompe à eau glacée, du groupe froid, de la pompe chauffage (§ IV.4.5, IV.4.7, IV.5.2).
- 3 - Revoir la question de la commande du chauffage et de la climatisation de la salle de conférence, actuellement à charge de l'accueil.
- 4 - Rendre impossible la climatisation de la salle à une température inférieure à 26° de manière à respecter la législation (§ IV.6.1.2).
- 5 - mettre en place un dispositif permettant la coupure de l'alimentation de tous les appareils audiovisuels dans la salle, ce qui permettra de supprimer les consommations de veille (§ IV.7.5)

CTA salle exposition

- 1 - Remettre en état de marche la fonction de ralenti.
- 2 - une part importante de la consommation électrique de cette centrale l'est à l'arrêt. On peut se demander s'il ne serait pas possible de couper l'alimentation de la CTA en dehors des périodes de chauffage et d'utilisation (§ IV.5.3)ou.

Ascenseur

- 1 - Régler la durée de temporisation de l'éclairage dans la cabine d'ascenseur. Elle est aujourd'hui de 40 minutes. On peut la ramener elle 10 ou 15 secondes, ce sera tout à fait suffisant.

DIVERS

1 - Mettre en place un suivi des compteurs et sous compteurs existants de manière à pouvoir identifier les dérives dans la consommation des équipements. On peut même imaginer d'augmenter le nombre de sous compteurs de manière à disposer d'informations encore plus complètes sur le mode de fonctionnement du bâtiment.

2 - Arrêter le week-end des distributeurs de boissons (§ IV.7.1)

3 - Mettre sur un interrupteur l'alimentation du vidéo projecteur de la salle Baie d'Halong (§IV.7.5).

4 - Supprimer les radiateurs électriques dans le bâtiment. Apprendre à chacun à se couvrir en conséquence et à respecter la loi.

5 - Surisoler tous les chauffe-eau électrique en remplissant de calorifuge le placard dans lequel ils sont, ou en créant un placard pour le remplir ensuite de calorifuge (§ IV.6.2).

6 - Limiter la température de chauffage à 19° dans les locaux en hiver. Ceci sera obtenu par un abaissement de la température de départ de la loi d'eau.

7 – Améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe en reprenant la jonction toiture/mur dans la partie Ouest, et la toiture elle-même dans la partie Est. Celle-ci constitue la plus grosse source d'infiltration de tout le bâtiment. Il faudrait aussi colmater sur toute sa périphérie le joint de dilatation extérieur afin de supprimer, notamment dans le bureau de la directrice à R+1 partie centrale, les sources d'infiltrations considérables qui ont été observées ■

Partie IX : Analyse des différences entre le calcul normatif performance réelle

Ce chapitre vise à apporter des éléments à ceux qui ont en charge l'élaboration des méthodes conventionnelles. En effet, si ces méthodes n'ont pas vocation à être des prévisions, il n'en reste pas moins vrai qu'elles ne peuvent afficher des valeurs qui seraient trop éloignées des observations.

Au-delà de cette question, on va aussi essayer d'apporter quelques éclaircissements à la question de la prévision des consommations, et indirectement à celle de l'engagement (contrat de performance énergétique) sur la performance globale d'un bâtiment.

Ce qui suit est fondé sur la simulation dynamique du bâtiment construit, avec les hypothèses de fonctionnement et les fichiers divers (météo, températures intérieures, apports internes) qui étaient ceux au moment de l'étude, confrontés aux résultats de la campagne de mesure.

IX.1 PRESENTATION DE LA SIMULATION THEORIQUE

Le bâtiment de l'INEED a été modélisé et simulé au pas de temps horaire sur une année de fonctionnement en utilisant le logiciel TRNSYS 16.1.

La description technique du bâtiment (surfaces de murs, résistances thermiques des isolants, etc.) et de son environnement (sol, puits canadien, ombrages, etc.) correspond aux pièces du marché des entreprises. Dans la mesure où la construction du bâtiment a bien respecté le cahier des charges, cette description technique modélisée correspond bien à la réalité.

Une simulation dynamique d'un bâtiment fonctionne en envoyant dans le modèle des données d'entrée correspondant, principalement, à :

- la météorologie ;
- les apports internes ;
- Les scénarii de fonctionnement.

Le fichier météo du site de Valence ne fait pas partie de la base de données du logiciel TRNSYS. Il a été construit à partir de données moyennes mensuelles de Météo France dont voici les origines :

- Températures extérieures de St Marcel les Valence, moyennes sur la période 1971 – 2000 ;
- Rayonnement global et direct de Montélimar, moyennes sur la période 1993 – 2005.

Les apports internes ont été calculés à partir d'hypothèses d'utilisation du bâtiment (nombre de personnes, heures d'occupation) et de notre expérience concernant les apports dus aux consommations électriques (bureautique et éclairage principalement).

La simulation dynamique, avec ces hypothèses, fournit les résultats suivants :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 76 000 | 1 000 | 0 | -15 000 | -37 000 | -83 000 | 21 000 | 38 000 |
| Par m² | 23.6 | 0.4 | 0.0 | -4.8 | -11.4 | -25.9 | 6.6 | 11.9 |

Tableau 1 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique

On obtient des besoins de chauffage de 23,6 kWh/m²_{SU}.an.

En estimant le rendement global à 0,80, on obtenait une consommation de chauffage en énergie primaire de 29,5 kWh/m²_{SU}.an. La consommation mesurée durant la campagne de mesure, est de 35,2 kWh/m²_{SU}.an, soit 19,3 % de plus.

Quelle conclusion tirer de cette observation ? Que la simulation dynamique est fautive ? Que la prévision de consommation est erronée ? Certainement pas....

Le résultat d'une simulation dynamique dépend d'un très grand nombre de paramètres :

- l'architecture et les caractéristiques thermo physiques des parois du bâtiment. Mais on peut penser que ces éléments ont été correctement saisis et qu'ils ne sont, en principe, pas à l'origine des problèmes,

- la température intérieure en période d'occupation, et celle en période d'inoccupation,

- les heures exactes d'utilisation des locaux,

- les données météorologiques, essentiellement la température, l'ensoleillement, l'humidité spécifique et le vent,

- les apports internes dus aux matériels utilisés, notamment les équipements de bureautique et l'éclairage,

- etc.

Tous ces paramètres jouent aujourd'hui un rôle déterminant dans les bâtiments très performants. Parce que les besoins sont faibles, très faibles, et que tout changement joue un rôle beaucoup plus important que par le passé.

IX.2 IMPACT DE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE DE CHAUFFAGE

La simulation, dont les résultats sont présentés au Tableau 1, a été effectuée avec une température de consigne de 19°C, de 7 à 18 heure les jours ouvrables. Quel est l'impact d'une température de seulement 20°C (1°C plus élevée) dans le bâtiment ?

Le Tableau 2 ci-dessous présente les résultats de la simulation dynamique pour une température de consigne de chauffage de 20°C.

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 92 000 | 1 000 | 0 | -17 000 | -46 000 | -93 000 | 23 000 | 41 000 |
| Par m² | 28.5 | 0.4 | 0.0 | -5.3 | -14.3 | -28.9 | 7.1 | 12.8 |

Tableau 2 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique. Température de consigne de chauffage à 20°C

On constate que les besoins de chauffage augmentent de 21 % et que la consommation estimée en amont de la chaudière atteint 35,6 kWh/m²_{SU}.an.

Conclusion : la température intérieure est un paramètre extrêmement important de la performance énergétique finale d'un bâtiment très performant. Or ce paramètre n'est pas maîtrisable par le maître d'œuvre. Il peut rappeler la loi (Code la Construction et de l'Habitation) : elle stipule que la température moyenne dans le bâtiment ne doit pas dépasser 19°C, mais les usagers en feront ce qu'ils veulent. Ils sont donc maîtres, par rapport à toute prévision de consommation, de faire évoluer le résultat final de plusieurs dizaines de %....

Si maintenant on modélise avec la température moyenne mesurée dans le bâtiment (20,9°C) on obtient les résultats du Tableau 3 :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 102 000 | 1 000 | 0 | -18 000 | -49 000 | -99 000 | 23 000 | 41 000 |
| Par m² | 31.6 | 0.4 | 0.0 | -5.6 | -15.2 | -30.8 | 7.1 | 12.8 |

Tableau 3 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique. Température de consigne de chauffage à 20,9°C

L'augmentation de la consommation, par rapport à la référence de 19°C est désormais de 33,9 %. Ceci confirme le rôle prépondérant de la température ambiante sur le niveau de consommation. La valeur de la consommation, en conservant un rendement de 80% pour les systèmes, est de 39,5 kWh/m²_{SU}.an.

IX.3 INFLUENCE DE LA PERMEABILITE A L'AIR DE L'ENVELOPPE

Lors de la simulation d'origine, on avait pris une valeur de $n_{50} = 2,0$ vol/h. Le test à la porte soufflante a montré que la valeur exacte était de 1,8 vol/h. Le tableau 4 reprend, pour une température de 20°C intérieur, l'évolution de la consommation :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 90 000 | 1 000 | 0 | -15 000 | -46 000 | -93 000 | 23 000 | 41 000 |
| Par m² | 28.0 | 0.4 | 0.0 | -4.8 | -14.3 | -28.9 | 7.1 | 12.8 |

Tableau 4 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique. Température de consigne de chauffage à 20°C, infiltrations $n_{50} = 1,8$ vol/h

La diminution des besoins est de 0,5 kWh/m²_{SU}.an, soit 0,6 kWh/m²_{SU}.an sur la consommation de chauffage. Dans le cas d'espère la correction est très faible. Mais que ce serait-il passé si l'erreur avait été de 1 vol/h ?

Le tableau 5 fournit les résultats avec cette fois un taux d'infiltration ramené de 2,0 à 1,0 vol/h :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 85 000 | 1 000 | 0 | -9 000 | -47 000 | -94 000 | 23 000 | 41 000 |
| Par m² | 26.2 | 0.4 | 0.0 | -2.7 | -14.4 | -29.1 | 7.1 | 12.8 |

Tableau 5 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique. Température de consigne de chauffage à 20°C, infiltrations $n_{50} = 1$ vol/h

La diminution des besoins est de 2,3 kWh/m²_{SU}.an, soit une variation de consommation de 2,9 kWh/m²_{SU}.an par vol/h de n_{50} . Ce paramètre est mal connu lors de la simulation. On peut se donner des objectifs, mais seul le test à la porte soufflante, en fin d'opération, fournira la valeur définitive du débit d'infiltration. Un écart de 1,0 vol/h sur la valeur de n_{50} peut donc conduire à des variations de 10 % de la consommation de chauffage.

IX.4 MODIFICATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Afin de ne modifier qu'un seul paramètre à la fois, nous allons maintenant procéder à d'autres simulations, mais en conservant la température intérieure égale à 20°C.

Les données météorologiques suivantes ont été mesurées sur le site :

- La température sèche extérieure ;
- L'humidité relative extérieure ;
- Le rayonnement solaire global sur un plan horizontal.

Le Tableau 6 compare les données météorologiques théoriques et celles mesurées in situ :

| | | Fichier météo | Mesure |
|-------------|-----|---------------|--------|
| T ext [°C] | min | -8.0 | -6.2 |
| | max | 38.7 | 40.5 |
| | moy | 13.07 | 13.21 |
| Hr [%] | min | 35.0 | 13.5 |
| | max | 100.0 | 99.9 |
| | moy | 69.6 | 68.8 |
| IT_H [W/m²] | min | 0.0 | 0.0 |
| | max | 973.0 | 1029.4 |
| | moy | 170.0 | 158.4 |

Tableau 6 : comparaison des données météo théoriques et mesurées.

La mesure de la température extérieure sèche révèle des valeurs extrêmes plus importantes que les valeurs théoriques d'environ 2°C, tandis que les températures moyennes sont très proches.

La mesure de l'humidité relative ne semble pas très fiable : beaucoup de valeurs, et notamment au printemps, sont inférieures à 30%, ce qui nous paraît trop faible. Ces mesures doivent être écartées.

La mesure du rayonnement solaire global sur le plan horizontal conduit dans son ensemble à des valeurs plus faibles que celles du fichier numérique, les valeurs moyennes étant respectivement de 158,4 W/m² et de 170 W/m². Ceci est vraisemblablement dû au fait que le rayonnement solaire du fichier numérique est issu de la station de Montélimar, beaucoup plus ensoleillée que Valence. Il y a là un biais général difficile à éviter lors de la modélisation.

En utilisant les données météorologiques mesurées dans la simulation dynamique en lieu et place des données théoriques, on obtient les résultats figurant dans le tableau 7 :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|---------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 99 000 | 1 000 | 0 | -16 000 | -44 000 | -91 000 | 22 000 | 30 000 |
| Par m² | 30.6 | 0.3 | 0.0 | -5.0 | -13.6 | -28.3 | 7.0 | 9.3 |

Tableau 7 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par simulation dynamique avec les données météo mesurées.

On constate que **les besoins de chauffage sont plus importants d'environ 2 kWh/m²_{SU}.an**. Les pertes par infiltrations, ventilation et déperditions sont très proches dans les tableaux 2 et 7. En revanche, on constate une nette baisse des apports solaires. Cela peut s'expliquer par la surestimation du rayonnement solaire global horizontal du fichier météo.

Conclusion : le poids des données météorologiques réelles sur les performances d'un bâtiment n'est pas aussi important que jadis. Car la réponse du bâtiment aux sollicitations du climat sont considérablement « filtrées » par les caractéristiques du bâti et surtout la quantité considérable d'apports internes souvent surabondants. Ce phénomène est nouveau et rend caduques les analyses qui ne fondent la variation de consommation d'une année sur l'autre que sur l'évolution du nombre de degrés jours.

IX.5 ANALYSE DES APPORTS INTERNES

Les apports internes peuvent représenter une part très importante des apports gratuits d'un bâtiment tertiaire comme celui de l'INEED et ainsi réduire sensiblement les besoins de chauffage.

Dans le Tableau 1, on voit que les apports internes représentent 36 % des apports gratuits et compensent environ 15 % des pertes.

Dans la simulation dynamique, les apports internes modélisés ont fait l'objet d'hypothèses sur l'occupation humaine (nombre de personnes, puissance sensible par personne et heures d'occupation du bâtiment) ainsi que sur les apports dus aux consommations électriques dans le volume chauffé.

Ces hypothèses sont rassemblées dans le Tableau 8.

| zone | Nb personnes [-] | Psens_pers [Wsens/pers] | bureautique [W] | éclairage [W] | nb heures période chauff | nb heure année |
|-----------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| conférence | 150 | 75 | 400 | 2640 | 232 | 416 |
| expo | 60 | 90 | 0 | 615 | 232 | 416 |
| labo R2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| réunion1 | 15 | 60 | 50 | 49 | 928 | 1672 |
| cours_ROWN | 15 | 75 | 50 | 160 | 696 | 1256 |
| cours_info_ROWN | 8 | 75 | 900 | 62 | 696 | 1256 |
| cours_ROWS | 8 | 75 | 50 | 110 | 696 | 1256 |
| réunion_ROWS | 10 | 60 | 0 | 148 | 928 | 1672 |
| bureau central | 1 | 75 | 350 | 33 | 1152 | 2088 |
| cafet | 8 | 75 | 125 | 150.8 | 288 | 522 |
| hall | 36 | 75 | 4950 | 3904 | 1152 | 2088 |

Tableau 8 : Hypothèses sur les apports internes considérés dans la simulation dynamique

Il ne nous est pas possible de vérifier l'occupation réelle du bâtiment, ni, bien sûr, la puissance thermique émise par les occupants. En revanche, les consommations électriques au sein du volume chauffé, donc les apports internes correspondants, ont été mesurés. Il est donc possible de comparer, sur cet aspect, les hypothèses de simulation aux mesures.

| | mesuré année [kWh/an] | simul année [kWh/an] | simul/mesure |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| Eclairage | 12 456 | 10 400 | 83% |
| Bureautique | 14 643 | 12 638 | 86% |
| Autres | 5 167 | 0 | |
| total apport élec | 32 266 | 23 037 | 71% |

Tableau 9 : comparaison des apports internes dus aux consommations électriques, entre les hypothèses de la simulation dynamique et les mesures.

Le Tableau 9 montre que **les apports internes dus aux consommations électriques ont été largement sous estimés d'environ 30%**. Dans la simulation dynamique, les apports de chaleur dus à la bureautique représentent 30% des apports totaux contre 25% pour l'éclairage et 45% pour les apports humains. Si, dans la simulation, on considérait l'énergie électrique mesurée, les apports internes augmenteraient de 22%.

IX.6 LES SCENARII DE FONCTIONNEMENT

Dans la simulation dynamique, les scenarii de fonctionnement concernent :

- La température de consigne de chauffage + ralenti de nuit et WE ;
- L'occultation des baies vitrées
- Les horaires de ventilation

Ces scénarii ont été établis à partir d'hypothèses sur le comportement des usagers. Or il est évident que celui-ci est imprévisible.

Les scénarii théoriques ne seront jamais identiques aux scénarii réels. Or on a vu le poids de la consigne de chauffage sur le niveau de consommation. Mais les heures de présence réelles, ou les ouvertures de fenêtres (pas prises en compte dans la modélisation, ou encore la ventilation naturelle nocturne (jamais mise en œuvre en été dans ce bâtiment) jouent un rôle important qu'il est impossible de prendre en compte et surtout impossible *a posteriori* de vérifier. Dans le bâtiment de l'INEED un autre paramètre rend l'approche encore plus délicate : le débit d'air varie beaucoup en fonction de l'occupation des salles de cours et de réunion. Or la charge due au renouvellement d'air est importante. On est à nouveau devant une inconnue majeure....

IX.7 SIMULATION DE SYNTHESE

Après avoir analysé individuellement les différents paramètres pour évaluer leur influence, on va pouvoir procéder à une simulation globale reprenant tous les paramètres mesurés dont on dispose pour les introduire en données de la modélisation. Pour la météo, les seules données de mesure disponibles de manière fiable étaient l'insolation et la température extérieure. On a repris les valeurs fichiers de l'hygrométrie et du vent, ce qui est acceptable parce qu'on ne fait pas d'analyse sur l'enthalpie.

Pour les apports internes, la seule correction qui a pu être apportée est sur l'intensité des apports (dont la consommation était auparavant inférieure de 29% aux valeurs mesurées).

Bien entendu, nous ne disposons pas des débits d'air réels (qui sont variables dans ce bâtiment), ni des heures exactes d'occupation, pas plus que de la valeur exacte des apports humains. Il reste donc de belles sources d'incertitude qui sont incompressibles.

Le tableau 10 présente les résultats :

| | Chauffage [kWh] | Clim été [kWh] | Clim hiver [kWh] | Infiltrations [kWh] | Ventilation [kWh] | Déperditions [kWh] | Apports int [kWh] | Apports sol [kWh] |
|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Total | 103 000 | 1 000 | 0 | -16 000 | -47 000 | -99 000 | 28 000 | 31 000 |
| Par m² | 32.0 | 0.3 | 0.0 | -4.9 | -14.7 | -30.8 | 8.7 | 9.6 |

Tableau 10 : bilan thermique annuel de l'INEED obtenu par la simulation dynamique. Température de consigne de chauffage à 20,9°C, données météo mesurées (ensoleillement et température), apports internes adaptés et infiltrations $n_{50} = 1,8$ vol/h

La simulation conduit à des besoins de chauffage de 32,0 kWh/m²_{SU}.an, soit en conservant une valeur du rendement global de 80%, une consommation de chauffage de 40,0 kWh/m²_{SU}.an à rapprocher de la valeur mesurée de 35,2 kWh/m²_{SU}.an, soit une surévaluation de 13,6 %.

Comment qualifier la qualité de ce résultat ? On ne peut pas affirmer qu'il est précis, et malgré tous les efforts pour accorder simulations et mesures, on n'est pas capable de faire toutes les corrections importantes qui s'imposent, notamment sur les débits de ventilation.

Ceci montre qu'il ne faut pas chercher à faire jouer à la simulation un rôle qui n'est pas le sien. Elle n'est pas un outil de prévision, mais seulement un outil d'aide à la décision, un outil d'optimisation.

IX.8 COMPARAISON DU CALCUL REGLEMENTAIRE ET DES MESURES

Il est évidemment très intéressant de rapprocher les valeurs du calcul réglementaire (méthode normalisée) et les valeurs mesurées. Sans pour autant croire ou faire croire que le calcul réglementaire est une prévision ! Ce n'est pas le cas, et c'est indiqué très explicitement en première page de la méthode RT. Que ceci soit conservé à l'esprit par chacun. Toutefois, comme pour la consommation normalisée des appareils de froid ménager, il serait préférable que la valeur affichée de la consommation ne soit pas trop éloignée de la valeur réelle. L'utilisateur a plus de chance de se repérer.

Le tableau 11 reprend donc les valeurs du calcul RT, celles des mesures, en distinguant les valeurs brutes mesurées, mais aussi les valeurs « nominales » qui sont celles qu'on devrait obtenir quand l'installation re-fonctionnera de manière normale (arrêt en cas d'inoccupation, etc). Ces valeurs correspondent à ce qui a été pris dans le calcul réglementaire, et ce sont donc elles qui doivent être comparées aux valeurs du calcul RT.

Il est à noter que le bâtiment était soumis à la RT 2000, mais nous avons quand même aussi fait un calcul avec la méthode RT 2005. Ce sont les résultats de ce dernier calcul qui sont présentés dans ce qui suit.

| Usages | C _{ep} RT 2005 | Valeurs mesurées | Valeurs nominales |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------------------|
| Chauffage | 13,75 | 35,2 | 29,5 |
| Refroidissement | 0,63 | 1,02 | 0,19 |
| ECS | 0 | 2,17 | 2,17 |
| Ventilation | 14,73 | 17,67 | 10,01 |
| Eclairage | 18,27 | 9,47 | 6,80 |
| Auxiliaires | 1,16 | 3,26 | 1,65 |
| Photovoltaïque | - 0,94 | - 1,85 | - 1,85 |
| Total | 47,60 | 66,94 | 48,47 |

en kWh_{ep}/m²_{Shon}/an

Coeff.primaire/finale de l'électricité : 2,58

Tableau 11 : comparaison des valeurs du calcul réglementaire et des mesures

Cette comparaison appelle de très nombreuses remarques :

- L'écart entre les valeurs RT et les valeurs nominales est très faible (0,87 kWh/m²Shon/an, soit 2%), mais c'est un peu le hasard tant les postes composant ce total sont différents. L'eau chaude sanitaire n'était pas comptabilisée au moment du calcul RT et elle a été demandée par le maître d'ouvrage au moment du chantier (il avait été décidé initialement de s'en passer). On ne peut donc pas parler de bonne concordance devant autant de différences,

- L'écart avec la mesure brute est très important : +41 % pour la mesure. Mais l'installation a très mal fonctionné. Néanmoins, pour le maître d'ouvrage non averti, cette différence pourrait choquer,

- L'écart sur la consommation de chauffage est très important : la simulation dynamique a fourni une valeur « nominale » (notion discutable au vu de ce qui précède) qui est 2,14 fois plus élevée que celle de **la méthode RT. Celle-ci semble anormalement optimiste sur les consommations de chauffage.** Rien ne nous paraît pouvoir expliquer un tel écart.

- Le poste ECS n'a pas été pris en compte dans le calcul réglementaire car il ne devait pas y avoir d'eau chaude à l'origine.

- Le poste ventilation est très surestimé dans le calcul réglementaire. Toutes les ventilations du bâtiment (à l'exception d'une petite) sont de type double flux. Les valeurs nominales ont été déterminées en arrêtant les ventilations aux heures d'inoccupation (ce qu'elles n'auraient jamais dû cesser de faire !). La surestimation de la méthode RT est de 47%. Nous pensons depuis longtemps que la consommation des ventilateurs de CTA est très pessimiste dans le calcul RT et qu'il défavorise systématiquement les installations double flux. Il faudrait se pencher à nouveau sur ce sujet de manière à rétablir un équilibre.

- La situation de l'éclairage est encore plus contrastée : la valeur RT est 2,7 fois plus élevée que la valeur nominale, et encore 2 fois plus que la valeur mesurée (malgré tous les défauts de fonctionnement).

- la consommation des auxiliaires nous semble en revanche sous estimée. Car tous les réseaux que nous calculons sont à très faibles pertes de charges, et ils sont a priori plutôt à très faible consommation. Nous utilisons des pompes à débit variable et réduisons donc la consommation d'électricité. Malgré cela, la valeur nominale (avec arrêt des pompes) reste sensiblement plus élevée que la valeur RT (+ 42 %).

- La valeur RT sur le PV semble très fautive ce qui n'est pas très compréhensible car c'est un élément très facile à calculer aujourd'hui, et il n'est d'ordinaire pas source d'erreur.

Devant tant de différences des valeurs par usage, on doit considérer que c'est un pur hasard si les valeurs globales RT et « nominale » sont proches l'une de l'autre. Il semble rester dans le calcul RT de très grosses dérives (essentiellement chauffage, éclairage et ventilation) et il ne faut surtout pas considérer la méthode RT comme une méthode de prévision. Elle n'est pas faite pour cela.

IX.9 CONCLUSION

Dans ce qui précède, nous avons examiné la capacité de la simulation dynamique et celle du calcul réglementaire à pouvoir s'apparenter à une méthode de prévision des consommations d'énergie.

La simulation dynamique est un formidable outil d'aide à la conception. Elle permet d'étudier l'impact des choix de conception sur les consommations de chauffage et sur le confort d'été. Elle aide donc l'équipe de maîtrise d'œuvre dans le processus complexe et lent de la conception. Elle lui permet de faire varier les paramètres autour d'une solution de référence (celle dessinée initialement par l'architecte et qui sert de « point de départ » à l'équipe) afin de mettre en évidence les solutions technico-architecturales acceptables par toutes les composantes de la maîtrise d'œuvre et satisfaisant le programme.

Alors est-ce que les résultats ainsi obtenus peuvent constituer une prévision de consommation ? Et, question corollaire, est-ce qu'en modifiant les paramètres de la simulation pour tenir compte des données de la mesure on pourrait retomber sur les consommations mesurées ?

Ce qui précède permet de répondre à la seconde question : oui, si on introduisait absolument tous les paramètres de la réalité, le modèle fournirait un résultat très proche de la mesure. Car ces modèles numériques sont fondés sur des équations représentant proprement les phénomènes physiques. Mais qu'aurait-on prouvé ? Rien, si ce n'est que le modèle est juste, ce qui n'est pas l'objet de notre étude d'abord, et a déjà été fait à de multiples reprises sur des cellules tests.

Mais pourrions nous faire cette validation si nous le voulions ? Tout ce qui précède montre que non. Et c'est bien la leçon à retenir de cette étude : valider *a posteriori* le modèle numérique d'un bâtiment relativement complexe (au moins par son fonctionnement) à partir de données mesurées est impossible. Certes on dispose des données météo exactes, mais il manque de nombreux paramètres déterminant dans le résultat final, à savoir les heures exactes de la présence humaine, les apports de chaleur sensible et latente exacts des individus, les apports de chaleur heure par heure (et aux localisations appropriées) des appareils électriques (bureautique, éclairage), les heures et le temps d'ouverture des fenêtres. Dans le cas de l'INEED on a vu que la ventilation est à débit variable. Il est donc nécessaire d'introduire dans le

modèle tous les débits au pas de temps de l'heure, sans compter le fait que, dans la réalité, la ventilation n'a pas fonctionné aux heures où elle aurait dû....

Pour rapprocher et comparer les résultats de mesure et de simulation il ne suffit donc pas de corriger les données météo et la température intérieure dans la simulation. Il faudrait rentrer au pas de temps de l'heure de très nombreuses données qui, pour beaucoup d'entre elles, ne sont même pas connues.

Mais cet aveu d'impuissance a une conséquence directe évidente : si *a posteriori*, avec toutes les valeurs réelles mesurées, on n'est pas capable de faire fonctionner le modèle numérique de manière à retrouver les consommations réelles mesurées, alors comment serait-il possible de prévoir une consommation lors de la conception d'un bâtiment, et comment serait-il donc possible de s'engager sur un résultat de consommation, sachant que l'occupant, par son comportement, ses choix de température ou de matériel, peut faire varier la consommation dans un rapport de un à deux ?

Il apparaît donc impossible de prévoir de manière suffisamment précise une consommation quelle qu'elle soit. On peut faire des scénarii, des hypothèses sur tout, et à partir de là en déduire une consommation « possible ». Mais cette consommation ne sera jamais une réalité, malgré tous les efforts accomplis, et il faut l'admettre. Elle sera certainement proche de la réalité, à +/- 25%. Mais cet écart peut parfaitement atteindre 100% dans certains cas. Or aujourd'hui, l'attente des utilisateurs est celle d'un engagement sur la performance, alors même que les éléments de cette performance ne sont pas dans les mains de celui qui la calcule, et des écarts de 10% sont déjà perçus comme inacceptables.

Cela ne supprime pas la nécessité de faire de la simulation dynamique. Cet outil permet l'optimisation d'un projet, mais il ne préjuge en rien de la manière dont le bâtiment sera utilisé. Finalement, il en est des bâtiments comme des voitures. Les constructeurs de véhicules utilisent énormément la simulation pour optimiser la forme, le rendement du moteur, etc, mais ils ne peuvent pas se substituer au conducteur et à la manière dont celui-ci va piloter le véhicule : la consommation d'un même véhicule pourra varier dans de grandes proportions d'un conducteur à l'autre.

Quant au calcul réglementaire, il se défend lui même de faire de la prévision. Et tout ce qui précède montre qu'il est beaucoup trop approximatif pour qu'il en soit autrement. Il faut définitivement abandonner l'idée qu'il puisse se rapprocher un tant soit peu de cette mission.

Ce travail de comparaison entre les valeurs mesurées, voire corrigées, et les différentes méthodes utilisées par la maîtrise d'œuvre lors de la conception du projet a montré que ni la simulation dynamique, ni surtout le calcul réglementaire ne pouvaient constituer des méthodes de prévision objectives des consommations, et que seule l'idée de proposer une consommation « possible » par de la simulation dynamique était imaginable à condition de l'entourer de beaucoup de précautions oratoires.

On peut dès lors s'interroger sur la pertinence des contrats de performance en principe basés sur l'affichage d'une performance par le prestataire. Ce qui précède montre que le grand nombre de paramètres non maîtrisables dans la construction des consommations rend illusoire l'idée de prévoir par des modes de calcul, même complexes, les consommations d'énergie des bâtiments.

Partie X : Economie du projet

Ce chapitre traite sommairement de l'économie du projet. Quels sont les surcoûts, à combien s'élèvent-ils ?

Définir un projet de référence pour l'INEED n'a malheureusement pas beaucoup de sens. Le maître d'ouvrage voulait un bâtiment différent, répondant à des critères environnementaux nouveaux, conduisant à des solutions architecturales et techniques différentes de la production courante. Si, pour faire une analyse comparative conforme aux méthodes habituelles, on devait partir d'une architecture type et lister toutes les différences entre la solution de référence et la solution retenue, on introduirait beaucoup plus d'erreurs qu'on apporterait de précision dans notre calcul.

C'est la raison pour laquelle nous préférons adopter une approche beaucoup plus simple fondée sur la comparaison du coût de construction avec les prix du marché au moment de la construction.

Nous présentons dans ce qui suit la décomposition du coût du bâtiment par lot. Seuls les coûts directement liés au bâtiment ont été pris en compte : ont donc été exclus les lots Mobilier de laboratoire, clôture, et espaces verts. Est bien sûr inclus le lot VRD. On a également inclus les options concernant le bâtiment lui même (éclairage dimmable, VDI, etc).

| Lot | Montant €HT | Lot | Montant €HT |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------|
| 1 - Gros œuvre | 1 457 788,39 | 11 - Mobilier de laboratoire | 0 |
| 2 - Ossature bois | 294 428,76 | 12 - Courant faible | 77 733,00 |
| 3 - Menuiseries intérieures bois | 164 436,00 | 13 - Courants Forts + photovoltaïque | 196 841,99 |
| 4 - Menuiseries extérieures bois | 191 415,00 | 14 - Chauffage-VMC | 191 759,04 |
| 5 - Cloisons faux plafond | 90 976,68 | 15 - Plomberie | 69 985,20 |
| 6 - Faux plafond | 28 473,10 | 16 - Etanchéité | 146 857,90 |
| 7 - Carrelage Faïence | 24 601,26 | 17 - Ascenseur | 24 740,00 |
| 8 - Sols souples | 43 121,61 | 18 - Cloture | 0 |
| 9 - Serrurerie Métallerie | 184 643,00 | 19 - VRD | 234 083,10 |
| 10 - Peinture | 63 245,83 | 20 - Espaces verts | 0 |
| | Total général HT | 3.485.129,86 | € |
| | Options | 48.098,00 | € |
| | Total définitif HT | 3.533.227,86 | € |

Valeur Février 2005

Rappel des éléments de surface :

■ surface utile :

- bureaux : 2.612 m²

- atelier : 280 m²

Total : 2892 m²

■ SHON :

- bureaux : 3 239 m²

- atelier : 311 m²

Total : 3 550 m²

Ce tableau inclut les coûts des bureaux et des ateliers, mais nous ne disposons pas du détail précis entre les deux entités. On supposera donc dans ce qui suit que le coût des ateliers est de 350 € HT/m², soit au total 108.850 € HT. On en déduit que le coût des seuls bureaux est de 3.424.478 € HT. Dès lors on peut calculer différents ratios :

| Désignation | Montant €HT/m ² _{Shon} |
|---|---|
| Coût de l'ensemble du bâtiment référé à sa Shon globale | 995,28 |
| Coût des bureaux seuls référés à leur Shon | 1 057,26 |
| Coût de l'ensemble du bâtiment référé à la seule Shon bureaux | 1 090,84 |
| | |
| Coût du lot chauffage/VMC rapporté à la Shon bureaux seuls | 59,20 |
| Coût du lot courants forts, inclus PV, sur Shon bureaux seuls | 60,77 |

Les prix ci-dessus correspondent exactement aux prix du marché des bâtiments de bureaux de l'époque (entre 1.050 et 1.100 € HT/m² Shon). On doit considérer que cette opération ne possède aucun surcoût. Alors il est vrai que sous la dénomination " bureaux " on trouve quelques grands espaces qui ne sont pas exactement des bureaux comme la salle de conférence (344 m²) et la salle d'exposition (164 m²). Mais ceci ne change pas vraiment les choses.

Alors comment expliquer ce coût très faible ?

La conception d'un bâtiment performant n'est pas un empilement de solutions hétéroclites juxtaposées. C'est au contraire la recherche de synergies parmi les solutions techniques mises en œuvre. Il s'ensuit qu'il y a certes un certain nombre de plus-values, notamment pour les matériaux nouveaux et les équipements très performants, mais il y a également de nombreuses moins-values dont personne ne parle jamais. Il est donc faux de considérer *a priori* qu'un bâtiment performant sera forcément un bâtiment plus cher et présentant un surcoût par rapport au prix du marché. Et c'est faux parce que tout simplement il y a des effets bénéfiques à concevoir une enveloppe très performante, un système de ventilation très peu consommateur, une enveloppe étanche à l'air.

Dans le bâtiment de l'INEED, par exemple, il a été possible, comme le souhaitait le maître d'ouvrage, de se passer totalement de climatisation. Ceci a nécessité la construction d'un puits canadien, la présence d'une forte inertie dans le bâtiment (et donc l'utilisation de matériaux lourds plus onéreux), la pose de protections solaires, etc. Mais toutes ces dispositions, aussi coûteuses soient-elles, ont permis d'éviter la mise en place d'une installation de climatisation qui aurait coûté environ 150 €HT/m².

De même l'installation de chauffage a-t-elle bénéficié des très faibles besoins du bâtiment : la chaudière est petite et sa puissance faible, les radiateurs sont de petite taille, etc. Il s'ensuit que l'installation de chauffage est peu coûteuse. Au demeurant, un prix de 59 € HT/m²_{Shon} pour les installations de chauffage et de ventilation (ventilation double flux avec échangeur de chaleur), est très faible. Il atteste précisément de la taille particulièrement faible de la plupart des équipements mis en œuvre.

Mais il y a encore d'autres moyens pour bénéficier des dispositions mises en œuvre. La très forte isolation des parois de toute nature conduit à ce qu'il n'y ait plus de parois froides dans un bâtiment comme celui de l'INEED. Dès lors, pourquoi continuer à placer les radiateurs sous les fenêtres, ce qui nécessite de grandes longueurs de tubes depuis les circulations jusqu'à la façade et retour ? On peut parfaitement placer aujourd'hui tous les radiateurs le long des parois séparant les bureaux et la circulation. Ce faisant, la distribution est extrêmement courte, et par conséquent, beaucoup moins cher.

On voit par là qu'il faut lutter contre l'idée toute faite qu'un bâtiment performant est forcément un bâtiment plus cher que les autres, en tous cas dans le secteur tertiaire. Le temps où on supprimera totalement l'installation de chauffage n'est plus très loin. Dans les bâtiments à très forte isolation thermique, le chauffage n'est plus nécessaire. Le jour où ce cas de figure sera banal, on observera une énorme réduction dans le coût de construction. Il faudra bien admettre que ce sera la conséquence des investissements et des surcoûts payés pour améliorer la qualité thermique de l'enveloppe....

Partie XI : Conclusion

Cette campagne de mesures est très riche en enseignements. Le bâtiment de l'INEED reste à ce jour l'un des bâtiments de bureaux les moins consommateurs de France. Il était donc intéressant de voir comment est-ce qu'il fonctionnait réellement. Par ailleurs, le fait d'avoir été nous-mêmes les concepteurs nous permet d'avoir un regard encore plus pertinent et critique sur le mode de fonctionnement effectif du bâtiment, de ses équipements et de ses usagers.

Cette campagne a apporté de très nombreux enseignements :

A - Le rôle de la perméabilité de l'enveloppe

Conçu en 2003-2004, l'INEED ne s'est pas fait remarquer par la qualité de la perméabilité à l'air de son enveloppe. Une valeur de n_{50} de 1,8 vol/h n'est pas exceptionnelle même si elle est bien meilleure que toutes les valeurs réglementaires actuellement en vigueur en France. L'essentiel des défauts se retrouvent dans la jonction entre la toiture et les murs de la partie Ouest, et dans la toiture Est également. Mais ces défauts d'étanchéité ont conduit à une surconsommation annuelle de 5 kWh/m²/an, soit 25 % de la consommation prévisionnelle. La France ne s'est pas encore engagée dans une véritable politique d'amélioration de la perméabilité à l'air des enveloppes comme ont pu le faire les pays du nord de l'Europe, l'Allemagne ou la Suisse. L'exemple de l'INEED est là pour montrer qu'il ne faut pas hésiter à s'engager dans des stratégies beaucoup plus ambitieuses et plus volontaristes concernant la perméabilité à l'air des enveloppes. C'est un travail relativement facile à conduire, qui ne coûte pas très cher et qui permet tout à la fois une très grande amélioration du confort d'une part, et une réduction importante des consommations d'énergie d'autre part.

B - L'importance des dysfonctionnements

Dans toutes les campagnes de mesures que nous avons faites par le passé, il y a toujours eu des dysfonctionnements c'est-à-dire des modes de fonctionnement que personne n'imaginait et qui n'étaient en aucun cas conformes à ce qui aurait dû être. Mais cette campagne nous a montré que, dans un bâtiment où tous les réglages étaient corrects et vérifiés par unregistreur au moment de la livraison, il suffisait d'à peine trois ans pour que toute l'installation soit totalement dérégulée. Cet élément est fondamental car il remet en cause la qualité de la maintenance d'une part, mais il renvoie également vers la qualité des pièces écrites du maître d'œuvre. Celui-ci a-t-il été suffisamment claire sur la manière dont l'installation devait être pilotée et programmée ? A-t-il remis des documents suffisamment explicites à la fin du chantier ? Dans le cas où ces éléments ont bien été remis à l'entreprise, comment se fait-il que celle-ci ait pu être amenée à choisir les points de consignes aussi différents de ceux qui avaient été fixés par le cahier des charges ? Mais on peut aussi imaginer que ces modifications ont été opérées par le maître d'ouvrage lui-même, ou par l'un des occupants du bâtiment non satisfait du mode de fonctionnement initial. On touche là au cœur de la maintenance des installations et cette campagne a parfaitement montré que l'ensemble de ces défauts de réglage pouvait conduire à des surconsommations de 35 %. Ce n'est pas anodin....

Il faudra donc engager une réflexion à la fois à l'échelle de ce bâtiment mais aussi à l'échelle de l'ensemble des constructions en France pour mettre en place les éléments qui permettront que les maîtres d'œuvre apportent suffisamment de précision sur les modes de fonctionnement des installations qu'ils

conçoivent, et que les entreprises de maintenance gèrent de manière plus rationnelle cet ensemble de consignes. Mais on peut aussi s'interroger afin de savoir s'il ne serait pas possible de disposer en chaufferie d'indicateurs beaucoup plus pertinents permettant aux personnes chargées de la maintenance de savoir en un coup d'œil quels sont les régimes de fonctionnement journaliers et hebdomadaires de l'ensemble des éléments de l'installation (pompes, ventilateurs, chaudières, groupe froid, etc.). Il faut reconnaître que les systèmes régulant actuels sont beaucoup trop complexes, que les entreprises ne les connaissent souvent pas très bien, et qu'il est parfois difficile de déterminer quels sont les paramètres qui ont été programmés.

C - L'importance des consommations électriques en dehors des périodes d'occupation

Plus de la moitié des consommations d'électricité a lieu en dehors des périodes d'occupation du bâtiment. Ceci est quand même assez choquant. Certes il existe certaines fonctions qui doivent être assurées même en l'absence des occupants, et les durées d'inoccupation sont beaucoup plus importantes que les durées d'occupation à l'échelle de l'année. Mais la campagne de mesure montre de manière très claire que ces consommations en période d'inoccupation correspondent à des usages qui auraient parfaitement pu être arrêtés. Il s'agit donc de gaspillage, de comportements qui ne sont pas sobres. Or la sobriété reste la manière la plus simple et la moins coûteuse de maîtriser sa consommation d'énergie.

D - La nécessaire optimisation des systèmes de pilotage de l'éclairage

On utilise de plus en plus les systèmes de pilotage de l'éclairage fondés sur des détecteurs de présence ou sur des gradateurs. Cette campagne de mesures a montré que ces matériels pouvaient consommer beaucoup plus que l'usage lui-même lorsque celui-ci est peu utilisé comme par exemple les salles de réunion. Il convient donc de rester très critique à l'avenir et de n'adopter des systèmes de pilotage que sur des installations ayant des durées de fonctionnement annuelles suffisantes d'une part, tout en ayant soin de choisir des dispositifs de pilotage à très faible consommation de veille d'autre part.

E - Le retard considérable des fabricants de matériel électrique

Cette campagne, comme toutes celles qui l'ont précédée, a révélé le très mauvais fonctionnement de la plupart des appareils électriques dont les consommations ne sont absolument pas optimisées. Les constructeurs doivent comprendre que les grands enjeux de demain dans le bâtiment seront tournés sans aucune exception vers les usages spécifiques de l'électricité. Ceux-ci constitueront l'essentiel des consommations des bâtiments neufs d'ici 10 ans. Sans des progrès spectaculaires dans ce secteur, les ambitions de construire de façon routinière et banale des bâtiments à énergie positive seront fortement contrariées. Il est donc nécessaire que les constructeurs prennent conscience de cette situation et travaillent enfin à la conception d'appareils et de matériels dont la consommation électrique sera extrêmement faible voire nulle lorsque les appareils ne sont pas utilisés ou arrêtés, et minimisée lorsqu'ils sont en fonctionnement. Tout dispositif qui n'est pas utile (comme l'éclairage d'une cabine d'ascenseur immobilisée au palier) doit impérativement être arrêté.

F - Les enseignements spécifiques à la conception

Il est des choses que l'on sait pour les avoir lues mais qui n'ont pas toujours été vérifiées par des mesures sur une année. On ne les applique donc souvent pas, par incrédulité ou par négligence. La campagne conduite à l'INEED apporte son lot d'enseignements techniques spécifiques ou de confirmations :

- Le rendement de génération d'une installation décroît très rapidement lorsque le taux de charge diminue. Mais cette chute du rendement n'est pas due qu'à la chaudière : tout le réseau primaire autour de celle-ci, incluant l'acier des tubes, les organes divers, la bouteille d'équilibre, la masse d'eau contenue, etc. contribue également à réduire le rendement de génération lorsque la masse de ce réseau et des organes associés est trop importante. En effet à chaque démarrage de l'installation il convient de

réchauffer cet ensemble, chaleur qui est ensuite perdue à l'arrêt du générateur. Ceci doit conduire les concepteurs à repenser les réseaux hydrauliques primaires en ayant soin d'en minimiser les longueurs et diamètres utilisés, et en mettant en œuvre des isolations à très forte résistance thermique. À défaut, les rendements de génération s'écrouleront d'autant plus que l'enveloppe des bâtiments sera très performante. Évidemment les concepteurs devront être obsédés par l'idée de ne plus jamais surdimensionner les générateurs de chaleur, moyen le plus sûr de détruire le rendement annuel de génération.

- en matière de confort d'été on a pu vérifier que l'influence d'une ventilation mécanique nocturne des bureaux sans augmentation du débit réglementaire ne servait pas à grand-chose et n'apportait guère d'amélioration. En revanche cette ventilation consomme beaucoup d'électricité. Il est donc préférable à l'avenir d'oublier cette solution et de se tourner de préférence vers la ventilation nocturne naturelle.

- même la présence du puits canadien peut être remise en cause. Les performances qui ont été mesurées ne sont pas forcément très représentatives de ce qui se serait passé si le puits canadien avait fonctionné de manière correcte. Mais elles fournissent déjà un ordre de grandeur. Il est clair que l'apport énergétique en hiver n'est pas très important (il pourrait être de 15 % des besoins totaux de chauffage nominaux). Mais ce puits canadien n'a pas été fait pour cela : il a été fait pour éviter d'installer la climatisation. Et sur ce plan, il est difficile de dire si on aurait pu se passer de lui, puisque qu'on ne sait pas ce qui se serait passé s'il avait fonctionné de manière nominale. Quoi qu'il en soit, les quantités d'énergie apportées ne sont pas très élevées et il n'est pas certain qu'en termes économiques ni énergétiques ce choix soit très pertinent. En tout état de cause il conviendrait de faire des analyses plus complètes du bilan énergétique global, notamment en incluant l'énergie grise nécessaire à la fabrication du puits.

- concernant l'éclairage, il y a été montré une nouvelle fois qu'il ne fallait jamais poser d'interrupteur simple dans les circulations des parties communes. Car inmanquablement l'éclairage est mis en route, mais il n'est jamais arrêté. Il faudra toujours préférer soit des détecteurs de présence, soit des minuteries dont la durée de fonctionnement sera calée au plus juste, c'est-à-dire à 20 ou 30 secondes.

- enfin, la consommation des installations électriques pourrait aussi être améliorée de façon simple si on prenait l'habitude de placer un interrupteur sur l'alimentation de tous les appareils à fonctionnement intermittent. C'est déjà le cas de bon nombre d'entre eux, mais ce n'est par exemple jamais le cas des vidéoprojecteurs et des matériels de vidéo d'une manière générale.

- il faut éviter à tout prix l'utilisation d'onduleurs pour l'alimentation des ordinateurs. Ces systèmes sont toujours surdimensionnés et présentent une consommation permanente très élevée. D'autres solutions existent dès lors qu'on utilise des ordinateurs portables puisque ceux-ci n'ont pas besoin de réseaux ondulés. Non seulement leur consommation est réduite, mais en plus ils suppriment la nécessité des onduleurs. L'économie est donc double.

G - Bien choisir sa bureautique

Certes un ordinateur ne se choisit pas que pour sa consommation d'électricité, mais hormis les usages scientifiques très poussés, la plupart des ordinateurs servent à faire de la bureautique ordinaire, laquelle n'exige pas des performances exceptionnelles pour les matériels utilisés. Dès lors ces matériels doivent être choisis en fonction de leur consommation. Il est clair que la meilleure solution est alors l'ordinateur portable. Mais attention : sa consommation peut varier de 20 à 61 W, et il est donc très important de la vérifier avant d'acheter une machine. Il faudra aussi vérifier la consommation de veille, c'est-à-dire la consommation de l'ordinateur lorsqu'il est arrêté. Cette consommation peut varier de 1 à 54 W !

Cette campagne de mesures a également montré comment pouvait varier la consommation d'un bâtiment lorsque les comportements d'une part et les réglages des installations d'autre part pouvaient lentement dériver en quelques années. Malgré cela, le bâtiment reste de bonne qualité puisque la consommation d'énergie primaire de l'ensemble de ses usages le classerait encore dans la catégorie des bâtiments " passifs ".

Retenons pour terminer que le bâtiment de l'INEED pourrait, si on mettait en œuvre l'ensemble des améliorations proposées, voir ses consommations ramenées à 16,3 kWh/m²/an d'électricité, et 20 à 25 kWh/m²/an pour le chauffage en fonction de la nature des travaux qui seront faits pour améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Cette campagne de mesure aura eu le mérite de comprendre qu'il ne suffit pas de livrer un bâtiment qui fonctionne, mais qu'il faut trouver les moyens de garantir les performances dans le temps. Mais il serait désormais très intéressant, d'un point de vue méthodologique et opérationnel, de mettre en œuvre toutes les corrections proposées afin d'optimiser vraiment le fonctionnement de ce bâtiment qui reste un bâtiment d'avant garde malgré tout ■