INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

CRECHE DE MONTREVEL EN BRESSE

Evaluation des performances énergétiques et environnementales de bâtiments démonstrateurs à haute performance énergétique en région Rhône Alpes

Résultats de la première année de mesures

FEVRIER 2012

<u>Maître d'ouvrage de l'étude :</u>
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME

Etude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 4
2 PRESENTATION DE L'OPERATION 5
2.1.1 Description du bâtiment et de ses équipements 5
2.1.2 Information des usagers sur la nature du bâtiment et de ses équipements 7
3 PRESENTATION DE LA CAMPAGNE D'EVALUATION ET DE MESURES 8
3.1 Liste des usages suivis au titre de la campagne de mesures 8
3.2 Caractéristiques de la campagne de mesures 9
3.2.1 Métrologie mise en oeuvre 9
3.2.1.1 Le système Multivoies 9
3.2.1.2 Le Wattmètre série 9
3.2.1.3 Le lecteur optique 10
3.2.1.4 Le compteur d'impulsions 10
3.2.1.5 Le lampmètre 10
3.2.1.6 Les thermomètres 11
3.2.1.7 Les thermohygromètres 11
3.2.1.8 Centrale météo 12
3.2.1.9 Mesureur débit d'air 12
3.2.2 Durée de la campagne de mesures 13
3.2.3 Pas de temps des mesures 13
3.2.4 Traitement des données 13
4 EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE 14
4.1 EXAMEN DE L'ENVELOPPE A LA CAMERA INFRAROUGE 15
4.2 TEST A LA PORTE SOUFFLANTE 17
5 PRINCIPAUX RESULTATS 19
5.1 QUALITE DE L'AIR 20
5.1.1 Le dioxyde de carbone 20
5.1.2 Le radon 22
5.2 CONFORT HYGROTHERMIQUE 23
5.2.1 Généralités sur la notion de confort 23
5.2.2 Le confort d'hiver 25
5.2.2.1 Températures moyennes dans le bâtiment 25
5.2.2.2 Températures moyennes dans les différents locaux 26
5.2.2.3 Evaluation du confort d'hiver 31
5.2.3 Le confort d'été 32
5.2.3.1 Températures moyennes dans le bâtiment 32
5.2.3.2 Températures moyennes dans les différents locaux 32
5.2.3.3 Evaluation du confort d'été 35
5.3 VENTILATION 37
5.3.1 Rappel concernant l'installation 37
5.3.2 Programmation de la ventilation 37
5.3.3 Etude du caisson de la salle d'évolution 38
5.3.4 Etude de l'efficacité de la surventilation 39
5.4 CHAUFFAGE 41
5.4.1 Rappel concernant l'installation 41

5.4.2 Durée réelle de la saison de chauffage 41
5.4.3 Consommation annuelle 42
5.4.4 Efficacité de la régulation 42
5.4.5 Fréquences cumulées des puissances utiles produites 44
5.4.6 Etude du rendement de génération 46
5.4.7 Déperditions réelles du bâtiment 47
5.5 ETUDE DU PUITS CANADIEN 49
5.6 ELECTRICITE 52
5.6.1 Analyse de la facture 52
5.6.2 Structure par usage de la consommation électrique et de la pointe 52
5.6.2.1 Structure de la consommation 52
5.6.2.2 Part de la consommation par usage en période d'occupation et d'inoccupation 52
5.6.2.3 Structure par usage de la puissance de pointe 54
5.6.3 Production d'électricité d'origine photovoltaïque 55
5.6.4 Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage 55
5.6.4.1 Eclairage 55
5.6.4.2 L'informatique 67
5.6.4.3 Les usages thermiques de l'électricité (chauffe eau) 69
5.6.4.4 Etude de la chaufferie 69
5.6.4.5 Les systèmes de ventilation 72
5.6.4.6 Les appareils divers 76
6 LES CHIFFRES CLES 77
6.1 Consommation totale 77
6.2 Tableau récapitulatif des principaux résultats 79
7 PRECONISATIONS 80

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'Appel à Projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs », l'ADEME a souhaité mettre place une évaluation des résultats effectifs sur les opérations lauréates. Notre bureau d'études a été missionné pour conduire une analyse approfondie des qualités techniques des bâtiments notamment au travers d'une campagne de mesures d'une durée de 2 ans.

Celle-ci concerne les consommations, la qualité de l'air, le confort hygrothermique et le fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et électriques. A partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement peuvent être dégagés. Une analyse de ces résultats permet de caractériser le bâtiment vis-à-vis des objectifs envisagés à l'origine, et de mettre en évidence des dysfonctionnements pénalisants.

L'équipe se place donc dans une approche constructive, en partant de l'*a priori* que chaque maître d'oeuvre a tenté de faire de son mieux, tout en sachant que les savoirs et les pratiques ne sont peut-être pas encore au niveau des ambitions qui sont les nôtres collectivement aujourd'hui.

Le présent rapport intermédiaire décrit les principaux résultats issus de la première année de mesure. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés, accompagnés des préconisations destinées à rapprocher le fonctionnement de l'installation de son régime nominal pour la deuxième année de mesure. Celle-ci sera conclue par un rapport d'analyse comparée entre les différentes opérations suivies.

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

2.1.1 Description du bâtiment et de ses équipements

Le bâtiment étudié est un pôle multi accueil situé à Montrevel-en-Bresse dans l'Ain. Il a été livré en septembre 2008. Organisé sur deux niveaux, il accueille une quarantaine d'enfants. Au rez-de-chaussée se trouvent une crèche et un relais assistantes maternelles. Le premier étage abrite un centre de loisirs.

Figure 2.1 : Photographies de la crèche – haut façade nord (entrée), bas gauche : façade ouest, bas droite : façade est

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération.

Projet	Intitulé du projet	Pôle Multi-accueil et centre de loisirs		
	Localisation	Montrevel en Bresse (01)		
	Maître d'Ouvrage	Communauté de communes de Montrevel en Bresse		
	Surface utile	1 679 m²	SHON	1 847 m²
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Megard Architectes		
	BE fluides	Fluitec		
	AMO HQE	CSD Azur		
Enveloppe	Procédé constructif	Brique monomur (37,5cm) / ossature bois-ouate de cellulose		
	Compacité ($S_{déperditions}$/SU)			
	Surface vitrée / Surface utile	23,8%		
	Murs extérieurs	Brique monomur	U = 0,35	W/m².K
		Ossature bois + 16 cm ouate de cellulose	U = 0,28	W/m².K
	Plancher bas	Sous dalle : fibrastyrene 100mm Sous terre plein : ?	U = 0,40	W/m².K
	Toiture	250 mm cellulose pour toiture sous rampant	U = 0,16	W/m².K
		100mm Foamglas pour toiture végétalisée	U = 0,25	W/m².K
	Menuiseries	Occultations :	Aucune sauf stores extérieurs à lames orientables dans certains locaux	
		Cadre	Bois	
		Doubles vitrages peu émissifs argon	Uw = 1,7	W/m².K
		Classe d'étanchéité	A3	
Systèmes	Chauffage	Chaudière gaz à condensation		
		Puissance installée	13,5 - 129 kW	
		Emission	Plancher chauffant	
		Régulation	Vanne deux voies commandée par thermostat d'ambiance dans chaque pièce	
	Rafraîchissement	Puits canadien / Surventilation nocturne		
	Ventilation	Simple flux à débit variable / Prise d'air sur puits canadien / Régulation de débit : pilotage de volets motorisés dans chaque pièce en fonction du taux de CO2 (capteur de CO2 0-10V)		
		Débit de pointe théorique (CCTP)	9 705 m^3/h (2 vol/h*)	
	ECS	Cumulus électriques		
	Photovoltaïque	8,2 kWc		
Electricité	Eclairage	Salles	- Luminaires performants (haut rendement, tubes T5) - Détection de présence et seuil crépusculaire	
		Couloir		
		Sanitaires		

	Electroménager	- 3 lave-linge professionnels - 3 sèche-linge professionnels - 3 réfricongélateurs - 3 réfrigérateurs bas - 3 four micro-ondes - 1 lave vaisselle - bouilloires, cafetières, plaques chauffantes, chauffe-biberon...
	Informatique	- 2 serveurs (informatique et téléphonie) sur onduleur - 3 photocopieurs - 11 ordinateurs - 7 imprimantes
	Ascenseur	1
Performances	Objectif	$C = C_{rèf} – 40,3\%$
	Calcul RT 2005	$C_{ep} = 103,9\ kWh_{EP}/m^2_{SHON}.an$ (y compris PV)
	Production PV	$16,4\ kWh_{el}/m^2_{SHON}.an$

** : la hauteur moyenne des locaux est estimée à 2,9m*

2.1.2 Information des usagers sur la nature du bâtiment et de ses équipements

Les usagers ont été informés, pour la plupart oralement à leur entrée dans les locaux, des spécificités du bâtiment. Cependant une personne arrivée après l'emménagement indique ne pas avoir été mise au courant des particularités et s'être de ce fait renseignée par Internet.

Globalement les informations fournies ont paru utiles quoique pas assez détaillées.

Toutes les personnes interrogées sont assez satisfaites du confort maintenu dans le bâtiment. Pour plus d'informations sur ce point on se reportera aux résultats du questionnaire donnés en annexe.

3 PRESENTATION DE LA CAMPAGNE D'EVALUATION ET DE MESURES

3.1 Liste des usages suivis au titre de la campagne de mesures

Le tableau suivant reprend l'ensemble des éléments dont nous disposons pour évaluer les performances du bâtiment. En plus de ces diverses mesures, nous avons fait remplir, à cinq usagers, un questionnaire permettant de juger de leur perception du bâtiment et de leur niveau de satisfaction.

Général	Test à la porte soufflante	Réalisé le 15/02/10	
	Diagnostic caméra infra rouge	Réalisé le 15/02/10	
	Quantité COV	6 heures à l'instrumentation	
	Quantité CO2	Du 23/08/09 au 12/12/09	
	Données météo	Température	✔
		Humidité	✔
		Ensoleillement	✔
		Vitesse vent	✔
Température / Hygrométrie	Divers locaux	✔	
	Entrée /sortie puits canadien	✔	
	Départ/retour chauffage	✔	
	Eau froide	✔	
Thermique	Compteur gaz	✔	
	Chauffage énergie	✔	
	Chauffage volume	✔	
Ventilation	Vitesse du groupe	✔	
	Pertes de charge du ventilateur	✔	
Usages électriques	Système de récupération des eaux de pluie	✔	
	Ascenseur	✔	
	Serveurs	✔	
	Ventilation	✔	
	Chaudière	✔	
	Pompes	✔	
	Chauffe-eau	✔	
	Circuits éclairage	✔	
	Ordinateurs	✔	
	Photocopieurs	✔	

3.2 Caractéristiques de la campagne de mesures

3.2.1 Métrologie mise en oeuvre

3.2.1.1 Le système Multivoies

Le système multivoies assure la mesure de la puissance active d'usages électriques issus des différents tableaux. La consommation est enregistrée au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type « datalogger » stocke les informations sur place 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

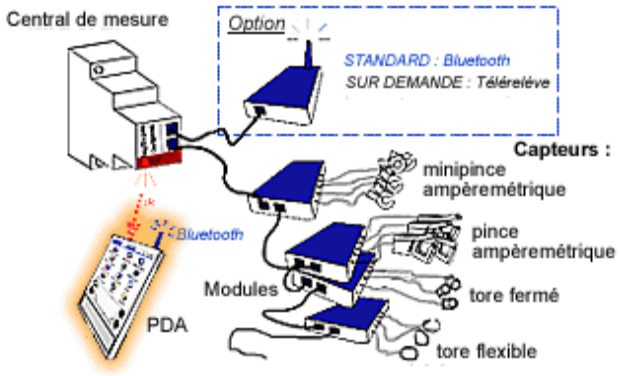


Figure 3.1 :Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs des tableaux électriques

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 ».

3.2.1.2 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 3.2 : Photographie d'un wattmètre série

3.2.1.3 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 du bâtiment ont été suivis à l'aide de ce type d'appareil.

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

Figure 3.3 :Photographie d'un lecteur optique

3.2.1.4 Le compteur d'impulsions

Le compteur d'impulsions permet la comptabilisation d'impulsions provenant de divers appareils tels que compteur de chaleur ou du compteur gaz au pas de temps de 10 minutes.
Ces enregistreurs sont totalement autonomes sur piles, la mémoire ayant par ailleurs une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.

3.2.1.5 Le lampmètre

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampemètres. Le lampemètre (figure 3.4) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un

capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.
Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs les puissances des appareils d'éclairage (supposées constantes sur toute la durée de mesure). On multiplie ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.

Figure 3.4 : Photographie d'un lampemètre

3.2.1.6 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 chaque dix minutes et stocke cette valeur en mémoire. Le thermomètre possède une gamme de mesures très large (-50°C à 120°C) qui autorise des usages très variés. Sa précision est de +/-0.5°C entre –20 et +80°C. Ce mesureur a été utilisé pour suivre l'évolution de température d'air, de chauffage…

Figure 3.5 : Photographie d'un thermomètre

3.2.1.7 Les thermohygromètres

Le thermomètre-hygromètre autonome est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites (identiques au thermomètre) muni d'un capteur de température et d'hygrométrie.

Il permet l'enregistrement des données de température et d'hygrométrie au pas de temps de 10 minutes sur une période de plusieurs mois.

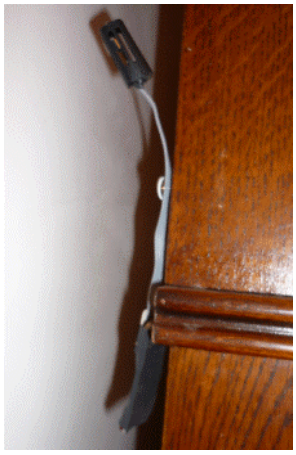


Figure 3.6 : Photographie d'un thermo-hygromètre installé derrière une armoire

3.2.1.8 Centrale météo

Une centrale météo a été installée au centre nautique de Montrevel qui se situe à proximité du bâtiment étudié. La centrale météo est composée :

- D'un thermomètre
- D'un hygromètre
- D'un pyranomètre
- D'une girouette
- D'un anémomètre

Le pas de temps de la mesure est de 10 minutes.

Figure 3.7 : Photographie de la station météo de Montrevel

3.2.1.9 Mesureur débit d'air

Les débits de ventilation sont déduits de la mesure au pas de temps de dix minutes au moyen d'une mesure de la pression différentielle aux bornes du ventilateur, de la mesure de la vitesse de rotation du ventilateur et de la puissance appelée par le moteur. Connaissant la pression et la puissance, on peut déduire le débit grâce aux caractéristiques du ventilateur fournies par le constructeur.

Figure 3.8 : Mesure de débit d'air des caissons de ventilation

3.2.2 Durée de la campagne de mesures

La campagne de mesures s'est déroulée du 24 avril 2009 au 23 avril 2010, soit 365 jours de suivi. Les mesures de débit d'air et des temps de fonctionnement de l'éclairage ont été effectuées sur des durées inférieures, respectivement 6 et 10mois.
L'ensemble des appareils de mesure est resté en place pour la deuxième année de suivi.

3.2.3 Pas de temps des mesures

L'ensemble des appareils de mesure a été programmé au pas de temps de 10 minutes à l'exception des lampmètres qui fonctionnent de façon événementielle.

3.2.4 Traitement des données

Toutes les données récoltées ont été placées dans une base de données relationnelle permettant un traitement aisé des informations. Aucune annualisation des consommations d'énergie n'a été nécessaire étant donné que la campagne de mesures a duré une année complète.

Dans cette étude on distinguera les périodes suivantes :

- Occupation : de 7H30 à 18H30 du lundi au vendredi (sauf vacances et jours fériés)
- Inoccupation : le reste du temps. Le pôle est fermé entre Noël et nouvel an (24/12/09 au 03/01/10).

4 EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE

4.1 EXAMEN DE L'ENVELOPPE A LA CAMERA INFRAROUGE

Ce test a été sous-traité à l'entreprise Alsatech. Il a été effectué en hiver (15/02/2010). Les températures intérieure et extérieure étaient respectivement de 19°C et 1°C.

Les défauts suivants ont été relevés :

1- Des ponts thermiques apparaissent de manière récurrente au niveau des linteaux au dessus des baies vitrées de la crèche.

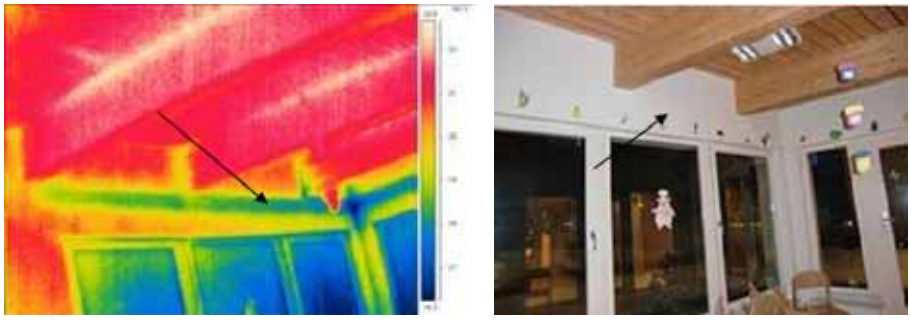


Figure 4.1 : Exemple de ponts thermiques au niveau des linteaux baies vitrées – salle à manger enfants

2- Des accroches métalliques sur les piliers créent des ponts thermiques

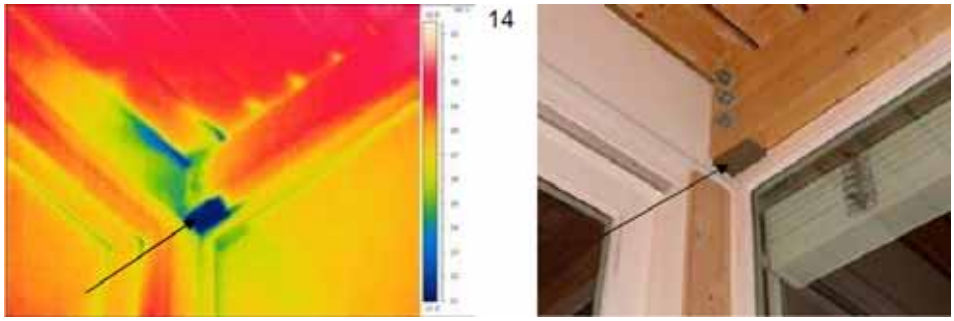


Figure 4.2 : Exemple de ponts thermiques dus à des accroches métalliques – Salle des petits

3- Des défauts d'isolation ont été repérés au niveau du bureau de l'angle Nord-est du bâtiment ainsi qu'entre certaines solives sur la face Sud de la salle évolution

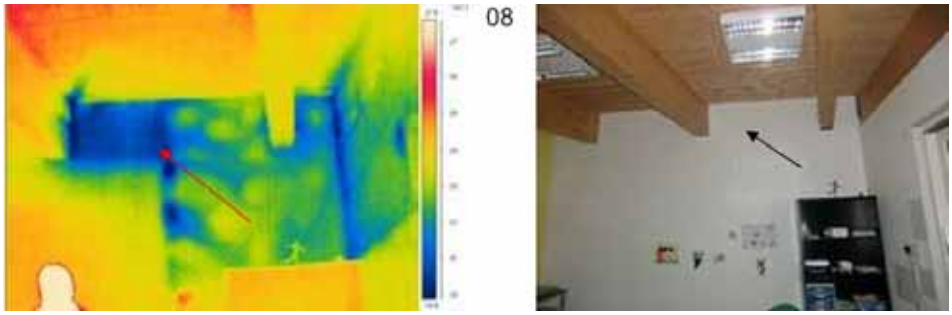


Figure 4.3 : Défaut d'isolation dans le bureau RAM

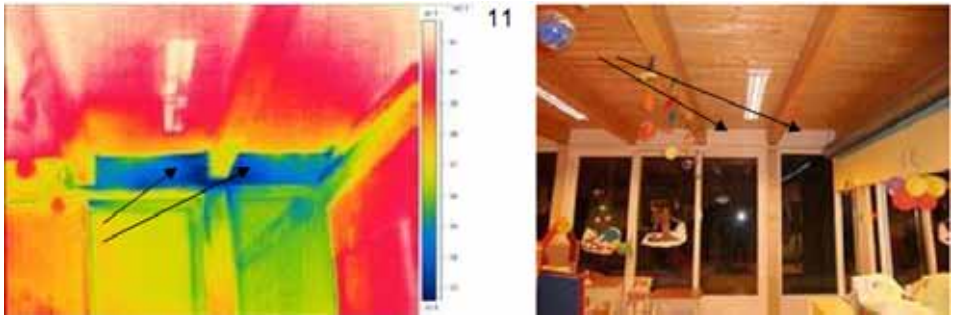


Figure 4.4 : Défaut d'isolation dans un local du centre de loisirs

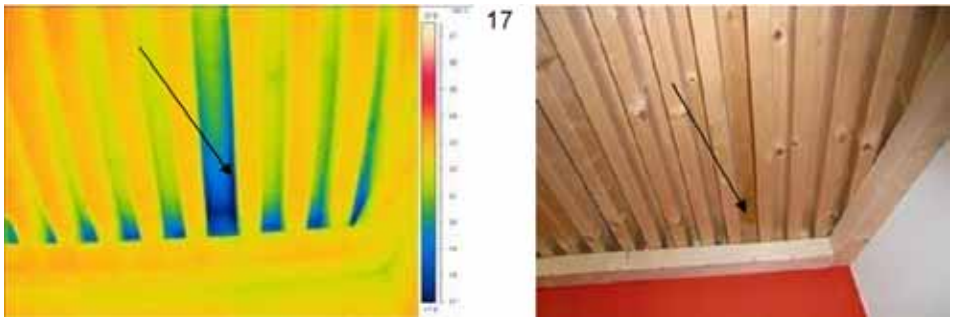


Figure 4.5 : Défaut d'isolation dans le plafond du centre de loisirs

On est donc surpris par la quantité de défauts. On serait tenté de parler de malfaçons pour certains d'entre eux lorsqu'ils concernent par exemple tout un pan de mur. Il paraîtrait légitime de mener des investigations complémentaires. Ces défauts, vu leur importance, peuvent avoir deux types de conséquences :

- d'une part une dégradation de la performance thermique,
- d'autre part, et c'est peut-être encore plus grave, la présence d'une zone froide sur laquelle toute la vapeur risque de venir se condenser, ce qui pourrait créer de lourdes pathologies.

4.2 TEST A LA PORTE SOUFFLANTE

La valeur $Q4_{Pa\text{-}surf}$ globale de ce bâtiment est de 0,48 $m^3/h*m^2$ de surface froide hors plancher bas. A titre d'indication, le taux de renouvellement d'air selon la norme NF EN 13829 (**n_{50}**) vaut **1,18 vol/h.**

La perméabilité surfacique est bien meilleure que la valeur de 1,7 $m^3/h*m^2$ qui a été prise en compte par le bureau d'étude pour le calcul RT2005. La faible compacité du bâtiment favorise ce résultat.

Les principales infiltrations sont les suivantes :

1- Liaison plafond / parois

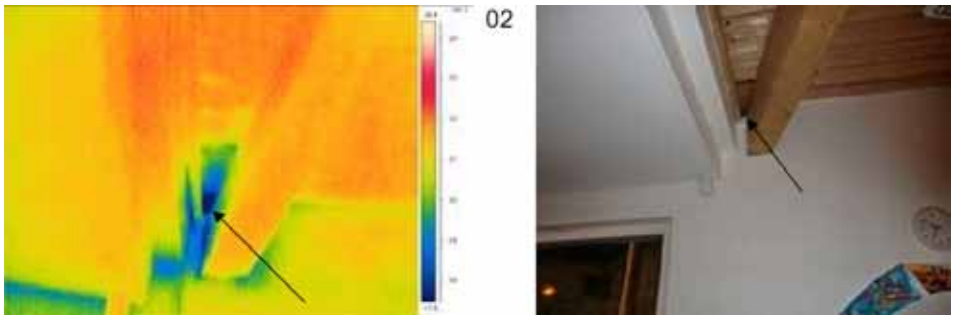


Figure 4.6 : Infiltration au niveau de la jonction solive / paroi / plafond – salle à manger enfants

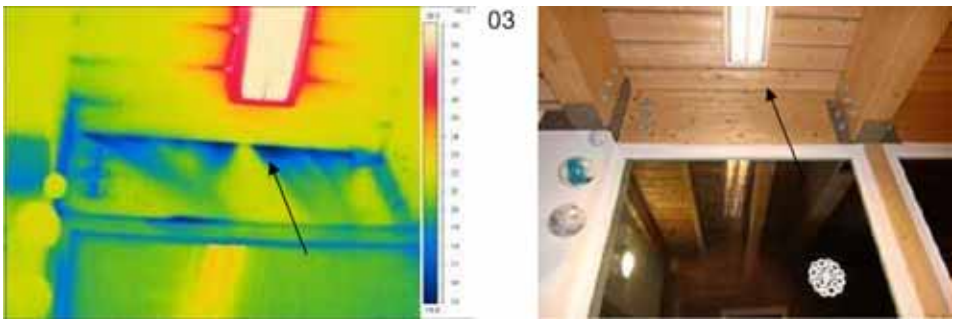


Figure 4.7 : Infiltration au niveau du plafond – couloir, en face local « moyens »

2- Ouvrants non étanches

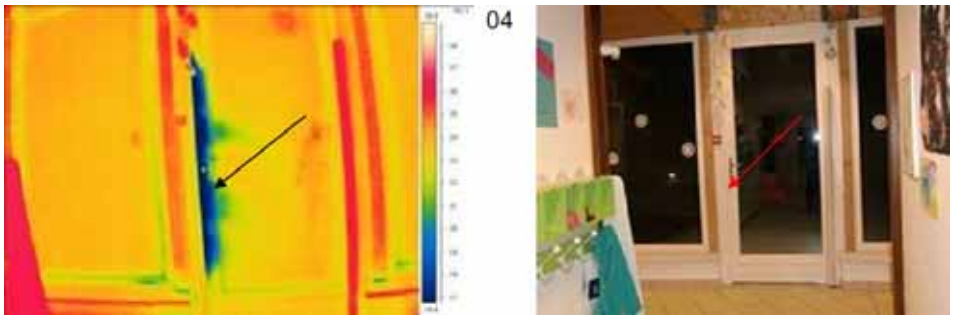


Figure 4.8 : Infiltration au niveau de la liaison ouvrant/dormant – porte dégagement rez de chaussée

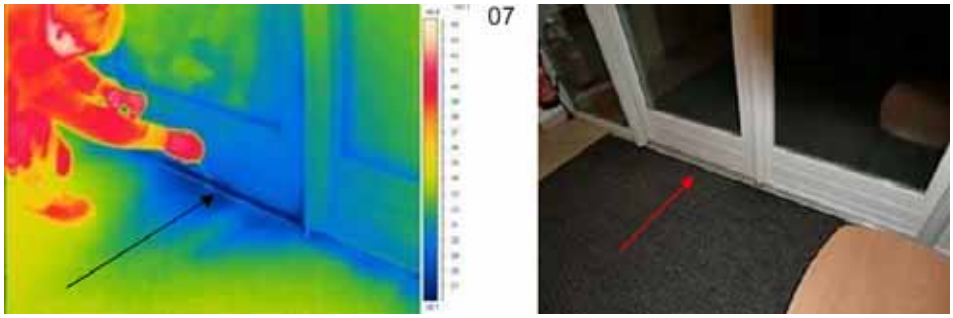


Figure 4.9 : Infiltration au niveau du seuil de la porte d'entrée

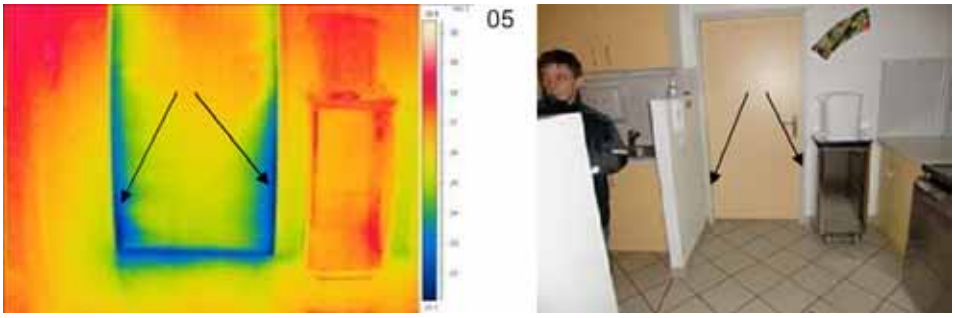


Figure 4.10 : Infiltration au niveau de la liaison ouvrant/dormant – porte donnant sur le local déchets

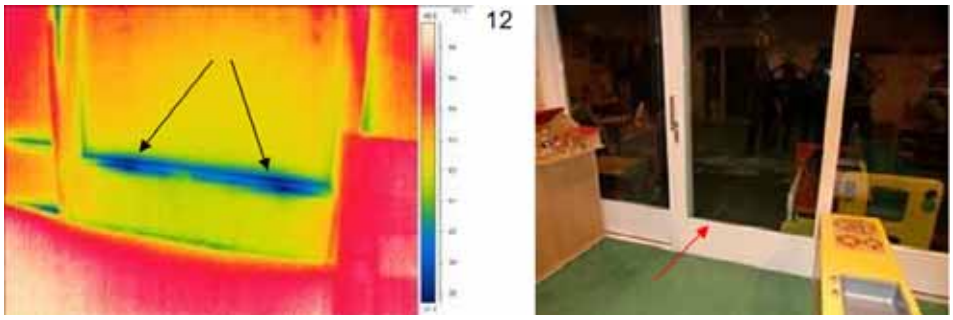


Figure 4.11 : Exemple d'infiltrations au niveau des parcloses

3- Caisson d'extraction (couloir centre de loisirs)

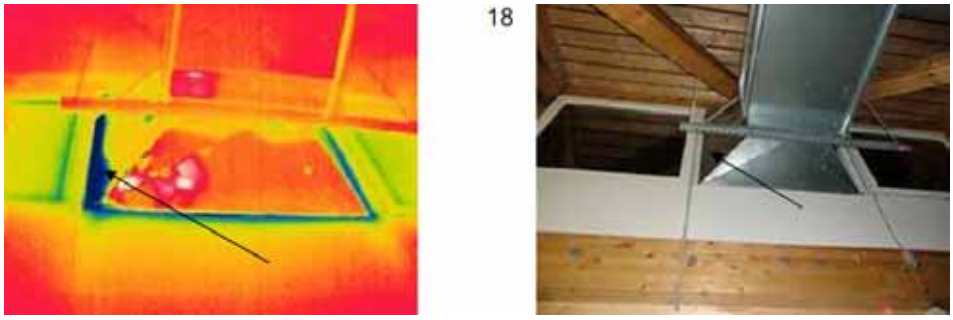


Figure 4.12 : Infiltrations au droit du caisson d'extraction situé dans le couloir du centre de loisirs

5 PRINCIPAUX RESULTATS

5.1 QUALITE DE L'AIR

5.1.1 Le dioxyde de carbone

Nous avons mesuré au pas de temps de 10 minutes le taux de dioxyde de carbone (CO2) entre le 24 août et le 11 décembre 2009 dans un local de la crèche (« moyens ») et une pièce du centre de loisirs (« crocodiles »).

Le tableau de la figure 5.1 donne les taux moyens de CO_2 mesurés en période d'occupation dans les deux locaux pendant les différents mois de la période de mesures. On observe des taux bien supérieurs dans la crèche. Cela s'explique probablement par une utilisation moins intensive des locaux du centre de loisirs.

Les valeurs moyennes observées sont inférieures au seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT 1985). C'est en hiver que les valeurs sont maximales car il n'y a pas d'ouvertures de fenêtre. Rappelons aussi qu'à l'extérieur, changement climatique oblige, le taux de concentration en CO_2 est aujourd'hui proche de 400 ppm. On ne peut donc de toute façon pas obtenir une valeur intérieure qui soit inférieure à ce taux de concentration extérieure

	Taux moyen de CO_2 (ppm)	
	RDC crèche "moyens"	R+1 centre loisirs "crocodiles"
Août	635	503
Septembre	830	534
Octobre	815	574
Novembre	961	554
Décembre	875	536

Figure 5.1 : Taux moyen de dioxyde de carbone en période d'occupation dans la crèche et le centre de loisirs au cours de la période de mesures

Les graphiques des figures 5.2 et 5.3 présentent les courbes de fréquences cumulées des taux de CO_2 respectivement sur l'ensemble de la période et sur le mois de novembre. On a choisi ce mois car il reflète une période d'occupation maximale (structure ouverte en permanence, incluant des vacances scolaires –centre de loisirs très utilisé-) et sans ouverture de fenêtres ou portes. A l'échelle de la période de mesures, le seuil de 1300 ppm n'est jamais dépassé au centre de loisirs et moins de 10% du temps pour la crèche.

Le centre de loisirs est moins occupé que la crèche (essentiellement le matin et le soir ainsi que le mercredi toute la journée en période scolaire).

Si on réduit la période d'observation au mois de novembre, on dépasse la valeur de 1300ppm 20% du temps à la crèche. Pendant 30% des heures ouvrés, la teneur en CO_2 est inférieure à 600ppm, probablement car l'occupation des locaux n'est pas maximum en permanence, notamment en début de journée. La valeur maximale observée sur toute la période est de 1902ppm. La qualité de l'air dans ces locaux est donc globalement satisfaisante.

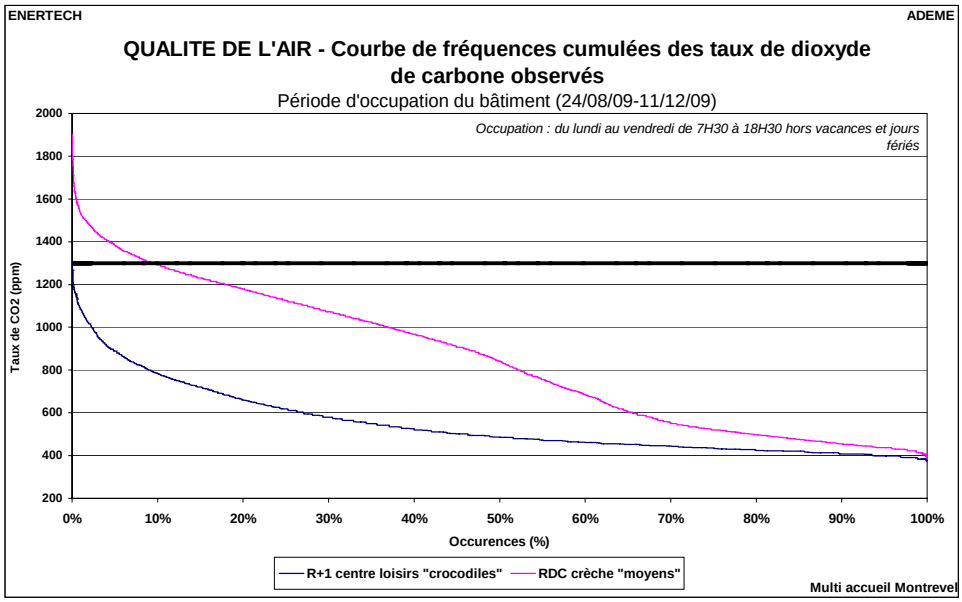


Figure 5.2 : Courbes de fréquences cumulées des taux de dioxyde de carbone pendant les heures ouvrées - 24/08/09 au 11/12/09

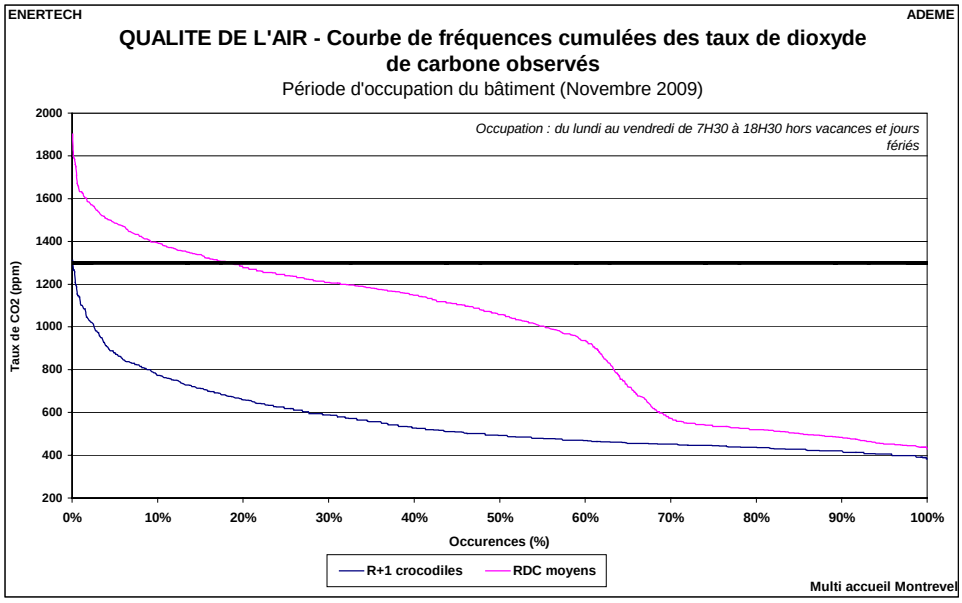


Figure 5.3 : Courbes de fréquences cumulées des taux de dioxyde de carbone pendant les heures ouvrées – Novembre 09

Sur le graphique de la figure 5.4 on a tracé l'évolution du taux de CO_2 dans la salle des moyens de la crèche pour un jour type. On a par ailleurs modéliser cette évolution à l'aide du logiciel allemand QUIRL/CO_2 (ministère de la santé du Land de Basse-Saxe). Pour obtenir par modélisation un profil proche de la mesure, il est nécessaire d'avoir un taux de renouvellement d'air d'environ 0,5 vol/h (dont 0,08 dû aux infiltrations d'air). Le Règlement Sanitaire Départemental type impose un débit de 15m^3/h.personne, ce qui correspond pour ce local à un taux de renouvellement de 2,7 vol/h, soit plus de 6 fois plus que la valeur actuelle ! Cependant si on considère les heures d'occupation ce jour là (8h00-19h30), on dépasse le seuil règlementaire uniquement 14% du temps. La qualité de l'air est donc satisfaisante bien qu'on ne respecte pas la réglementation sur le débit d'air.

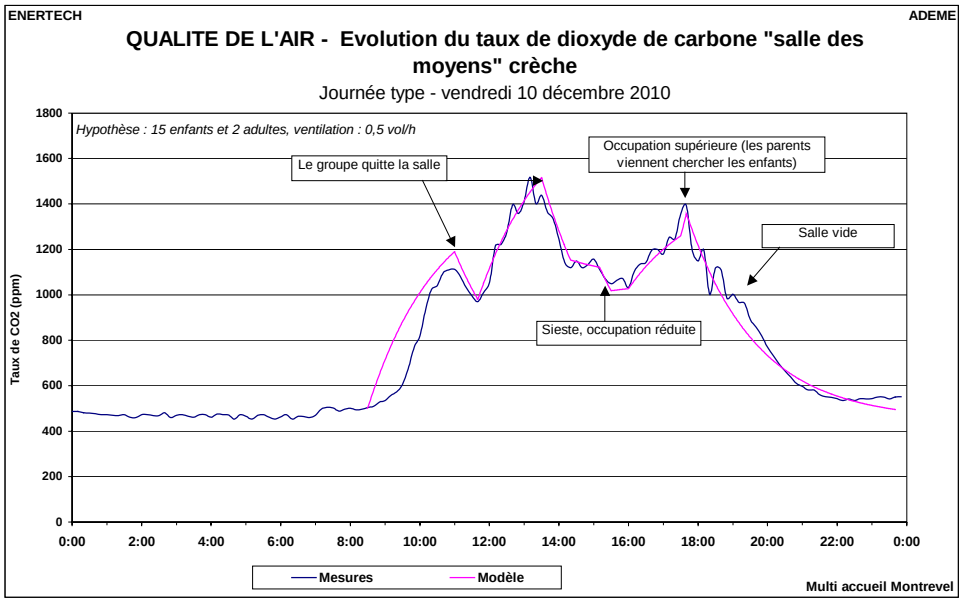


Figure 5.4 : Evolution du taux de dioxyde de carbone dans la « salle des Moyens » de la crèche – comparaison des mesures et de la modélisation

5.1.2 Le radon

La mesure du radon a été effectuée entre le 20/12/2010 et le 01/03/2011 avec l'aide de la CRIIRAD. Treize capteurs ont été posés en entrée/sortie du puits canadien ainsi que dans divers locaux de la crèche et du centre de loisirs. Les résultats obtenus sont les suivants :

- En sortie de puits canadien (capteur placé sur une grille de soufflage d'air du local des « petits » de la crèche) la concentration est de 329 Bq/m^3 alors que la valeur à l'entrée vaut seulement 32 Bq/m^3. Il y a vraisemblablement une augmentation de la concentration en radon, par diffusion, dans les tubes du puits canadien. Cependant cet élément ne se propage pas dans la pièce du fait du mauvais fonctionnement du puits canadien (voir § 5.5). En effet, un autre capteur, placé dans cette pièce, sur un mur à distance de la sortie du puits canadien, indique un taux très faible (23 Bq/m^3).

- Les concentrations dans les neuf autres locaux contrôlés au rez-de-chaussée et au premier étage du bâtiment présentent des concentrations en radon comprises entre 16 et 75 Bq/m^3, ce qui se situe « dans la gamme des niveaux les plus faibles que l'on peut s'attendre à mesurer en intérieur » (10 à 100 Bq/m^3). A titre de comparaison, le niveau moyen français à l'intérieur des habitations est de 90 Bq/m^3.

5.2 CONFORT HYGROTHERMIQUE

5.2.1 Généralités sur la notion de confort

La notion de confort thermique cherche à qualifier les échanges énergétiques du corps humain avec l'ambiance atmosphérique et, la sensation de bien-être ressenti dans une atmosphère. En effet, l'homme produit une quantité de chaleur au repos de 45 W /m² et de 60 W/m² en position assise. A l'état d'équilibre, cette énergie issue du métabolisme est stockée ou dépensée et transmise au milieu extérieur. La température du corps est alors maintenue constante à 37 +/- 0,8°C grâce aux mécanismes de régulation (convection, conduction, rayonnement, évaporation, respiration, sudation, etc.) et les conditions sont alors considérées confortables.

Cependant, le ressenti de l'ambiance (et du confort) dépend de nombreux facteurs : vêtements, sexe, constitution, santé, nourriture, âge, saison, type de travail, éclairage, bruit, odeurs, contact avec l'environnement et de paramètres psychologiques. Il apparaît alors hasardeux de donner des limites objectives précises au confort thermique. *Le confort des uns n'est pas le confort des autres*. Les scientifiques usent même sur ce sujet de définitions variées. Par exemple, pour le chercheur danois Fanger, la qualité de l'ambiance correspond à l'absence d'inconfort. C'est une sensation de confort physique et mental pour l'European passive solar handbook. Enfin, Givoni parle de conditions pour lesquelles les mécanismes d'auto-régulation du corps sont à niveau minimum d'activité.

Malgré de telles **subjectivités et imprécisions** dans la définition il est toutefois possible d'isoler quatre grandeurs déterminantes ; en plus de l'activité et de l'habillement, on compte la température ambiante, la température moyenne des parois, l'humidité et la vitesse de l'air. Les chercheurs ont alors tenté de définir un critère objectif, reprenant ces quatre paramètres principaux pour élaborer une échelle univoque du confort thermique :

1. La **température effective** d'abord, introduite par les américains en 1923 correspond à une température fictive liée à un certain état de température, d'humidité et de vitesse d'air qui donnerait un sentiment de confort équivalent. Elle est représentée sur le diagramme de l'air humide. Les zones de confort sont alors confinées à l'intérieur de polygones dits de confort. Il est à noter que la norme américaine éditée par l'ASHRAE n'impose aucun taux d'humidité minimal contrairement à ce que nous pouvons trouver en France (cf. polygone général du COSTIC).

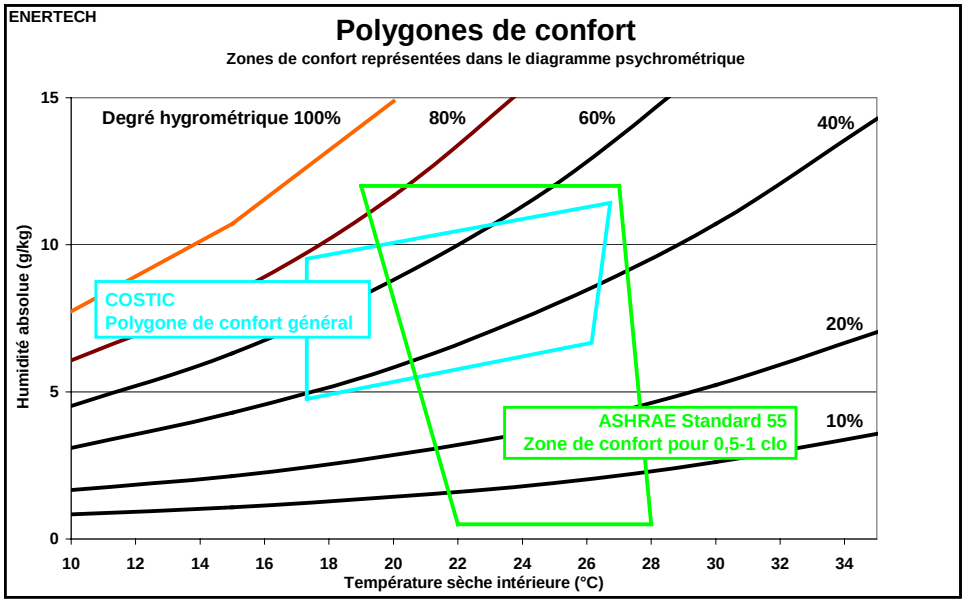


Figure 5.5 : Zones de confort

2. En 2006 et 2007, deux normes internationales (ISO 7730, ISO 15 251) sont apparues. Basées sur les travaux de **Fanger**, elles définissent des indicateurs à partir d'une formule prenant en compte le degré d'activité, la résistance thermique de l'habillement, la température ambiante, la température rayonnante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité relative. Le calcul consiste, à partir des grandeurs précédentes, à déterminer un **indice PMV** (Predicted Mean Vote) qualifiant la perception probable de l'ambiance et un **indice PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) qui prédit le pourcentage d'insatisfaits correspondant.

Categorie	Etat thermique global du corps	
	PPD %	PMV
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2
II	**< 10**	**- 0,5 < PMV < + 0,5**
III	< 15	- 0,27< PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < - 0,7 ou + 0,7 < PMV

Tableau 5.6 : Exemples de catégories recommandées pour la conception de bâtiments par la norme NF EN 15251

A cela s'ajoutent des recommandations pour limiter les cas d'inconfort local liés à l'asymétrie de température radiative, les courants d'air, le gradient de température vertical, la température du sol et les variations de température avec le temps. Le confort se définit alors comme un niveau de satisfaction de 80% avec 10% d'insatisfaits sur le confort général et 10% sur le confort local.

3. Enfin, pour les bâtiments ventilés naturellement (non climatisés) où les occupants régulent eux-mêmes par ouverture et fermeture des fenêtres, les critères d'acceptabilité peuvent être évalués par une **approche adaptative** du confort, notamment celle qui fut développée par l'ASHRAE à partir de larges études statistiques. Cette dernière exprime la gamme de températures intérieures acceptables en

fonction de la température extérieure. En effet, la perception du confort change lorsque les occupants contrôlent les fenêtres et que les conditions intérieures sont plus proches de l'atmosphère extérieure.

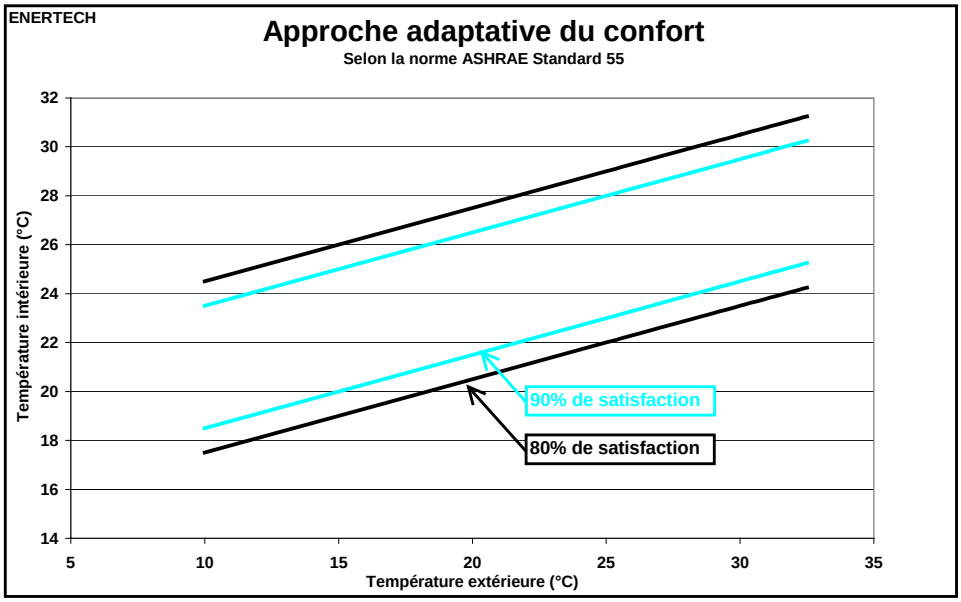


Figure 5.7 : Approche adaptative du confort pour les bâtiments ventilés naturellement

Nous évaluerons le confort du bâtiment par la méthode des polygones de confort. L'approche adaptative sera réservée pour le confort d'été.

5.2.2 Le confort d'hiver

NB : du fait de problèmes de mesures la période d'hiver utilisée pour l'analyse est comprise entre le 01/12/09 et le 24/01/10.

5.2.2.1 Températures moyennes dans le bâtiment

Le graphique de la figure 5.8 présente la courbe de fréquences cumulées des températures moyennes dans le bâtiment en hiver. Ces valeurs moyennes sont calculées à partir d'un échantillon de 5 températures mesurées dans divers locaux répartis dans le bâtiment.
La **température moyenne** s'élève à **21,1°C** quand le bâtiment est **occupé** et à **20,4°C** lorsqu'il est **vide**.
Nous remarquons que pendant **98% des heures ouvrées la température moyenne est supérieure à 19°C** ou encore que les deux tiers du temps elle dépasse 21°C. Enfin le seuil de 19°C est dépassé 86% de la période d'inoccupation. Cependant on dépasse 23°C moins de 2% de la période ouvrée.

On ne peut donc pas dire que ce bâtiment respecte la réglementation qui fixe (Code de l'habitation et de la Construction – Art. R 131-20) à 19°C maximum la température moyenne dans les locaux de ce type. Par voie de conséquences, il ne faut pas non plus s'attendre à ce que ce bâtiment soit très économe en énergie, puisque que chaque degré supplémentaire au-delà de 19°C augmente de 12 à 15 % la consommation de chauffage de ce type de bâtiment très isolé.

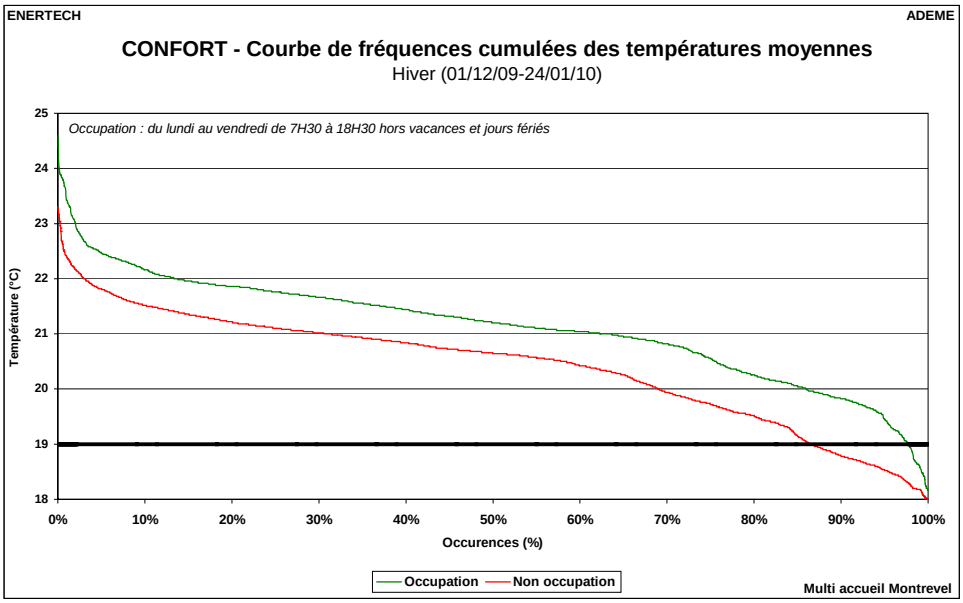


Figure 5.8 : Courbe de fréquences cumulées des températures moyennes dans le bâtiment en hiver

5.2.2.2 Températures moyennes dans les différents locaux

Le graphique de la figure 5.9 détaille la température maintenue dans les différents locaux suivis en période d'occupation l'hiver.

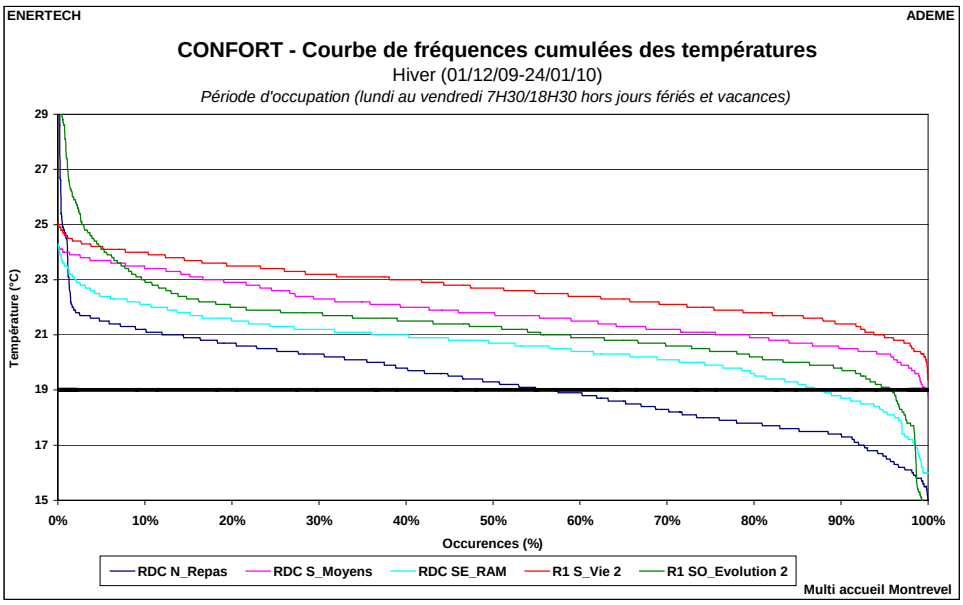


Figure 5.9 : Courbe de fréquences cumulées des températures dans différents locaux du bâtiment en hiver (période d'occupation)

On observe des différences importantes :

1- Le local le plus froid est la salle à manger, pièce dans laquelle la température est inférieure à 19°C 45% du temps. Ce local est exposé nord et très vitré. On pourrait pourtant s'attendre à ce qu'une

température de 19°C soit maintenue constamment en période d'occupation car ce local est susceptible d'être occupé, de façon ponctuelle, toute la journée.

Figure 5.10 : Photographie de la salle à manger

On remarque sur le graphique de la figure 5.11 que, par température extérieure négative, on n'atteint pas 19°C dans la salle à manger. Il peut y avoir deux explications à cette température très basse :

- Le thermostat est réglé bas. Cela est peu probable car la température maintenue dans les autres locaux est très supérieure ce qui tend à montrer que les usagers souhaitent plutôt une température supérieure. La température augmente en journée les jours de semaine non du fait d'une programmation mais grâce aux apports internes (personnes, équipements - four, lave vaisselle…). En effet la température d'eau de départ de chauffage ne varie qu'en fonction de la température extérieure (pas de ralenti en période d'inoccupation) et les dispositifs de régulation terminale n'ont pas non plus *a priori* de programmation horaire.
- La puissance émise est trop faible (émetteur mal dimensionné ou mauvais équilibrage). Cela semble l'explication à privilégier.

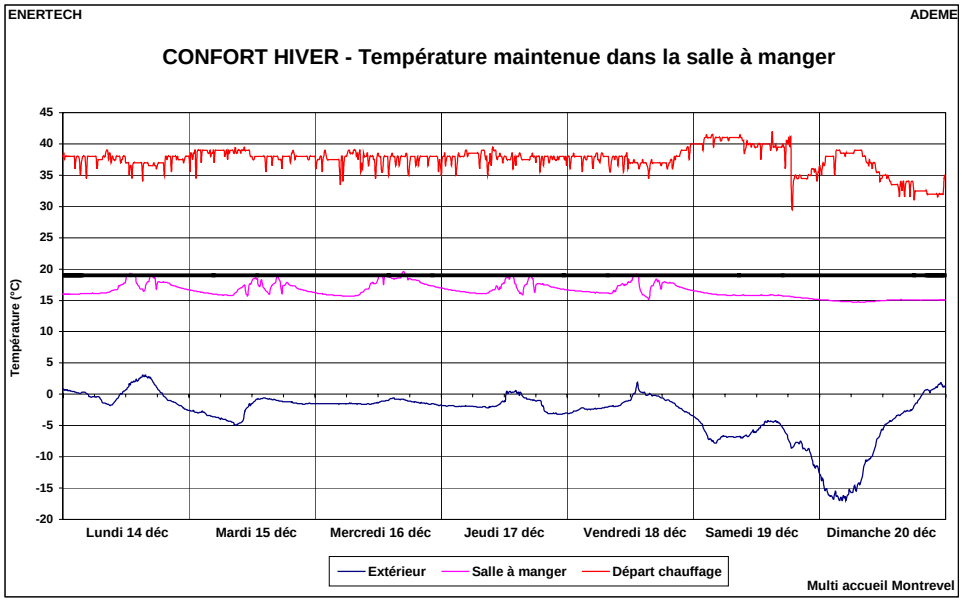


Figure 5.11 : Evolution de la température de la salle à manger en hiver

2- Le local présentant la température la plus élevée se situe au premier étage, au centre du bâtiment (centre de loisirs). On note un écart de près de 3°C avec le local le plus froid (salle à manger de la crèche, mais qui n'est pas occupée en continu), et pendant 40% de la période d'occupation (hiver) sa température est supérieure à 23°C ! Comme les apports internes dans cette pièce ne sont pas très importants (pas beaucoup d'équipements électriques, occupation très intermittente du centre de loisirs), cela s'explique probablement par une consigne de température très élevée ou un dysfonctionnement des vannes deux voies de réglage.

3- On atteint ponctuellement dans la salle évolution 2 située à l'étage du bâtiment des températures très élevées (jusqu'à 29,4°C le 18/01/10 !). Or trois des quatre parois verticales de ce local sont en contact avec l'extérieur (orientation sud, est et ouest). Comme on le voit sur les photographies de la figure 5.12 elle est très vitrée et ce notamment à l'ouest. Il existe pour cette orientation des stores extérieurs (qui sont probablement peu utilisés en hiver).

Figure 5.12 : Photographies de la salle d'évolution 2 – gauche façades sud et ouest / droite façade sud et est

Le graphique de la figure 5.13 illustre la faible inertie et l'impact des apports solaires sur la température de cette salle. Début janvier en observe des montées de température de 7°C au cours de la journée.

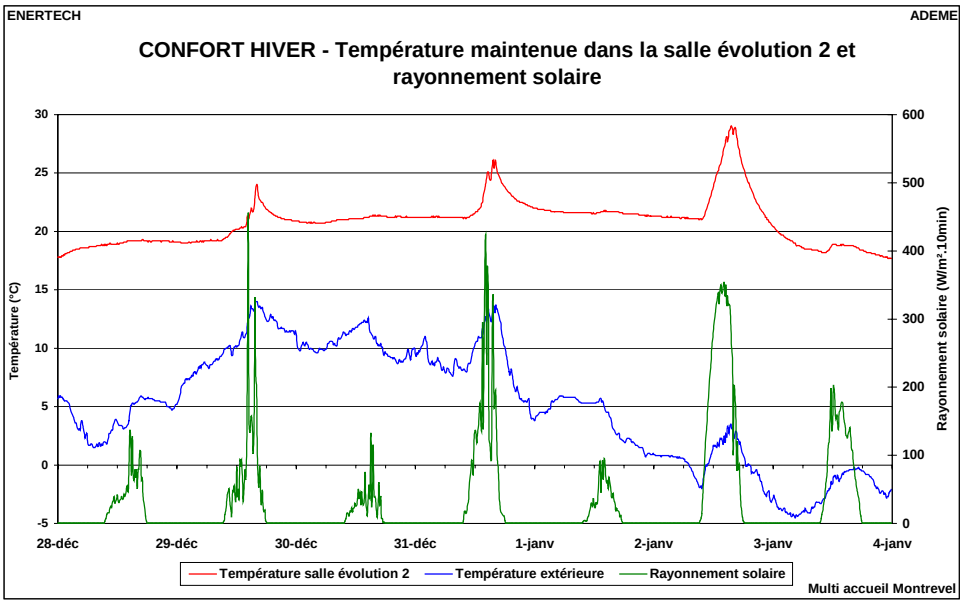


Figure 5.13 : Température mesurée pendant une semaine d'hiver dans la salle évolution 2, rayonnement solaire et température extérieure

4- Sur le graphique de la figure 5.14 nous avons représenté l'évolution des températures dans divers locaux pendant cinq journées de vacances (pas d'apports internes). On observe que :

- Il n'y a pas de ralenti, la loi d'eau est identique à celle appliquée en période d'occupation

- A l'exception du local repas, les températures maintenues sont très élevées pour des locaux inoccupés (21°C pour le local « moyens » de la crèche et 23°C pour la salle de vie n°2 du centre de loisirs !). Il y aurait de substantielles économies d'énergie à faire en réduisant la température des locaux pendant les périodes d'inoccupation, surtout lorsque celles-ci sont longues.

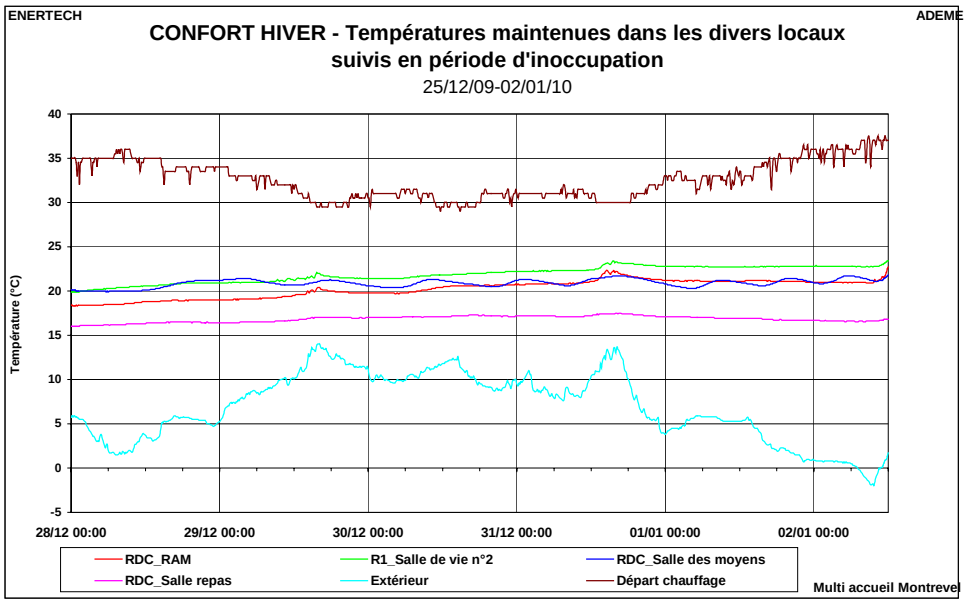
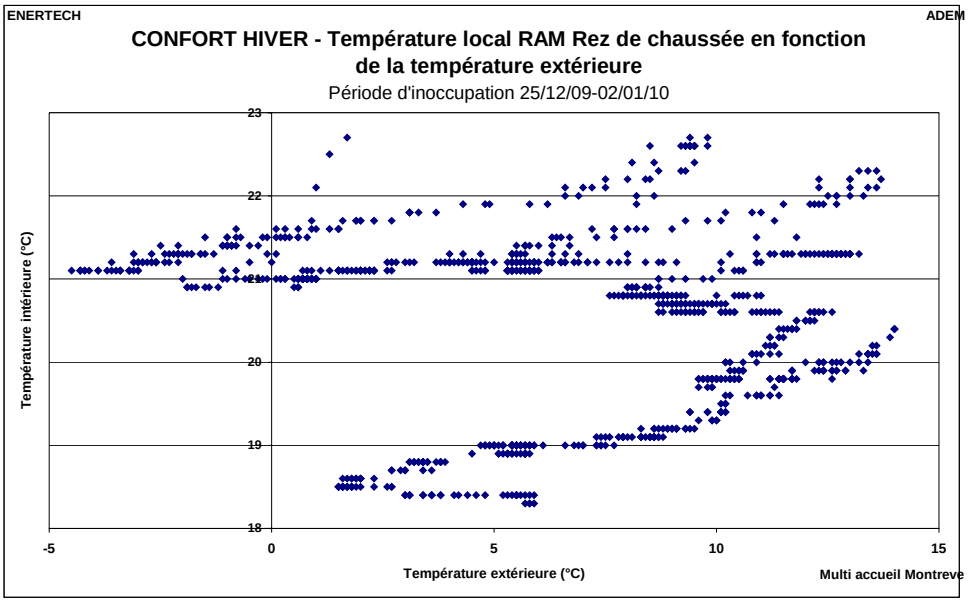
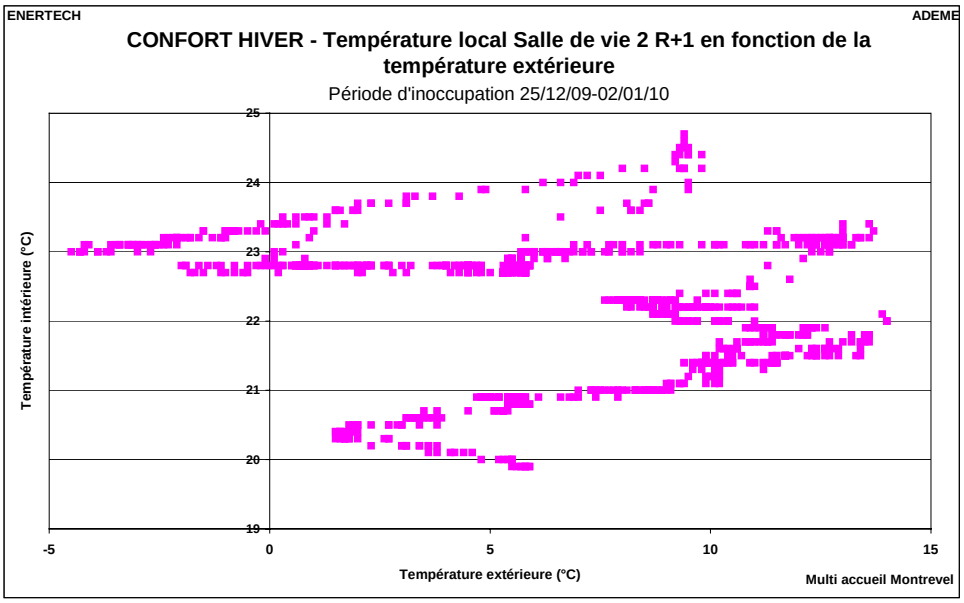
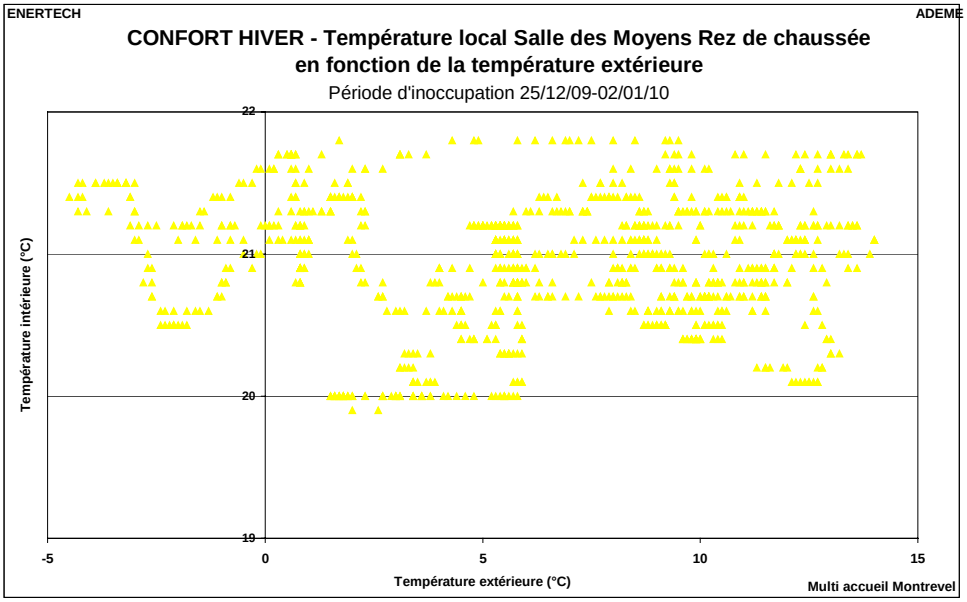


Figure 5.14 : Températures maintenues dans divers locaux suivis en période d'inoccupation – 25-12-09 – 02/01/10

- Sur le graphique de la figure 5.15 on a représenté les températures maintenues dans les différentes pièces en fonction de la température extérieure au cours de cette période d'inoccupation. On voit que pour deux des quatre locaux (RAM et salle de vie n°2) la température de consigne change au cours du temps (elle passe de 21 à 19°C pour le RAM et de 23 à 21°C pour la salle de vie n°2), sans observer par ailleurs d'abaissement de la loi de chauffe. On n'observe ce phénomène ni pour le local moyens (sa température oscille autour de 21°C sur toute la période), ni pour la salle repas (sa température varie en fonction de la température extérieure). Nous n'avons pas d'explication à ce phénomène. Il se pourrait donc qu'il y ait un superviseur qui soit capable d'abaisser les consignes des thermostats des différentes pièces. Si tel est le cas il serait intéressant d'utiliser


ENERTECH
ADEM
CONFORT HIVER - Température local RAM Rez de chaussée en fonction de la température extérieure
Période d'inoccupation 25/12/09-02/01/10
Température intérieure (°C)
23
22
21
20
19
18
-5
0
5
10
15
Température extérieure (°C)
Multi accueil Montreve


ENERTECH
ADEME
CONFORT HIVER - Température local Salle de vie 2 R+1 en fonction de la température extérieure
Période d'inoccupation 25/12/09-02/01/10
Température intérieure (°C)
25
24
23
22
21
20
19
-5
0
5
10
15
Température extérieure (°C)
Multi accueil Montrevel


ENERTECH
ADEME
CONFORT HIVER - Température local Salle des Moyens Rez de chaussée en fonction de la température extérieure
Période d'inoccupation 25/12/09-02/01/10
Température intérieure (°C)
22
21
20
19
-5
0
5
10
15
Température extérieure (°C)
Multi accueil Montrevel

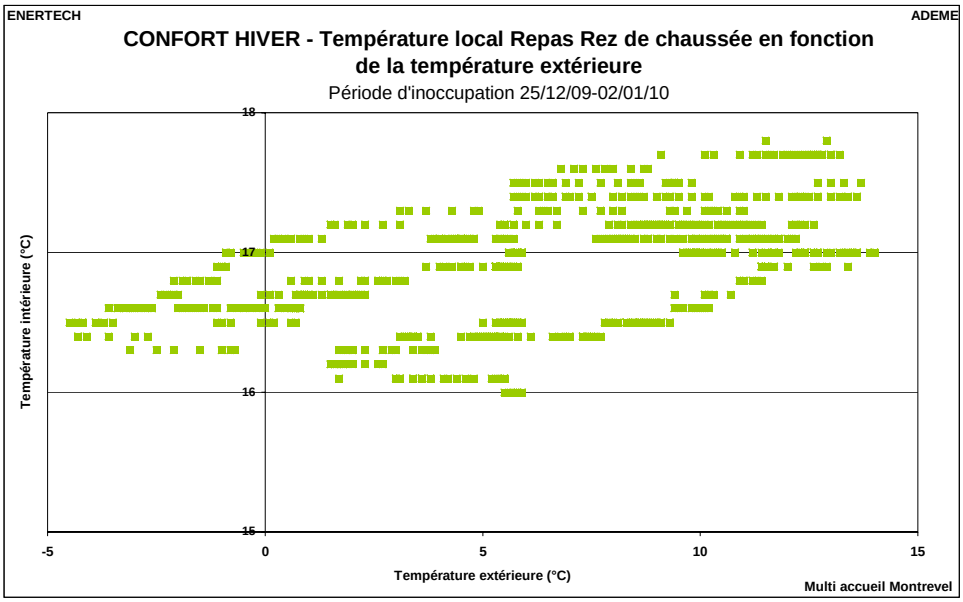


Figure 5.15 : Températures maintenues dans divers locaux suivis en période d'inoccupation en fonction de la température extérieure – 25-12-09 – 02/01/10

5.2.2.3 Evaluation du confort d'hiver

Sur le graphique de la figure 5.16, on a représenté les couples température sèche / hygrométrie moyens mesurés en hiver dans le bâtiment. Le confort maintenu est globalement satisfaisant, à l'exception de quelques épisodes où l'air est trop sec.

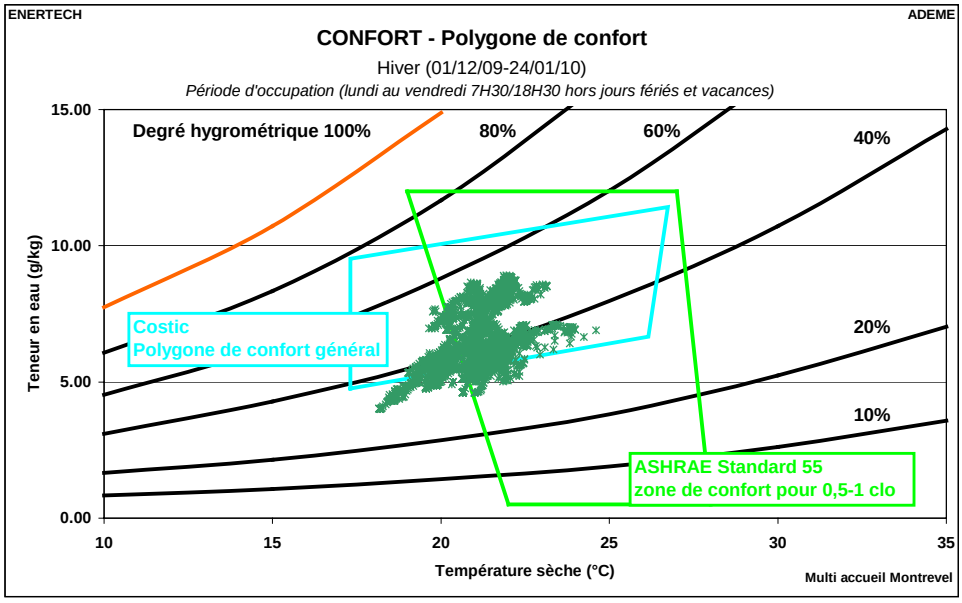


Figure 5.16 : Polygone de confort – Hiver, période d'occupation

5.2.3 Le confort d'été

5.2.3.1 Températures moyennes dans le bâtiment

La figure 5.17 représente les courbes de fréquences cumulées des températures moyennes en été. On peut faire les commentaires suivants :

- La **température moyenne** mesurée en **été** est de **24,8°C** pendant les **heures ouvrées**.
- Elle est très peu différente en période d'inoccupation (24,3°C).
- On ne dépasse jamais, en valeur moyenne sur le bâtiment, la température de 28°C.
- Pendant 60% du temps d'occupation, cette température est inférieure à 25°C.

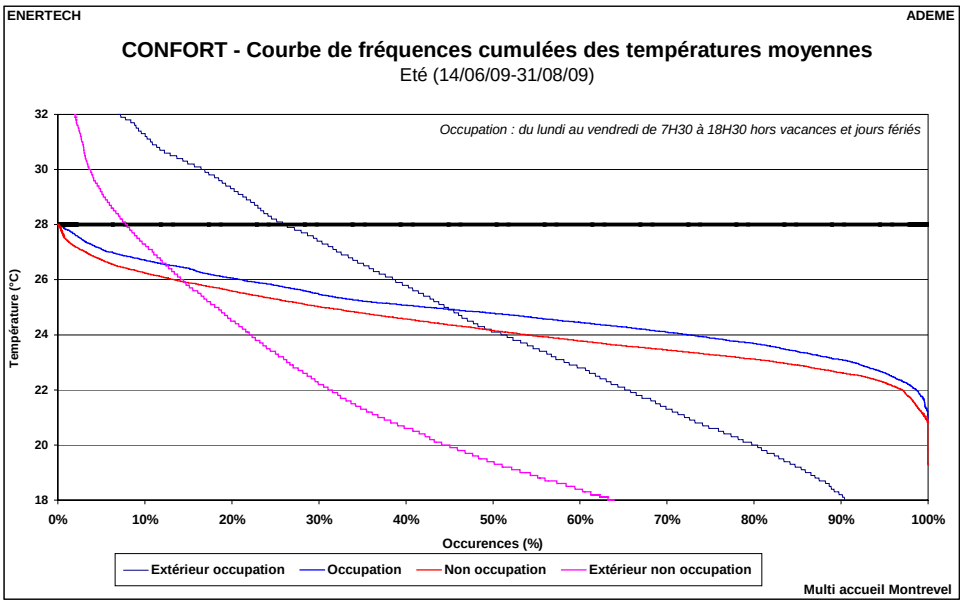


Figure 5.17 : Courbe de fréquences cumulées des températures moyennes dans le bâtiment en été

5.2.3.2 Températures moyennes dans les différents locaux

La figure 5.18 détaille les températures mesurées en été dans différentes pièces pendant les heures d'ouverture. Au rez de chaussée la température ne dépasse jamais 28°C et est relativement uniforme d'une pièce à l'autre. Il fait légèrement plus froid dans le local du RAM probablement du fait, contrairement aux autres locaux de la crèche, d'une occupation non permanente.

A l'étage la température est supérieure d'1 à 3°C par rapport au rez de chaussée. Cependant, dans la salle de vie 2, on dépasse 28°C seulement 6% du temps. La salle d'évolution 2 est la seule qui paraît réellement inconfortable (la température est supérieure à 28°C un tiers du temps). Cela s'explique, comme on l'a déjà montré au paragraphe 5.2.2.2., par l'importance et l'orientation des surfaces vitrées.

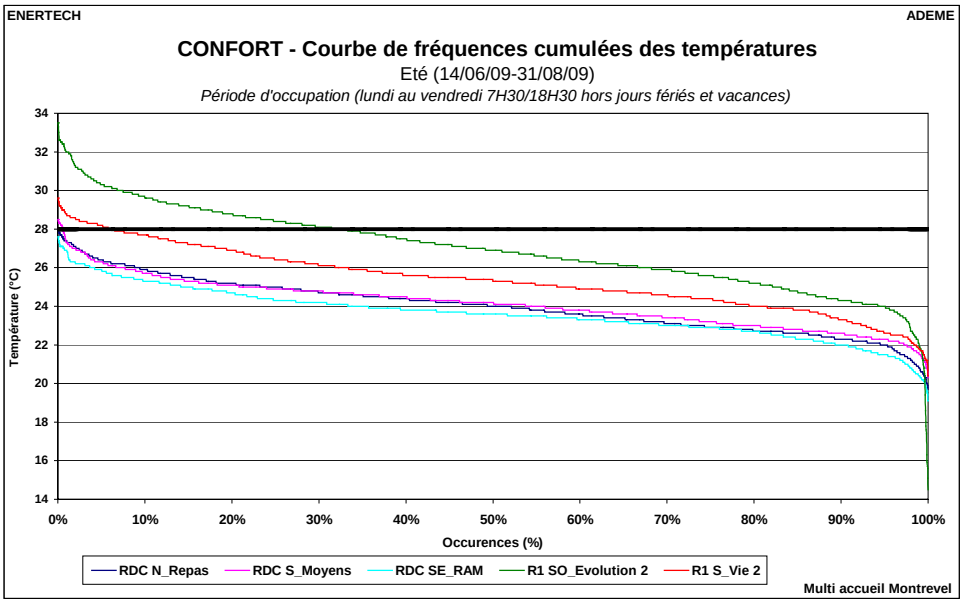


Figure 5.18 : Courbe de fréquences cumulées des températures dans différents locaux du bâtiment en été

La figure 5.19 représente l'évolution journalière moyenne de la température en été (établie à partir des températures moyennes à 10 minutes dans le bâtiment) pour les jours ouvrés et non ouvrés. Il y a en moyenne un demi degré d'écart entre les températures mesurées les jours ouvrés et les jours non ouvrés, l'écart maximal étant de 0,9°C. Il faut aussi préciser que la température extérieure moyenne les jours non ouvrés est inférieure de 1,4°C. Il semble donc que dans ce bâtiment ce soit la charge climatique et non la charge interne (matériel électrique, occupants) qui influe le plus sur la température intérieure. L'amplitude des températures journalières est d'environ 2°C les jours ouvrés et de 1,4° C les jours non ouvrés. Ces valeurs sont très supérieures à ce qu'on a observé sur un bâtiment tertiaire (bureaux) très inerte à Valence (26). Il ne semble donc pas possible de stocker dans ce bâtiment beaucoup de chaleur en journée. Par voie de conséquence, il se décharge vite.

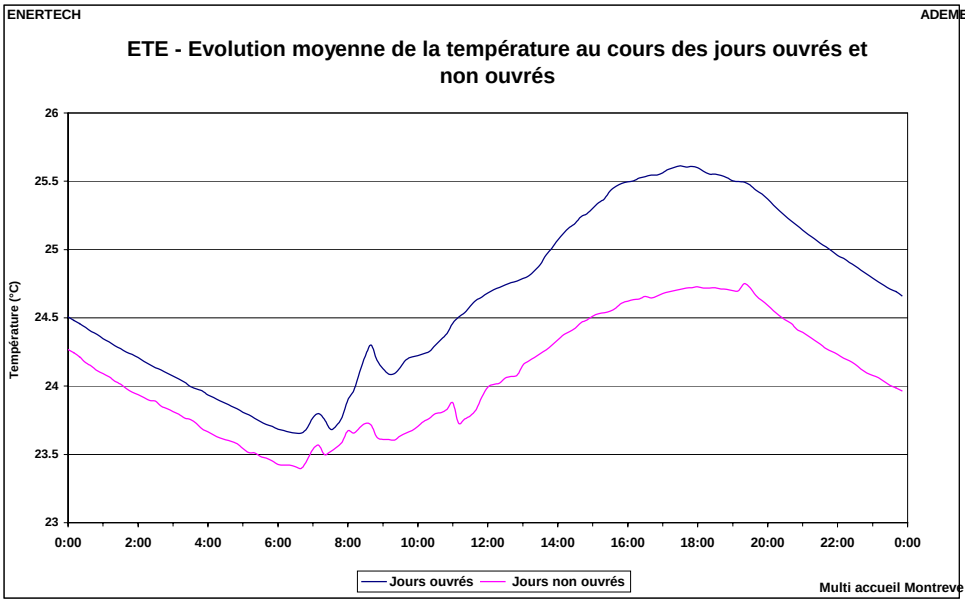


Figure 5.19 : Evolution de la température moyenne les jours ouvrés et non ouvrés en été

La figure 5.20 donne les variations de température intérieure et extérieure au cours d'une semaine type d'été. On voit que la température intérieure suit les variations de la température extérieure. On remarque aussi que la température intérieure diminue sensiblement entre le vendredi (jour ouvré) et le samedi (jour non ouvré) alors que le profil de température extérieure est pratiquement le même. Le dimanche il fait plus chaud à l'extérieur que le samedi et pourtant la température à l'intérieur du bâtiment n'augmente pas. Les apports internes (usagers et matériel électrique) ainsi que les apports solaires dus aux nombreuses surfaces vitrées contribuent de manière très importante aux variations de températures. Ils sont une des raisons majeures des surchauffes.

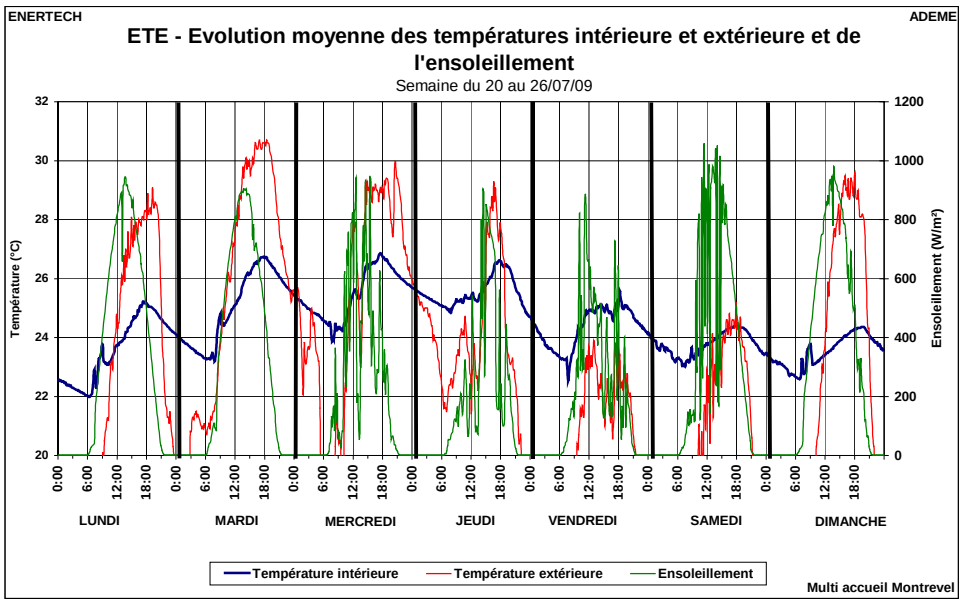


Figure 5.20 : Evolution de la température intérieure en été au cours d'une semaine type

Le graphique de la figure 5.21 montre l'évolution des températures intérieures et extérieures au cours de la période la plus chaude. On voit que la température intérieure augmente d'environ 0,5°C chaque jour. On remarque aussi que dès que la température extérieure diminue, celle à l'intérieur chute aussi très rapidement (à cause de la très faible inertie thermique du bâtiment). La température intérieure est donc très influencée par la température extérieure, les dispositifs mise en œuvre (puits canadien, surventilation) ne permettent pas de contrecarrer les apports (essentiellement solaires). Le fait qu'on n'ait pas dépassé 28°C à l'intérieur du bâtiment vient du fait que les températures extérieures n'ont pas été trop élevées (la température a dépassé 28°C seulement 14% de la période considérée pour l'été). De plus les températures la nuit ont toujours été inférieures à 20°C permettant un rafraîchissement du bâtiment, et les séquences de chaleur n'ont jamais duré trop longtemps. Cependant en cas de canicule prolongée le graphique de la figure 5.21 montre que le bâtiment sera vite très inconfortable.

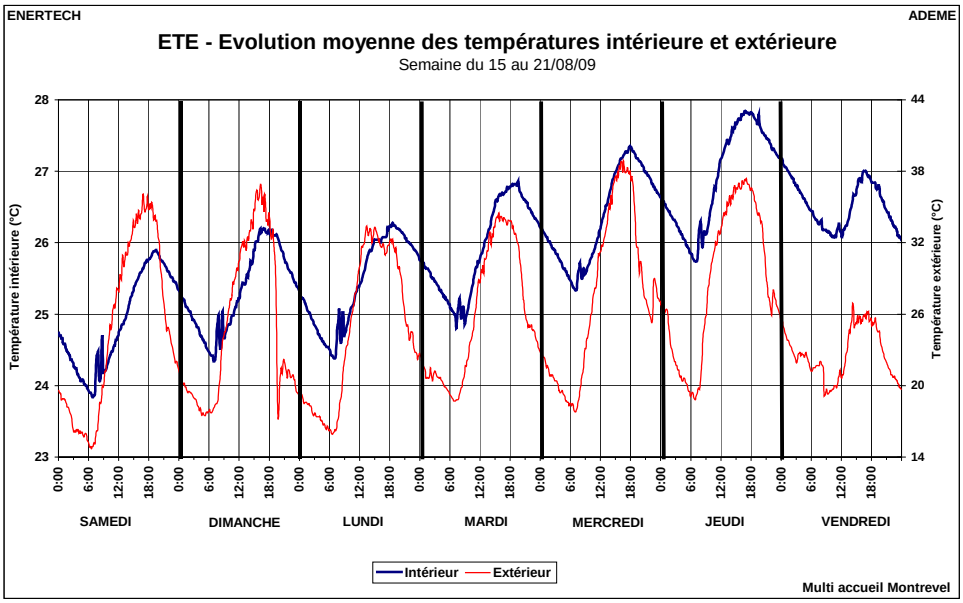


Figure 5.21 : Evolution de la température intérieure en été au cours d'une semaine type

5.2.3.3 Evaluation du confort d'été

L'observation du polygone de confort de la figure 5.22 confirme que globalement le confort maintenu dans le bâtiment en été est bon. Les situations d'inconfort proviennent davantage d'un taux d'humidité trop élevé que de températures trop importantes. Cependant il ne s'agit pas d'un problème de ventilation (mécanique ou par ouverture de fenêtres) car comme on le voit sur le graphique de la figure 5.22, l'humidité intérieure semble être évacuée (bonne superposition des nuages de points température intérieure/hygrométrie intérieure et température intérieure/hygrométrie extérieure). Les situations d'inconfort correspondent donc à des périodes pendant lesquelles l'humidité extérieure est importante.

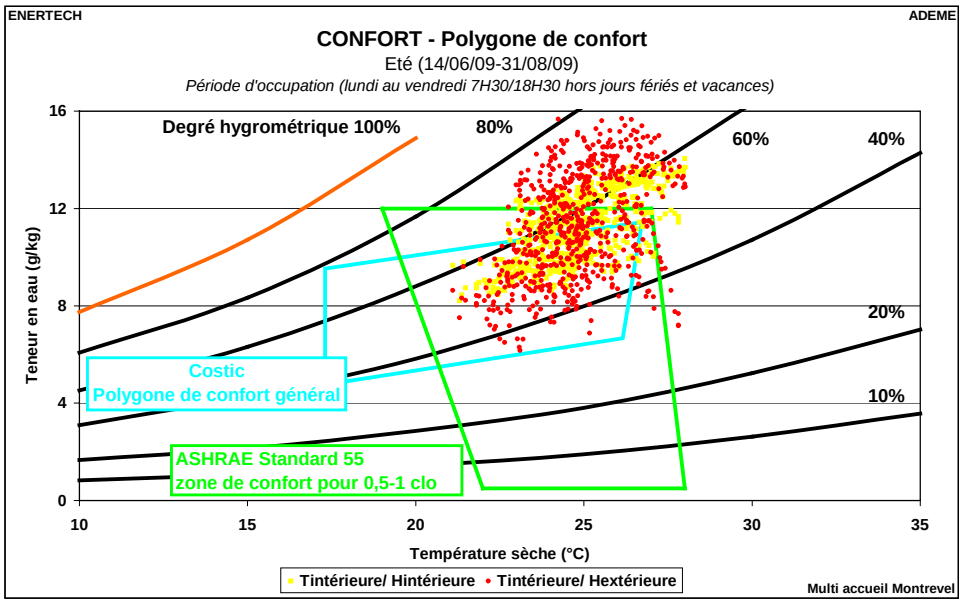


Figure 5.22 : Polygone de confort – Eté, période d'occupation

L'analyse par la méthode adaptative tend à montrer que les températures maintenues dans le bâtiment sont confortables, puisque pratiquement l'ensemble des points se situe dans le parallélogramme « 90% de satisfaction ».

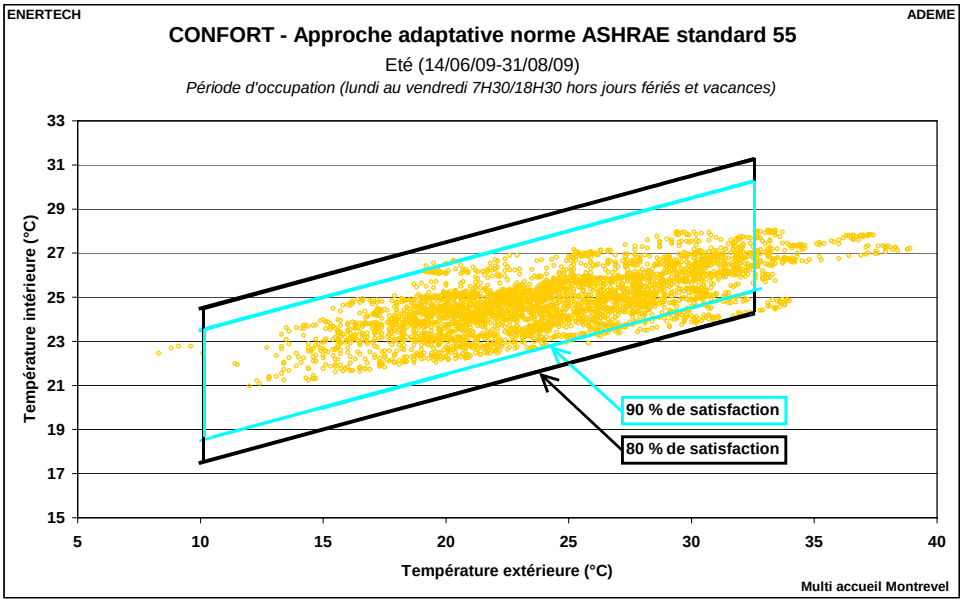


Figure 5.23 : Approche adaptative – Eté, période d'occupation

5.3 VENTILATION

5.3.1 Rappel concernant l'installation

La ventilation du bâtiment est de type simple flux avec entrée d'air par puits canadien.

Le CCTP prévoit le fonctionnement suivant : « en été, en plus de la VMC, des châssis ouvrants en partie haute du faîtage doivent permettre en journée l'évacuation d'air chaud par tirage thermique (*nota Enertech : nous n'avons pas été en mesure de vérifier le bon fonctionnement de ce dispositif*). La nuit, en fonction de la température extérieure, la ventilation fonctionne en grande vitesse. »

Cette conception appelle plusieurs commentaires :

- Il n'est pas prévu d'entrées d'air pour la ventilation naturelle. On évacue par le haut mais il n'y a pas d'ouverture en partie basse.
- Il n'est pas prévu l'arrêt de la ventilation mécanique lorsqu'on utilise la ventilation naturelle, ce qui renforce ce qui vient d'être dit sur les entrées d'air,
- Il n'existe pas de système de by-pass du puits canadien pour les périodes où la température de l'air extérieur est inférieure à celle en sortie de puits canadien.

Dans chaque pièce une sonde de qualité d'air (sonde CO_2) pilote l'ouverture/fermeture d'un volet motorisé autorisant ou non la ventilation de cette pièce.

Le tableau de la figure 5.24 reprend les différents caissons prévus au CCTP et réellement installés. Un groupe a été rajouté récemment (après la fin de la première année de mesures) car les usagers se plaignaient d'odeurs.

Extracteur	Locaux concernés	Débit	CCTP		Installé		
			Débit maximum (m^3/h)	Puissance (W)	Modèle	Puissance maximale constructeur (W)	Puissance maximale mesurée (W)
Crèche / centre de loisirs	Crèche Centre de loisirs	Variable	5835	2000	?	?	850
Salle évolution	2 salles évolution (R+1)	Variable	2475	750	CVEC 2500 Microwatt	750	212
Sanitaires	Sanitaires R+1	Fixe	1395	750	CVEC 1500 R	325	230
Sanitaires évolution	-	-	60	61	Non installé, réseau pris sur le caisson de la salle d'évolution		

Figure 5.24 : Description des équipements de ventilation prévus et réellement installés

5.3.2 Programmation de la ventilation

Le CCTP ne précise rien concernant la programmation de la ventilation. Il est juste indiqué que les centrales de traitement d'air seront asservies à une programmation horaire.

Les mesures montrent que cet usage fonctionne en permanence. Entre le 06/05/09 et le 21/09/09, deux des trois caissons (crèche/centre de loisirs et sanitaires) ont fonctionné à grande vitesse pendant la nuit (surventilation nocturne). Sur le graphique de la figure 5.25, nous avons représenté les heures de mise en route et d'arrêt des centrales.

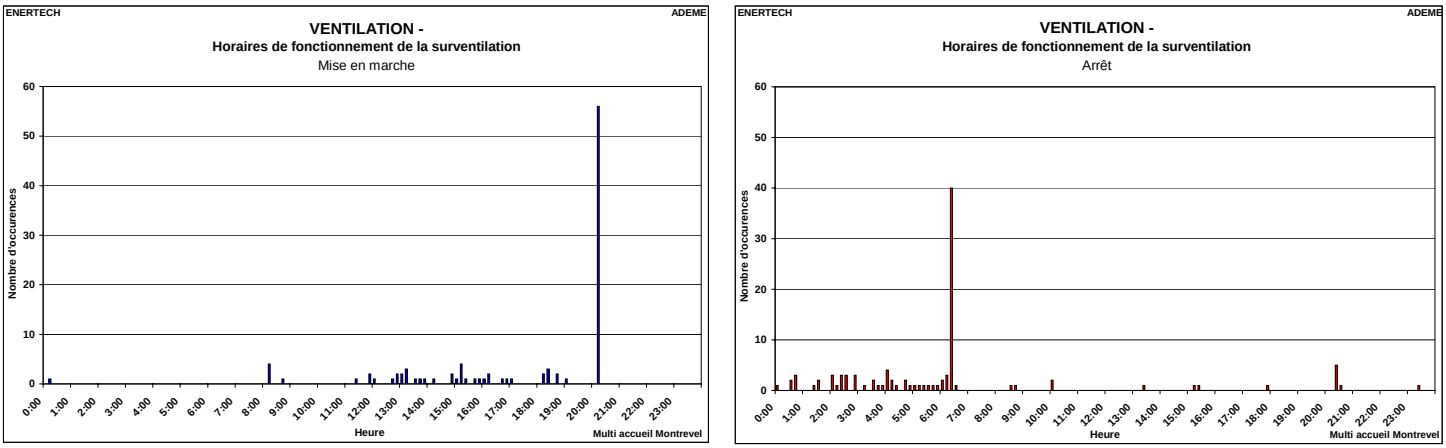


Figure 5.25 : Fréquences des heures de mise en route et d'arrêt de la surventilation

La plupart du temps la surventilation est activée à 20h10 et arrêtée à 6h20. Cependant on observe des cycles de fonctionnement de plusieurs jours consécutifs, pouvant aller jusqu'à 12 jours ! Nous ne sommes pas parvenus à comprendre la logique de mise en route et d'arrêt du dispositif qui n'est semble-t-il pas conforme à ce qui est indiqué dans le CCTP. L'installateur nous a indiqué que cette surventilation se mettait en route en été dès que la température intérieure était supérieure à la température extérieure. Nous ne le vérifions cependant pas par les mesures.

Il paraît en outre impératif de limiter le fonctionnement des groupes aux heures de présence dans le bâtiment. L'une des principales sources d'économie dans les bâtiments consiste précisément à arrêter la ventilation en dehors des heures d'occupation des locaux.

5.3.3 Etude du caisson de la salle d'évolution

Nous avons mesuré la vitesse de rotation et la différence de pression du caisson à débit variable de la salle d'évolution. Le graphique de la figure 5.26 montre que la vitesse de la turbine est pratiquement constante sur l'ensemble de la période de mesures. Deux explications sont possibles :

- la consigne de ΔP est beaucoup trop élevée et ne sert donc à rien. Le caisson ne peut l'atteindre,
- il n'y a pas de variation possible par suite d'un mauvais ou d'un non fonctionnement des volets.

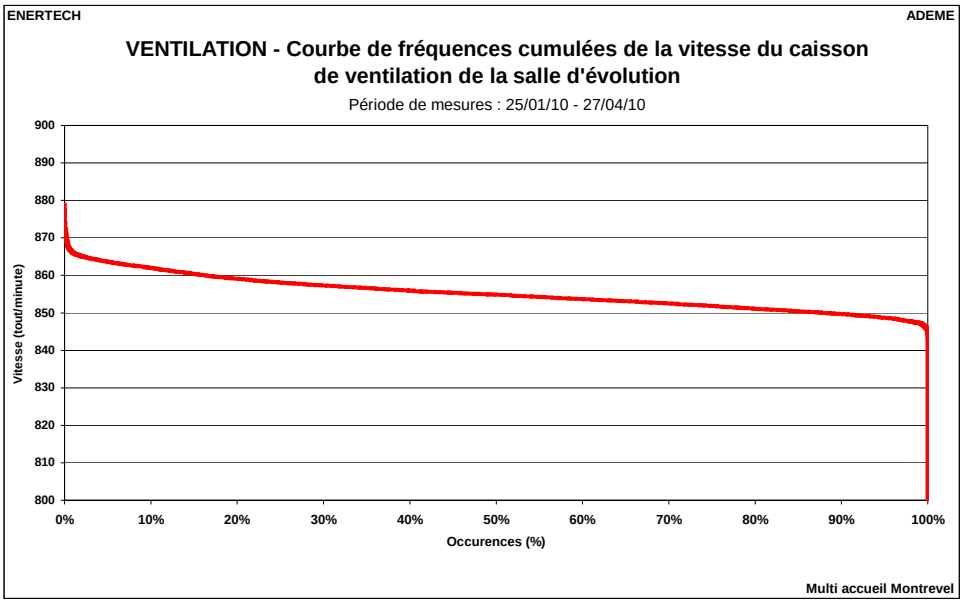


Figure 5.26 : Fréquences cumulées de la vitesse de la turbine du caisson de la salle d'évolution

5.3.4 Etude de l'efficacité de la surventilation

La figure 5.27 représente l'écart des températures intérieures moyennes entre l'heure précédant et l'heure suivant la mise en route de la surventilation. Dans 54% des cas, la température est supérieure après mise en route de la surventilation ! Le dispositif réchauffe donc le bâtiment… Même les cas où il fonctionne comme prévu l'écart de température est faible et ne dépasse jamais 0,5°C.

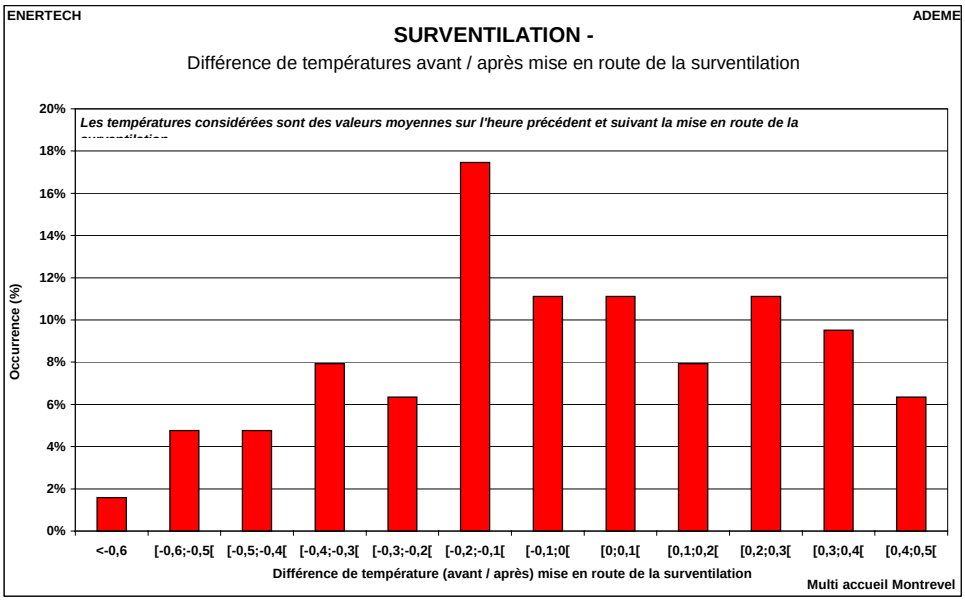


Figure 5.27 : Différence de températures intérieures avant et après mise en route de la surventilation

Dans 57% des cas la surventilation se met en route alors que la température extérieure est supérieure à l'ambiance. Dans un cas, on note un écart de près de 8°C au moment de la mise en route. Cependant le débit de surventilation n'est pas très important car on relève alors une augmentation de seulement 0,16°C entre l'heure précédent et l'heure suivant la mise en route du dispositif.

La figure 5.28 illustre aussi la faible efficacité actuelle du dispositif. On a représenté les températures intérieures et extérieures, ainsi que l'état de la ventilation pour une journée avec et sans surventilation. L'évolution des températures ambiantes ne diffère pas. Le faible écart après la mise en route de la surventilation s'explique probablement par une température extérieure inférieure.

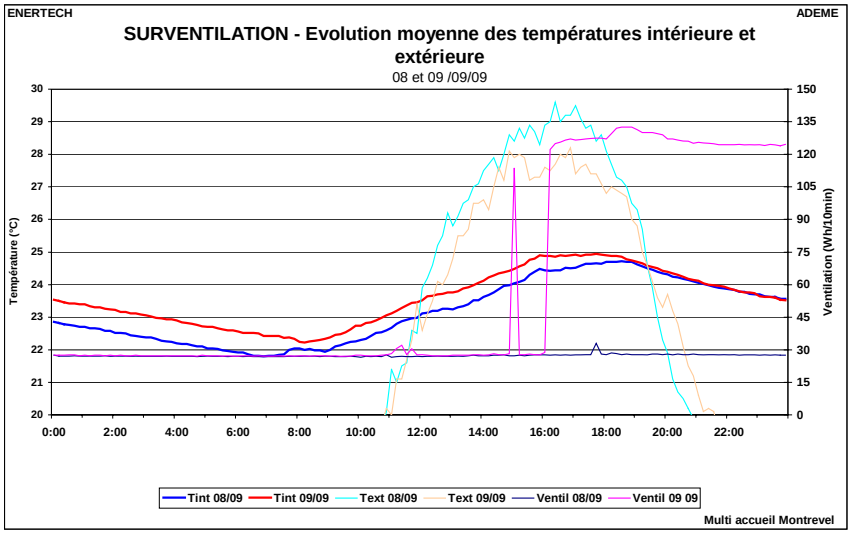


Figure 5.28 : Analyse qualitative de l'efficacité de la surventilation

On verra par la suite que la consommation électrique de cet usage est importante alors qu'inutile.

5.4 CHAUFFAGE

5.4.1 Rappel concernant l'installation

Production de chaleur par chaudière gaz à condensation. Emission par planchers chauffants régulés indépendamment par une vanne deux voies commandée par un thermostat d'ambiance dans chaque pièce. On ne peut pas brider la température de consigne.

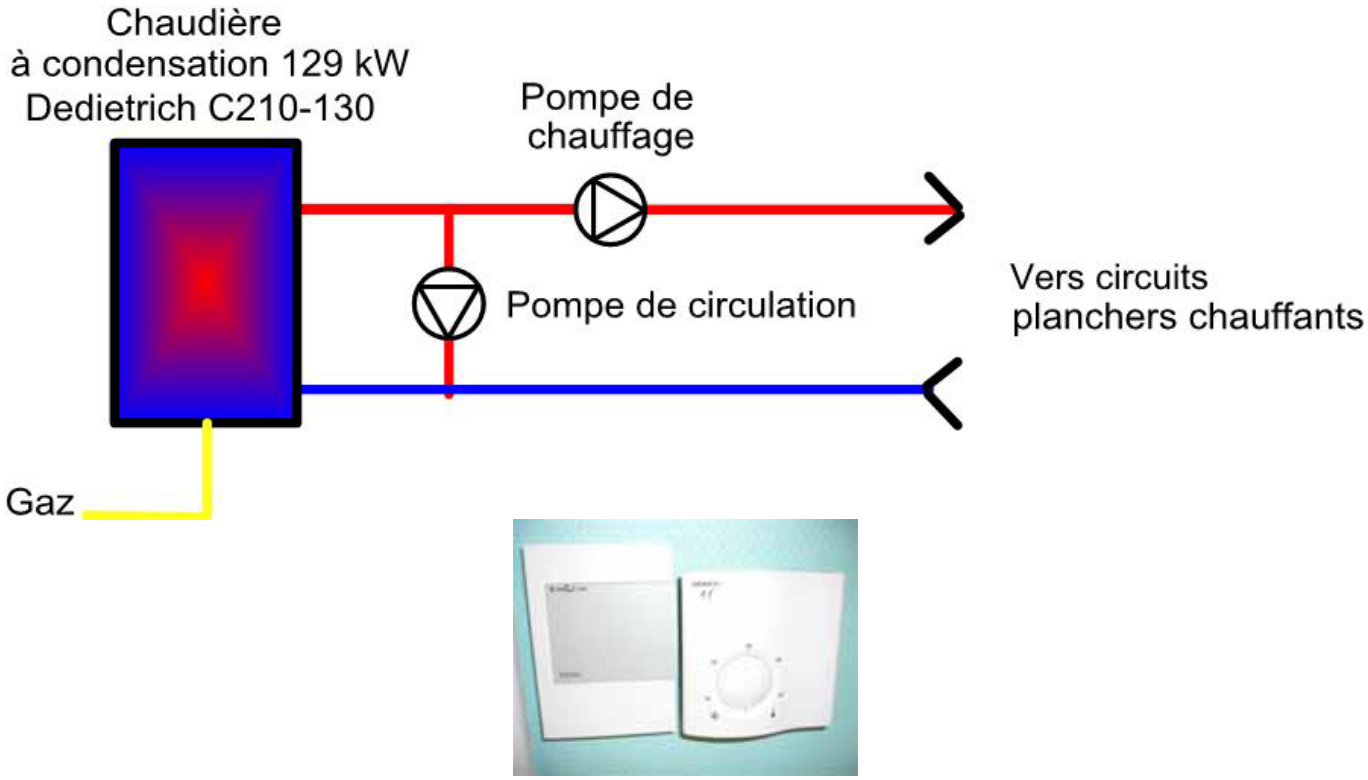


Figure 5.29 : Schéma de principe de l'installation de chauffage et photographie d'un thermostat d'ambiance et d'une sonde CO_2 (salle d'évolution du centre de loisirs)

5.4.2 Durée réelle de la saison de chauffage

La méthode conventionnelle de calcul de la durée de la saison de chauffe utilise les températures extérieures moyennes mensuelles trentenaires. Les dates de début et de fin de saison de chauffe sont alors obtenues aux dates ou ces données trentenaires croisent la température de 13°C (la température de 13°C est considérée comme la température moyenne journalière de non chauffage). Avec cette méthode de calcul appliquée aux données fournies par Météonorm de Macon (données disponibles les plus proches du site), on obtient le 27 septembre et le 20 mai comme début et fin de la saison de chauffe , soit une durée de **235 jours**.

Si on considère que la période de chauffage commence à l'allumage de la chaudière (21/09/09) et se termine à son extinction (15/05/10), la durée est pratiquement identique (**236 jours)**. Les degrés jours de base 18 sur cette période s'élèvent à 2428, soit 11% de moins que ceux obtenus à partir du fichier Météonorm (2717). La saison de chauffage étudiée est donc plutôt clémente.

5.4.3 Consommation annuelle

La consommation d'**énergie gaz** est de 129 035 kWh $_{pcs}$/an. Cette consommation représente donc **76,9 kWh/m²$_{SU}$.an**. La consommation annuelle (**besoins** au niveau du compteur de chaleur) du bâtiment est de 126 270 kWh/an soit une consommation surfacique de **75,2 kWh/m²$_{SU}$.an**. Cette consommation paraît élevé pour un bâtiment performant à usage intermittent, en particulier pour un hiver plutôt doux (DJU base 18 inférieurs de 11% aux données trentenaires).

Le graphique de la figure 5.30 représente l'évolution mensuelle de la consommation annuelle.

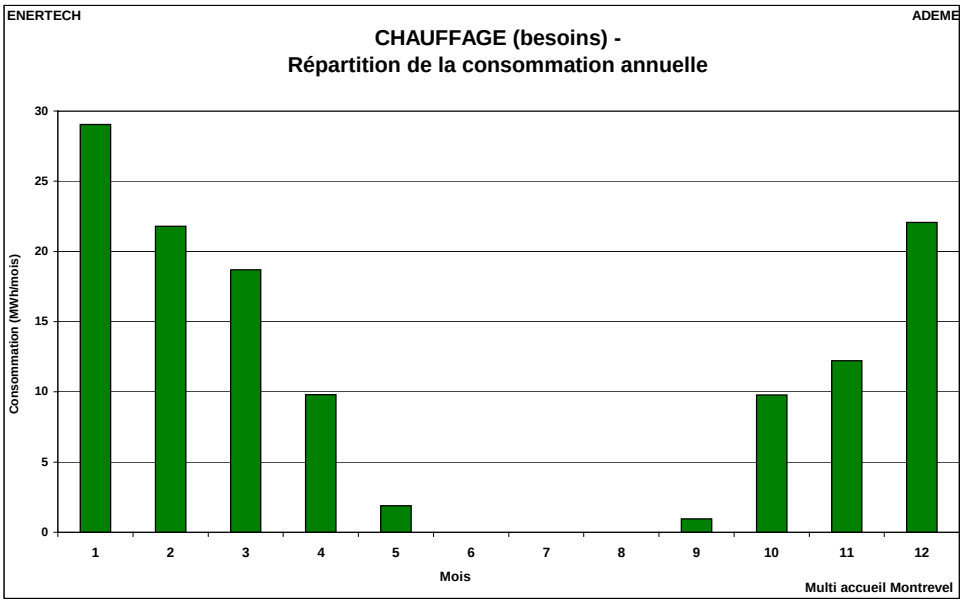


Figure 5.30 : Répartition de la consommation annuelle de chauffage (énergie utile)

5.4.4 Efficacité de la régulation

La figure 5.31 représente la température de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure. Afin d'obtenir des valeurs stabilisées, les températures utilisées sont des moyennes horaires. On obtient ainsi la loi d'eau « mesurée » que l'on peut comparer à la loi théorique issue de la conception et du cahier des charges.

Dans le CCTP la loi de régulation est :

- Température départ d'eau pour T_{ext} = 20°C : T_d = 20°C
- Pente de régulation : 0,8 ce qui signifie que la relation entre T_{ext} et T_d s'écrit :

  $T_d = - 0,8 * T_{ext} + 36$ [°C] soit T_d = **44°C** pour T_{ext} = - 10°C

Les mesures montrent que la loi de chauffe paramétrée est sensiblement la même que la loi théorique pour les températures extérieures inférieures à 12°C, mais qu'au-delà de cette valeur les températures de départ sont constantes autour de 30°C, ce qui constitue une anomalie importante et conduit irrémédiablement à des surchauffes, donc à des surconsommations, en mi-saison.

Le réglage de l'installation correspond à des besoins proches de 65 W/m² (avec un ΔT = (40 – 35)/2 – 21,1) et un coefficient d'échange superficiel de 4 W/m²°C) mais cela paraît élevé pour un bâtiment en principe performant.

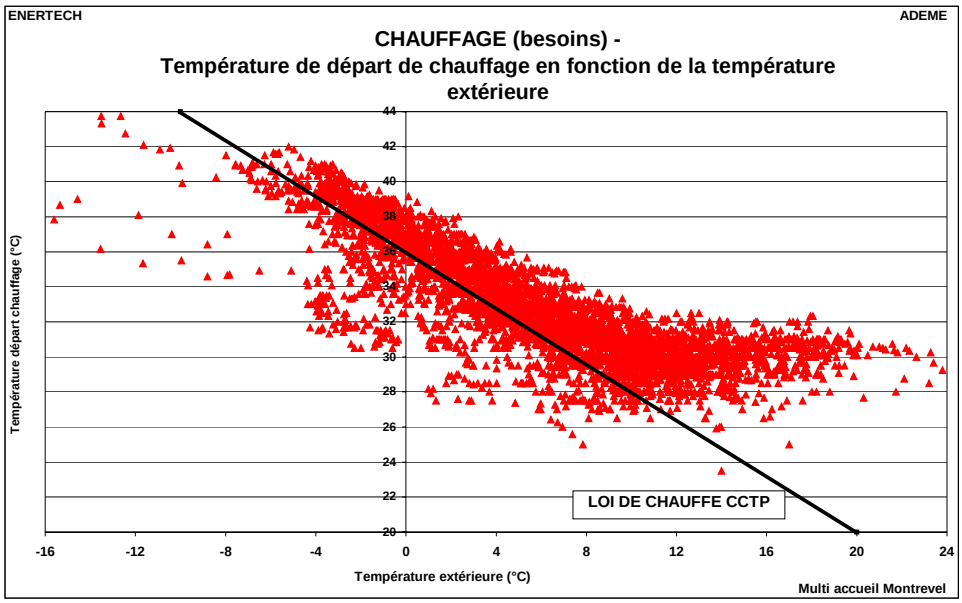


Figure 5.31 : Température de départ de chauffage en fonction de la température extérieure

La figure 5.32 représente les courbes de charge hebdomadaires des températures de départ et de retour du circuit chauffage au mois de janvier 2010. On constate qu'il n'y a pas de programmation horaire les jours ouvrés à cette période. On observe simplement un ralenti du samedi 18:30 au dimanche 23:50. La programmation est donc entièrement à revoir.

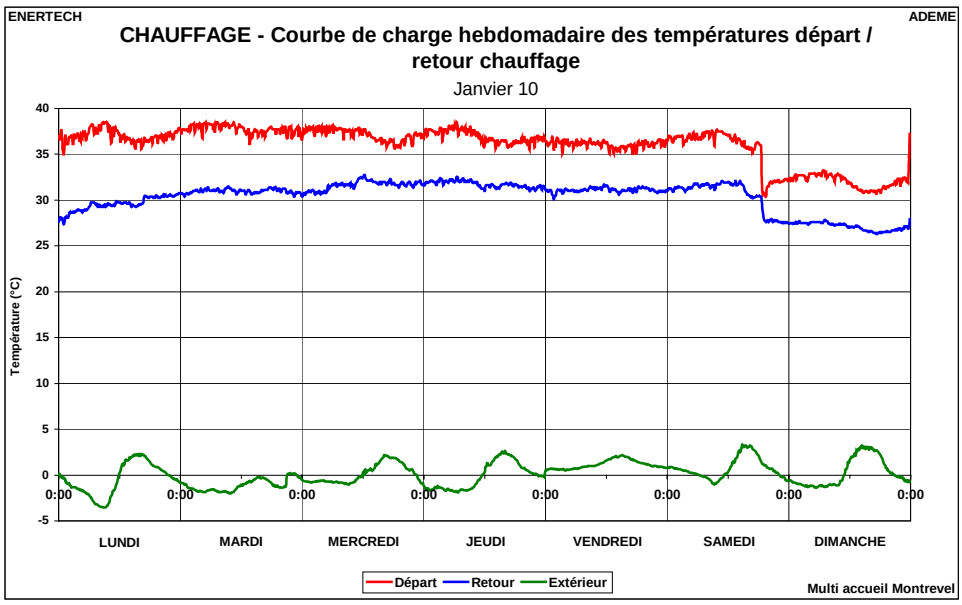


Figure 5.32 : Courbe de charge hebdomadaire des températures départ/retour chauffage – Janvier 2010

La figure 5.33 précise le mode de fonctionnement quotidien : les besoins de chauffage baissent bien sûr lorsque la température extérieure augmente. En fin de nuit on observe la relance du chauffage ou l'adaptation à une température extérieure plus basse. Puis au cours de la journée, la consommation de

chauffage diminue sous l'influence des apports internes et de la remonter de la température extérieure. Ce résultat est obtenu grâce à la loi d'eau d'une part et probablement grâce au fonctionnement qui semble correct de la régulation terminale d'autre part.

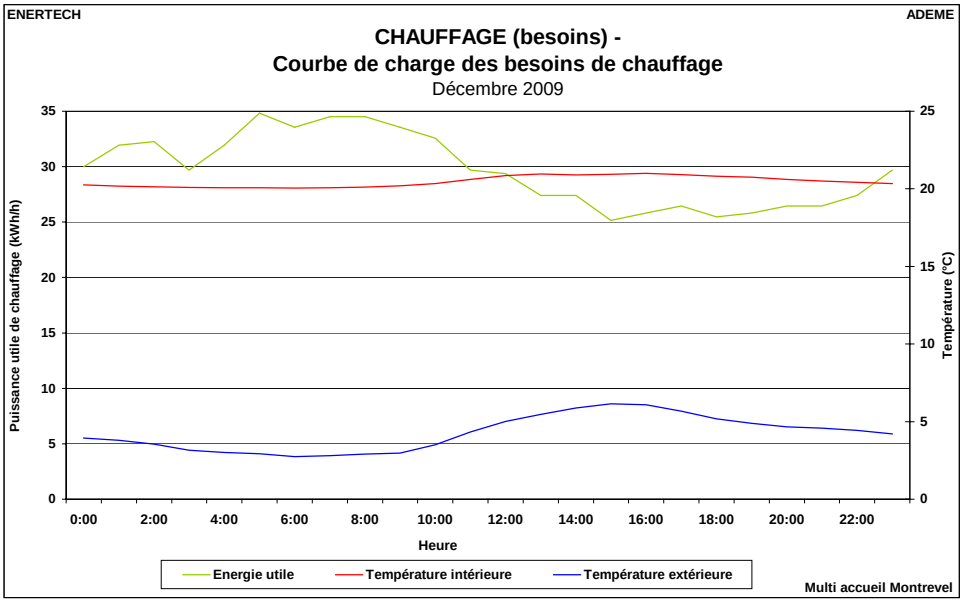


Figure 5.33 : Courbe de charge des besoins de chauffage, des températures extérieure et intérieures – décembre 2009

Le fait qu'il y ait une différence de température intérieure entre les périodes ouvrées et non ouvrées (écart de 0,7°C, cf graphique de la figure 5.8), alors qu'il n'y a pas de programmation horaire illustre le fait qu'en période d'occupation, à cause de l'importance des apports internes, la régulation du plancher chauffant coupe le chauffage, mais les apports continuent à faire monter la température dans les locaux, ce qui conduit à une température mesurée relativement importante. En revanche, en période d'inoccupation ce phénomène n'a pas lieu et la valeur mesurée doit en principe correspondre à la valeur de consigne.

Le fait qu'il n'y ait ni programmation horaire, ni optimiseur (gestion « intelligente » de la mise en route et arrêt du chauffage en fonction des caractéristiques du bâtiment, des températures extérieure et intérieure), ni fonction ECO (arrêt de la pompe de chauffage lorsque la température extérieure de non chauffage est atteinte), ni ralenti de nuit conduit à ce que **69% de l'énergie de chauffage** soit **consommée en dehors des heures ouvrées**. Bien-sûr même avec une programmation parfaite une part importante de l'énergie serait consommée lors de la relance, donc en dehors des heures ouvrées mais globalement la consommation serait considérablement réduite.

Notons qu'il était prévu dans le CCTP l'installation de thermostats équipés d'horloge journalière / hebdomadaire. Cette disposition aurait permis de réduire la température et donc la consommation en période d'inoccupation.

5.4.5 Fréquences cumulées des puissances utiles produites

La chaudière installée est un modèle à condensation (De Dietrich C210-130 Eco) présentant une plage de puissance pour un régime 40/30°C de 13,5 à 129 kW, soit une valeur spécifique maximum de **77W/m²$_{SU}$**. La puissance installée est supérieure de 30 % à celle figurant au CCTP (100 kW). C'est très dommage, car une surpuissance de 30 % coûtent évidemment plus cher au maître d'ouvrage mais a également l'inconvénient de dégrader bien souvent le rendement annuel d'exploitation (ce qui n'est pas le

cas ici comme on va le voir). Car aux faibles taux de charge le rendement de la plupart des générateurs a tendance à chuter.

Le taux de charge d'une chaudière est le rapport de sa puissance (à charge partielle) à sa puissance maximale, ou de l'énergie réellement fournie dans un intervalle de temps, à l'énergie qui aurait été 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. Il faut savoir que :

- Le rendement d'une chaudière « classique » (c'est à dire sans modulation de puissance) 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 dont la puissance peut varier de 10 à 100 % de sa valeur maximale. Le rendement annoncé est même un peu meilleur à 10 % de charge qu'à 100 %. Cependant, pour les puissances inférieures à sa puissance minimum (soit 10% de la puissance maximale), elle fonctionne comme une chaudières « classique », avec de nombreux démarrages/arrêts, si bien qu'on pourrait s'attendre à voir son rendement chuter de façon marquée. On verra dans le paragraphe suivant que ce n'est pas le cas.

L'analyse des puissances appelées à 10 minutes montre que la puissance maximale (120 kW) a été atteinte moins de 2 heures sur toute la période de mesures. Lorsqu'on fait la même analyse au pas de temps de l'heure, on dépasse 60 kW (soit 50% de la puissance maximale installée) uniquement 1,5% de la saison de chauffage, c'est à dire au total 85h ! Or les bâtiments performants actuels ont une « constante de temps » très élevée (ce qui traduit une très bonne isolation, et un stockage interne d'énergie dans les planchers), si bien qu'on peut arrêter le chauffage plusieurs heures sans que cela modifie le niveau de température dans le bâtiment. De cette observation il faut tirer la conclusion qu'*a contrario*, on peut piloter les installations de chauffage avec des puissances de pointe, donc des puissances installées, beaucoup plus faibles et beaucoup moins chères que ce qui se faisait par le passé. Même les réseaux et les émetteurs pourraient être redimensionnés à la baisse et coûter moins cher.

Le **taux de charge moyen** de cette chaudière sur la saison de chauffage est de **17%. En ramenant à 60 kW la puissance installée, ce taux moyen n'aurait encore été que de 34%.**

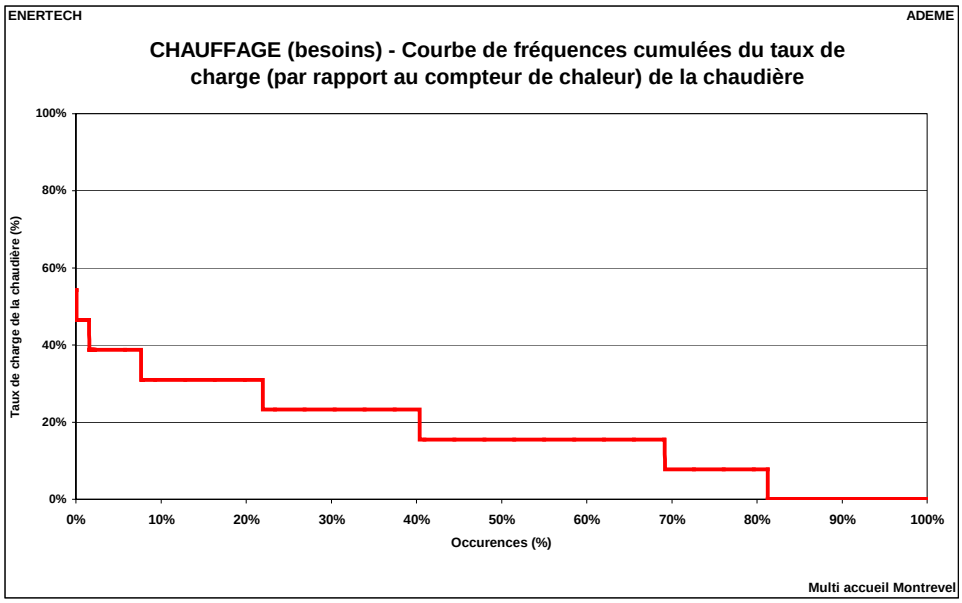


Figure 5.34 : Courbe de fréquences cumulées du taux de charge de la chaudière calculé au pas de temps de l'heure

5.4.6 Etude du rendement de génération

Le rendement de génération est le rapport de l'énergie utile en sortie de chaudière, à l'énergie primaire en entrée. Le compteur de chaleur que nous utilisons est sur le réseau de chauffage, si bien que le rendement de « génération » mesuré inclut aussi les pertes entre le générateur et le réseau de chauffage.

Le rendement annuel de génération est de 97 % sur pcs ce qui est excellent et très supérieur à ce qu'on observe généralement. Cela s'explique en partie par l'absence de boucle primaire (cf. figure 5.35), synonyme d'importants volumes d'eau à réchauffer à chaque démarrage/arrêt de l'installation. Les pertes de génération sont donc essentiellement celles de la chaudière. Il faut également rappeler qu'il y a une incertitude sur le résultat du fait des erreurs de mesures des consommations amont (gaz) et aval (chaleur) de la chaudière ainsi que sur le facteur de conversion des m^3 de gaz en kWh_{PCS} donné sur les factures. Il se peut donc que ce rendement de génération soit légèrement majoré.

Figure 5.35 : Photographie de l'installation de production de chaleur

La figure 5.36 met en évidence que le rendement varie peu au cours de la saison de chauffage. Il est un peu meilleur en novembre et décembre, à charge élevée, et un peu plus faible en avril, à charge partielle, ce qui est normal. Mais ce graphique montre que la chaudière utilisée a d'excellentes caractéristiques à charge partielle, preuve que la technologie progresse de façon très significative.

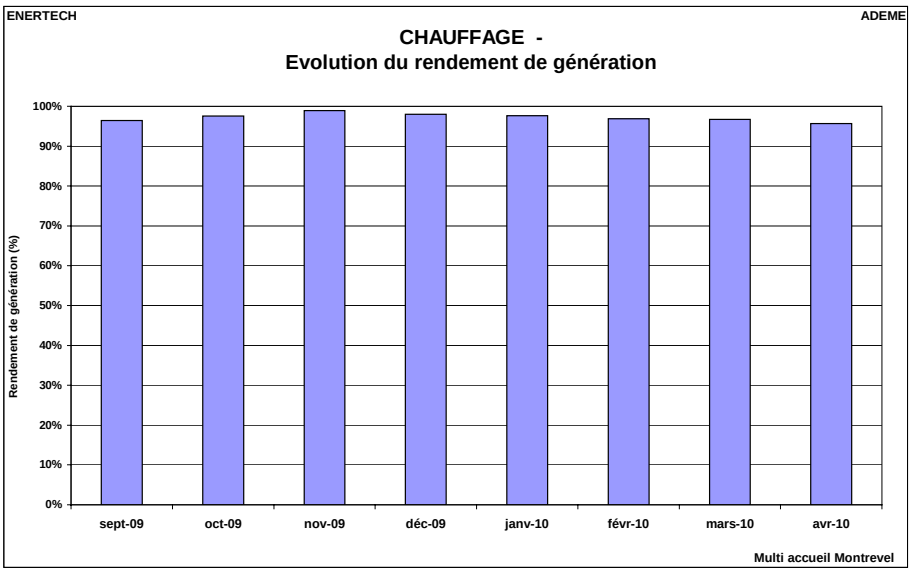


Figure 5.36 : Evolution du rendement de génération au cours de la période de mesures

La figure 5.37 représente, à l'échelle journalière, le rendement de génération en fonction du taux de charge. Ce dernier ne dépasse jamais 42%, ce qui est peu. Il semble exister une relation logarithmique entre les deux grandeurs. On observe que pour les taux de charge très faibles, il existe une très grande dispersion des valeurs pouvant être aussi bien inférieures à 90% (ce qui reste très élevé !) que supérieures à ….100%. Ce qui est bien sûr impossible, et il s'agit là d'un phénomène de caractère purement métrologique : la connaissance du pouvoir calorifique du gaz par GdF reste relativement empirique, bien que cela soit un élément de facturation….Mais elle ne nous est pas non plus fournie au pas de l'heure et elle varie sensiblement au cours d'un mois, ce qui explique les écarts que nous observons.

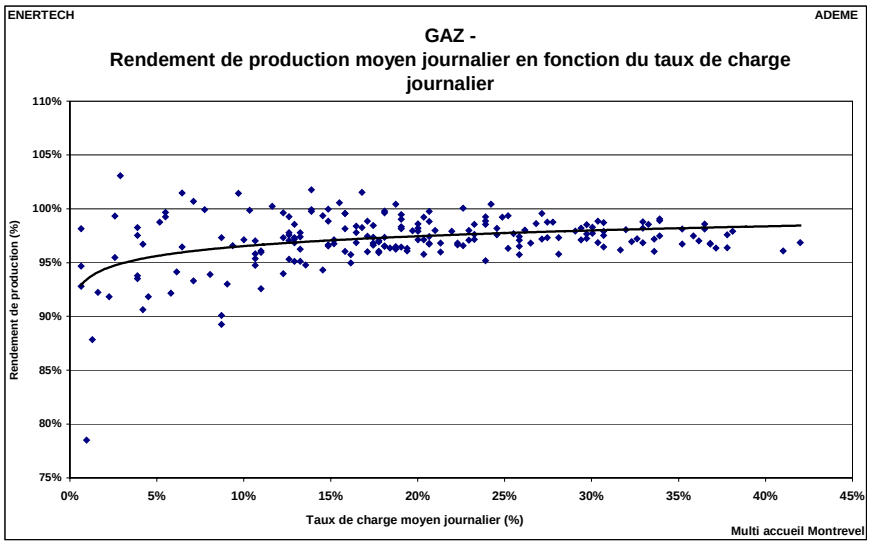


Figure 5.37 : Rendement de production moyen journalier en fonction du taux de charge journalier

5.4.7 Déperditions réelles du bâtiment

La figure 5.38 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur. Cette représentation permet d'évaluer les déperditions des bâtiments (elles sont proportionnelles à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur). Le gain de température intérieure dû aux apports gratuits est d'environ 4°C. Les déperditions du bâtiment sont de l'ordre de 1,3 W/m²$_{SU}$/°C. **La puissance nécessaire à la température de base est de 35 W/ m²$_{SU}$ soit 2,2 fois moins que la puissance installée**.

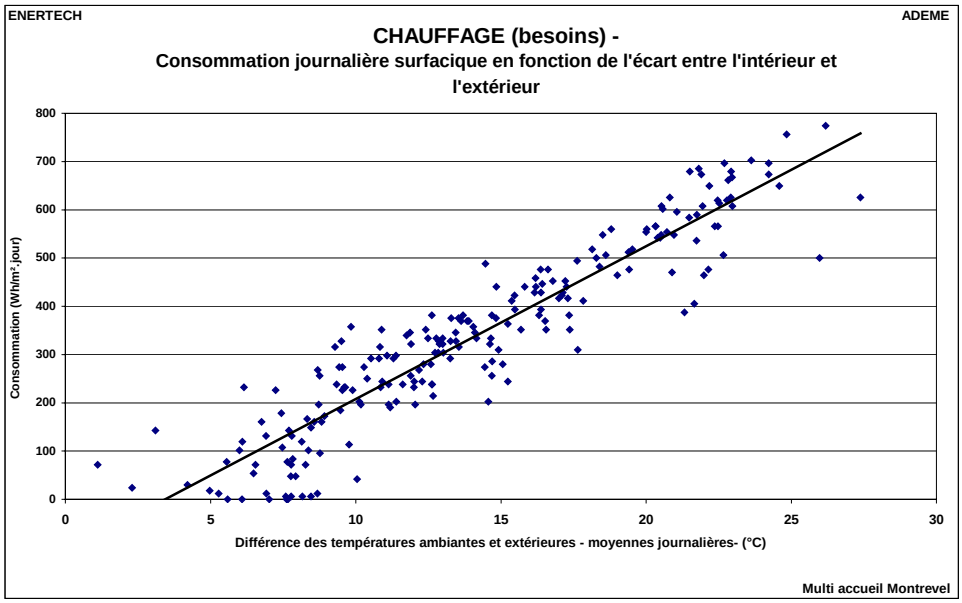


Figure 5.38 : Consommation journalière surfacique en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures/extérieures

5.5 ETUDE DU PUITS CANADIEN

Le puits canadien se compose de 5 canalisations de 60 cm de diamètre, situées à 1 mètre 40 sous le bâtiment. Sa longueur totale est de 66 mètres. La prise d'air se fait au niveau de l'entrée du bâtiment exposé nord. Le collecteur d'où partent les 5 canalisations est très humide comme en atteste la photographie centrale de la figure 5.39.

Figure 5.39 : Photographie du puits canadien – Gauche prise d'air (niveau entrée façade nord), centre canalisation, droite collecteur des 5 canalisations

Il n'y a pas de ventilateur de soufflage. Le principe est que l'air extérieur passe par le puits canadien puis est distribué dans les divers locaux de la crèche et du centre de loisirs. Les trois caissons d'extraction assurent la mise en dépression du bâtiment. Le bon fonctionnement du dispositif demande une étanchéité à l'air parfaite de l'enveloppe (pas de fuite, pas de porte ni de fenêtre ouverte…) ainsi qu'un dimensionnement des caissons d'extraction permettant de compenser les pertes de charges du puits canadien. Les mesures instantanées réalisées à l'entrée des canalisations lorsque les caissons d'extraction étaient en vitesse normale donnent un débit nul ce qui signifie qu'il n'y avait pas de circulation d'air dans le puits canadien et qu'il n'y avait donc pas de récupération d'énergie du sol au moment de la mesure. Rappelons qu'il suffit que le dispositif ne fonctionne pas si des portes sont ouvertes…

Le graphique de la figure 5.40 qui représente l'évolution des températures moyennes journalières d'entrée et de sortie du puits canadien au cours de l'année confirme ces observations :

- La température de sortie au niveau de la salle des petits est le reflet de la température intérieure dans le local. Il n'y a probablement pas ou peu de circulation d'air depuis le puits canadien vers cette salle.
- La température de sortie au niveau de la salle de psychomotricité présente un profil plus proche de celui de l'entrée que celui du local petits. Le système fonctionne peut-être mieux du fait d'ouvertures moins fréquentes de la porte donnant sur l'extérieur de ce local.

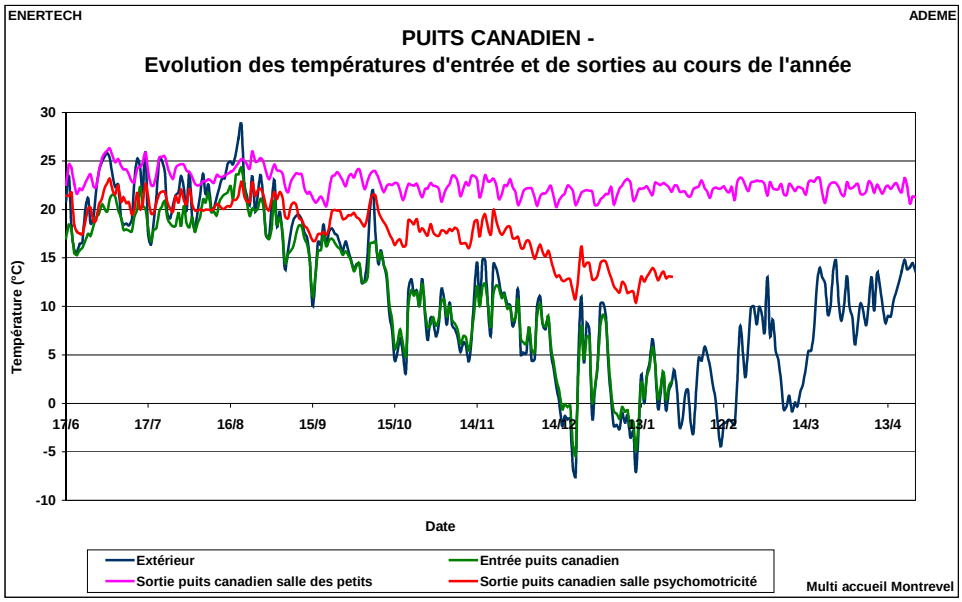


Figure 5.40 : Températures moyennes journalières à l'entrée et à la sortie du puits canadien

Les figures 5.41 et 5.42 représentent l'évolution des températures d'entrée et sorties du puits canadien pour deux journées types où la surventilation s'est mise en route.

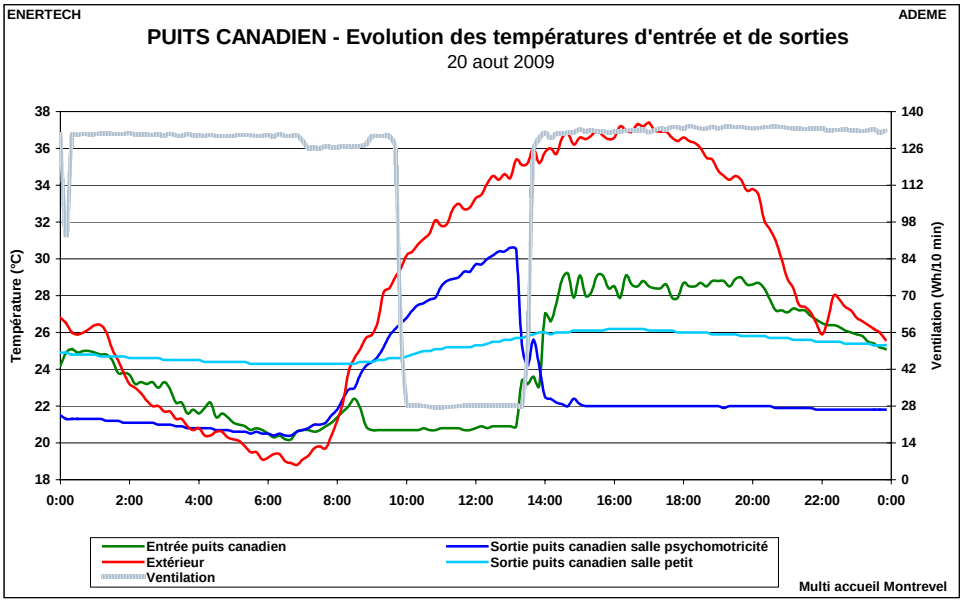


Figure 5.41 : Evolution des températures d'entrée et de sortie du puits canadien le 20/08 avec fonctionnement de la surventilation

Le 20 août la surventilation se met en route vers 14 heures alors qu'il commence à faire très chaud dehors et à l'intérieur des locaux. On observe immédiatement une augmentation (+8°C) de la température à l'entrée du puits canadien due au fait que de l'air extérieur arrive désormais en abondance, et que cet air est très chaud à cette heure-là de l'après-midi. On observe également une baisse de 8,5°C de la température à la sortie du puits canadien dans la salle de psychomotricité. Curieusement, la mise en route de la surventilation n'affecte absolument pas la température à la sortie du puits canadien de la salle des petits. Il semblerait qu'il y ait un problème sur l'alimentation aéraulique de cette salle.

A contrario, le 3 juillet le démarrage de la surventilation s'effectue vers sept heures du matin, un moment où la température extérieure est encore relativement basse. Les effets sont donc très différents de ceux de la journée du 20 août.

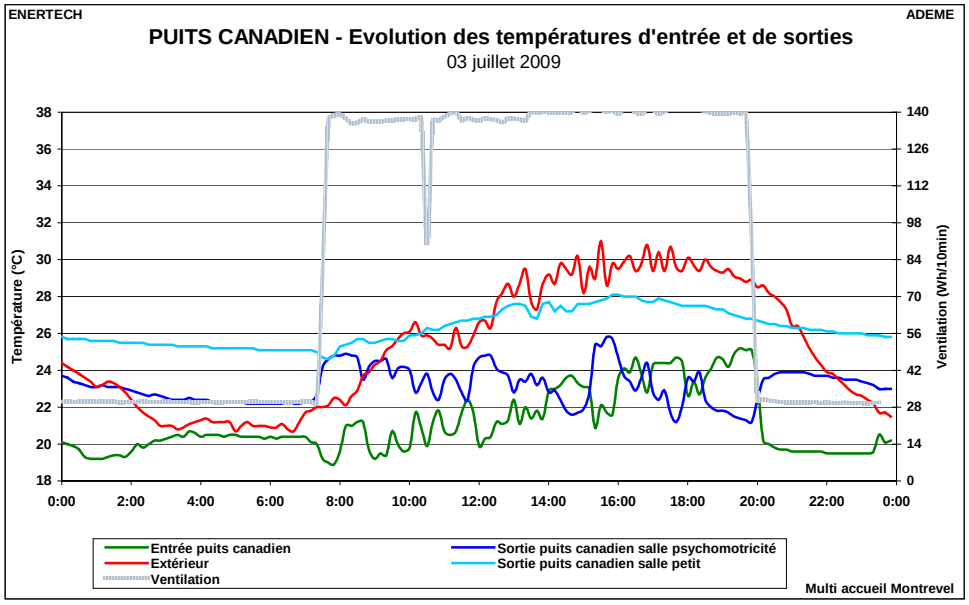


Figure 5.42 : Evolution des températures d'entrée et de sortie du puits canadien le 20/08 avec fonctionnement de la surventilation

On observe que la mise en route de la surventilation limite l'augmentation de la température à l'entrée du puits canadien, et elle stabilise, voire abaisse un peu, la température de la sortie du puits canadien dans la salle de psychomotricité. En revanche, elle ne semble à nouveau absolument pas affecter l'évolution de température de la sortie du puits canadien dans la salle des petits.

Il nous semble que le meilleur usage possible de la surventilation serait de la faire fonctionner de manière à refroidir durablement les structures du bâtiment et à offrir dès le matin des températures confortables qui le resteront une partie de la journée. Rien n'empêche en cours de journée de maintenir cette ventilation. Cependant, il faut alors s'assurer que l'ensemble des ouvrants sont bien fermés afin que l'air neuf pénètre bien dans le bâtiment <u>uniquement</u> via le puits canadien. Cela semble assez délicat à réaliser…

5.6 ELECTRICITE

5.6.1 Analyse de la facture

Le pôle multi accueil souscrit un abonnement tarif jaune de 66 kVA. En 2009, la facture d'électricité (hors frais divers) s'élevait à 4 630 euros H.T., dont 28% pour la prime fixe d'abonnement.

5.6.2 Structure par usage de la consommation électrique et de la pointe

5.6.2.1 Structure de la consommation

La consommation annuelle d'électricité, tous usages confondus, s'élève à 54 684 $kWh_{élec}$/an, soit **32,6 $kWh_{élec}/an/m^2_{SU}$.**

La figure 5.43 représente la structure de la consommation d'électricité par usage. Plus du tiers de la consommation électrique correspond à l'éclairage. Le second poste de consommation, qui correspond à près du quart du total, est affecté aux appareils électroménagers (lave-linge, sèche-linge, cuisson, froid…).

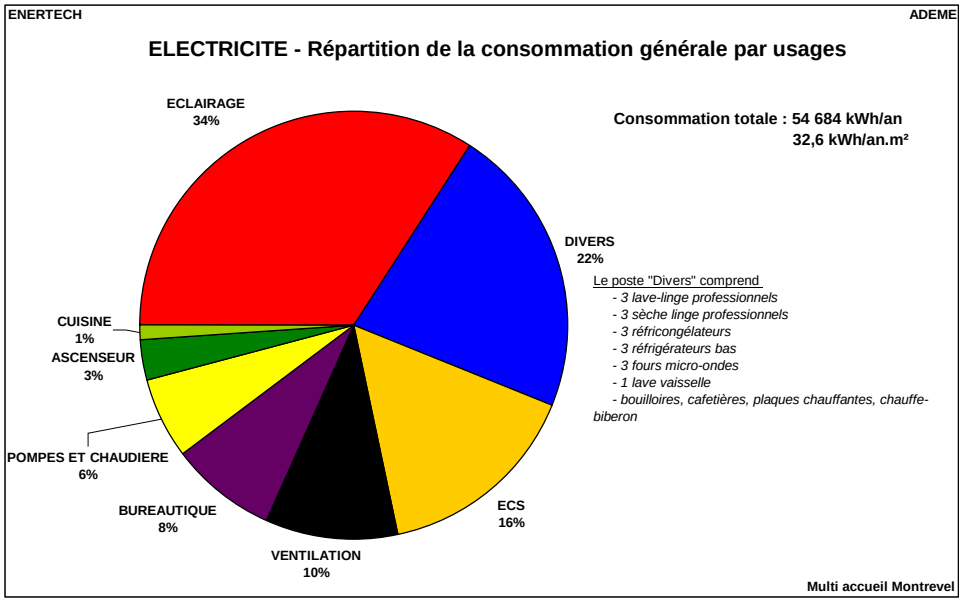


Figure 5.43 : Structure de la consommation d'électricité par usage

5.6.2.2 Part de la consommation par usage en période d'occupation et d'inoccupation

La figure 5.44 montre que **57 % de la consommation d'électricité (tous usages confondus) a lieu en période d'occupation du bâtiment (du lundi au vendredi de 7H30 à 18H30, hors vacances et jours fériés)**.

Ce résultat est une bonne surprise en comparaison avec l'ensemble des bâtiments tertiaires suivis au cours des dernières campagnes de mesures pour lesquels la consommation hors occupation est toujours supérieure à celle mesurée lorsque les locaux sont occupés. Cela tient probablement à la structure de la consommation liée à l'activité pratiquée (accueil d'enfants). En effet comme on l'a vu dans le paragraphe précédent les deux postes majeurs sont l'éclairage et l'électroménager (poste appelé ici « non suivi », divers, cuisine) qui fonctionnent majoritairement pendant les heures d'occupation.

On remarque cependant de façon très surprenante que **43% de la consommation d'éclairage a lieu lorsque le bâtiment est vide**, dont 20% est de façon logique (mais certainement de manière excessive !) affecté à l'éclairage extérieur, ce qui signifie que près du quart de la consommation globale de cet usage correspond à l'éclairage intérieur du bâtiment vide. C'est surprenant car pratiquement l'ensemble des circuits d'éclairage est piloté par détecteur de présence et sonde crépusculaire. Il conviendrait donc de vérifier que ces systèmes de pilotage sont bien opérationnels.

Enfin comme dans la majorité des bâtiments tertiaires actuels, la part de la consommation en période d'inoccupation des usages bureautique, ventilation, pompes, chaudière, ascenseur est la plus importante. Ceci se vérifie tout particulièrement pour la ventilation du fait de l'activation dans ce bâtiment d'une surventilation nocturne estivale.

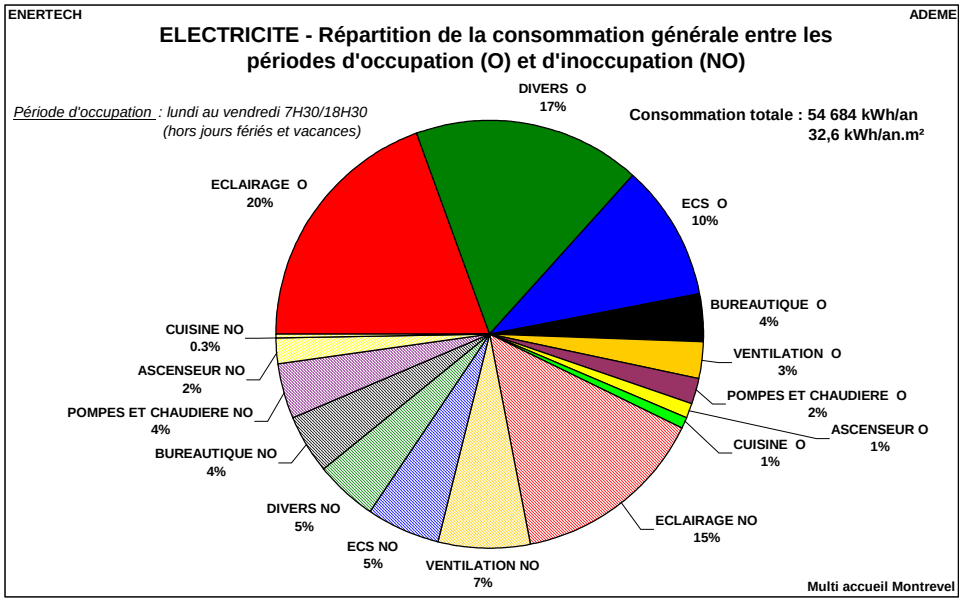


Figure 5.44 : Part de la consommation d'électricité par usage en distinguant périodes d'occupation et d'inoccupation

La figure 5.45 représente les courbes de charge du comptage général EDF les jours ouvrés et non ouvrés. On observe pour les jours ouvrés un talon de puissance nocturne de l'ordre de 4 kW soit environ un tiers de la puissance moyenne maximale appelée. La puissance est maximale en milieu de matinée (9 et 10 heures) et fin d'après midi (16 heures). Pour les jours non ouvrés le talon se situe en cours de journée et n'est que de 3 kW. En revanche il est durant la nuit de 4 kW, la différence étant due à l'éclairage extérieur.

Il est étonnant que l'on rencontre encore de telle puissance alors que les bâtiments ne sont pas occupés. Certes l'éclairage extérieur est une nécessité, mais l'est-il vraiment toute la nuit ? Ne pourrait-on pas le mettre en marche le soir, puis l'arrêter durant la nuit, et le remettre en route le matin si nécessaire ? La bureautique devrait être stoppée intégralement tous les soirs (nous le faisons dans nos bureaux, inclus le serveur), etc. De très sensibles économies d'électricité sont possibles dans ce bâtiment sans qu'il soit nécessaire de dépenser un euro.

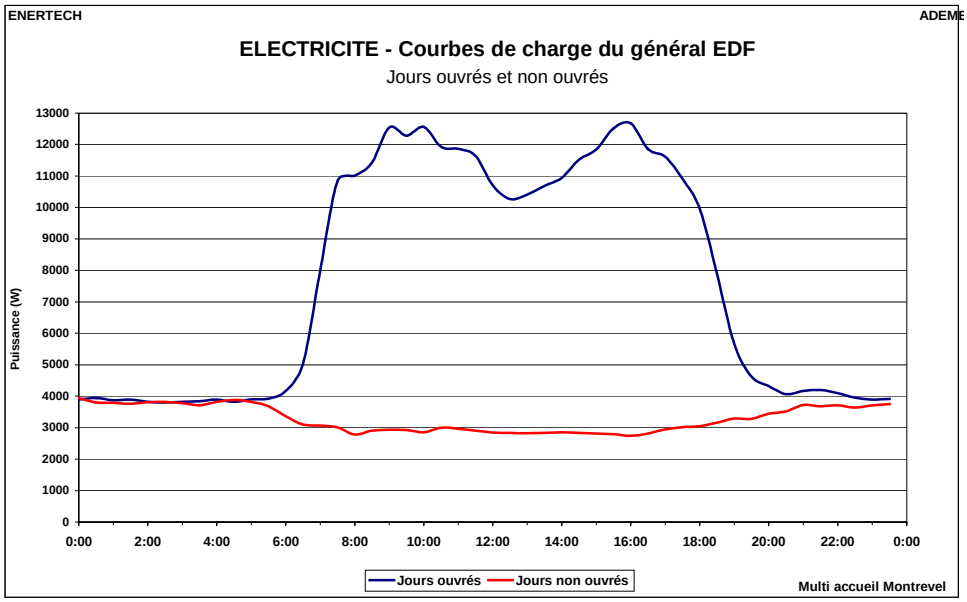


Figure 5.45 : Courbes de charge du comptage général EDF- jours ouvrés et non ouvrés

5.6.2.3 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.

La simple observation du feuillet de gestion 2009 montre que l'abonnement souscrit est très largement surdimensionné. **Cette puissance est de 66 kVA alors que la puissance n'a jamais dépassé 28 kVA !** 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. La question du choix du tarif se pose ici. En effet, un compteur tarif bleu (puissance maximale possible 36 kVA) aurait été suffisant. On aurait ainsi fait l'économie du coût de branchement tarif jaune. Il faudra au moins envisager de réduire la puissance souscrite au minium possible en tarif jaune à savoir 42 kVA.

On étudie ici la structure de la puissance appelée en pointe. Ce travail est réalisé en puissance active (kW, celle qu'on mesure) et non en puissance apparente (kVA, celle qui est facturée) car nous ne connaissons pas précisément le facteur de puissance de tous les appareils suivis. On considère les 5 appels de puissance les plus importants observés en heures pleines hiver (conformément à ce qui est fait par EDF).

La figure 5.46 représente la structure par usage de la puissance appelée lors de la pointe (5 plus importants appels de puissance). Les appareils électroménagers correspondent à près de 60% de la puissance appelée en pointe. C'est probablement la mise en route simultanée de plusieurs lave-linge et sèche-linge qui explique ce chiffre. Vient ensuite l'éclairage avec plus du quart de la puissance totale.

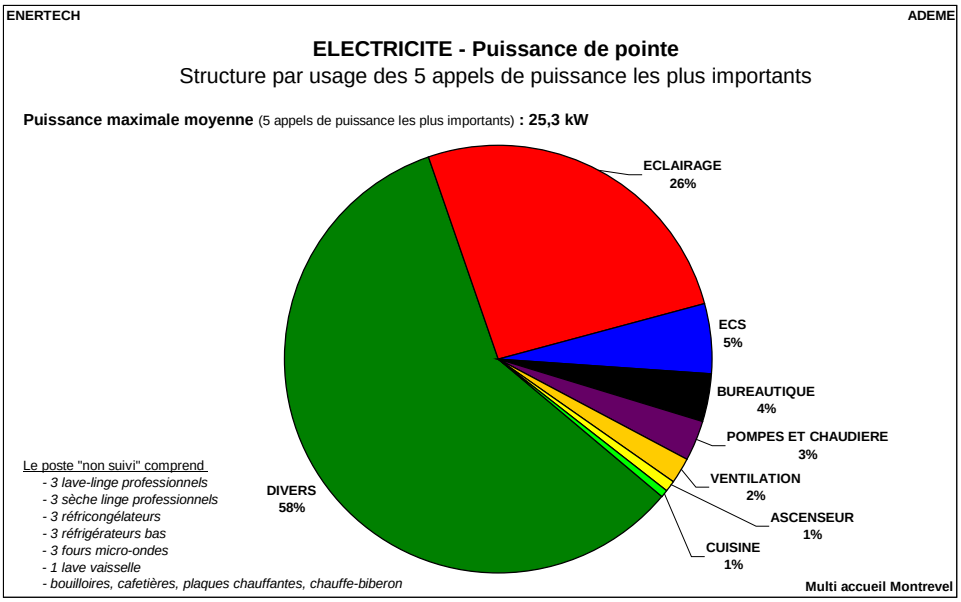


Figure 5.46 : Structure par usage des 5 appels de puissance les plus importants

Cette situation pourrait facilement être améliorée en veillant à ne pas utiliser au même moment les machines à forte puissance comme les lave-linge et sèche-linge. Peut-être serait-il possible d'étaler dans le temps leur usage ce qui permettrait une réduction de puissance et d'abonnement très conséquente.

5.6.3 Production d'électricité d'origine photovoltaïque

L'installation n'était pas raccordée au moment de l'instrumentation du bâtiment. Cette production sera donc étudiée dans le rapport de la deuxième année.

5.6.4 Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage

5.6.4.1 Eclairage

L'éclairage a été suivi à l'aide du système multivoies dans les armoires électriques. Cependant ce type de mesures ne permet pas de différencier les circuits. Or dans ce bâtiment, l'utilisation des détecteurs de présence et des cellules photosensibles a été généralisée, ce qui est une pratique nouvelle et mérite donc d'être étudié en détails. Nous avons donc complété l'instrumentation en tableaux par des mesures directes sur les foyers lumineux (à l'aide de lampemètres). Nous pouvons donc étudier en détail le mode de fonctionnement des divers circuits (couloirs, salles, bureaux…). Par faute de temps et de budget nous n'avons pas pu instrumenter l'ensemble des points lumineux mais nous avons tenté de choisir les plus représentatifs de l'installation.

La consommation totale d'éclairage est de 18 745 kWh/an (**11,2 $kWh_{el}/m^2_{surface\ utile}.an$**), soit 34% de la consommation totale d'électricité du bâtiment. Cette valeur paraît relativement élevée au regard des dispositifs installés (détecteurs de présence, cellules photosensibles, locaux largement vitrés).

L'éclairage des salles (piloté par détecteur de présence et cellule photosensible) représente 35% de la consommation. Mais la part de l'éclairage extérieur est aussi très élevée (21 % de la consommation totale d'éclairage, soit aussi 7 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment). Enfin l'éclairage de sécurité représente 12% de l'usage, soit presque autant que celui des couloirs. Notons aussi que la

consommation des sanitaires, équipés de détecteurs de présence, est très faible alors qu'on note souvent dans ces locaux des consommations élevées liées à des oublis d'extinction.

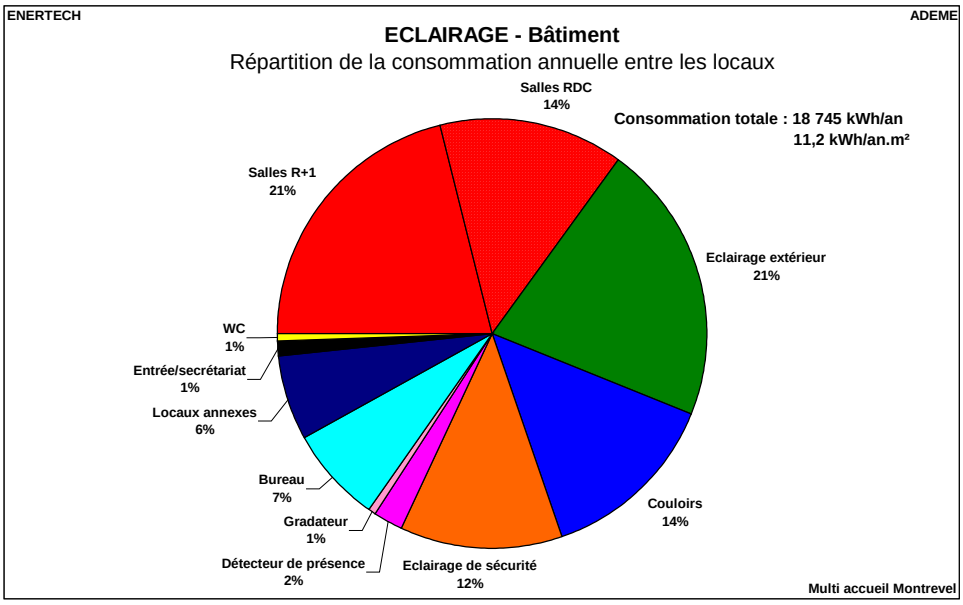


Figure 5.47 : Répartition de la consommation d'éclairage entre les différents locaux

5.6.4.1.1 Eclairage extérieur

La consommation d'éclairage extérieur s'élève à 3 966 kWh/an (**2,4 kWh$_{el}$/m²$_{SU}$/an)** et représente plus de 7% de la consommation totale du bâtiment. La puissance installée est de 900 watts. Cet éclairage est piloté par un détecteur crépusculaire et fonctionne toute la nuit. Il semble que le seuil d'arrêt soit mal réglé. En effet en décembre, ces luminaires fonctionnent jusqu'à environ 10 heures ! Il pourrait être intéressant d'ajouter une horloge pour arrêter l'éclairage en milieu de nuit.

5.6.4.1.2 Salles de la crèche et du centre de loisirs

L'ensemble des locaux d'activités de la crèche, du centre de loisirs et du RAM est éclairé de la même façon :

- Les luminaires sont des modèles performants équipés de tubes fluorescents T5 (luminaires 2x35W). La puissance installée est de l'ordre de 8 à 11W/m², ce qui est moyennement optimisé. A titre de comparaison, on parvient aujourd'hui à éclairer ce type de locaux avec des puissances de l'ordre de 6W/m².
- Leur pilotage se fait de manière totalement automatique par détection de luminosité et de présence. L'usager ne peut pas décider de l'allumage ou de l'extinction, il ne dispose pas d'interrupteur. Ce fait est d'ailleurs mal perçu par plusieurs salariés qui regrettent de ne pouvoir par exemple éteindre quand ils jugent que l'éclairage naturel est suffisant. Il devrait donc être possible d'améliorer les réglages, notamment les seuils de sensibilité, afin que les utilisateurs soient satisfaits.

Les locaux bénéficient d'un large apport d'éclairage naturel comme en atteste la photographie de la figure 5.48.

Figure 5.48 : Photographie du local des « moyens » de la crèche

Chaque entité de la crèche (petits, moyens, grands) possède deux dortoirs et des sanitaires. L'éclairage de ces locaux est piloté par des gradateurs manuels.

La consommation des diverses salles vaut 6 810 kWh/an dont 4% sont affectés aux contrôles (détecteurs de présence et gradateurs manuels). Plus de la moitié de la consommation correspond au centre de loisirs ce qui est à première vue étonnant car ces locaux ne sont occupés que de façon intermittente, contrairement à la crèche qui accueille en permanence des enfants. Cependant le centre de loisirs couvre une surface pratiquement double.

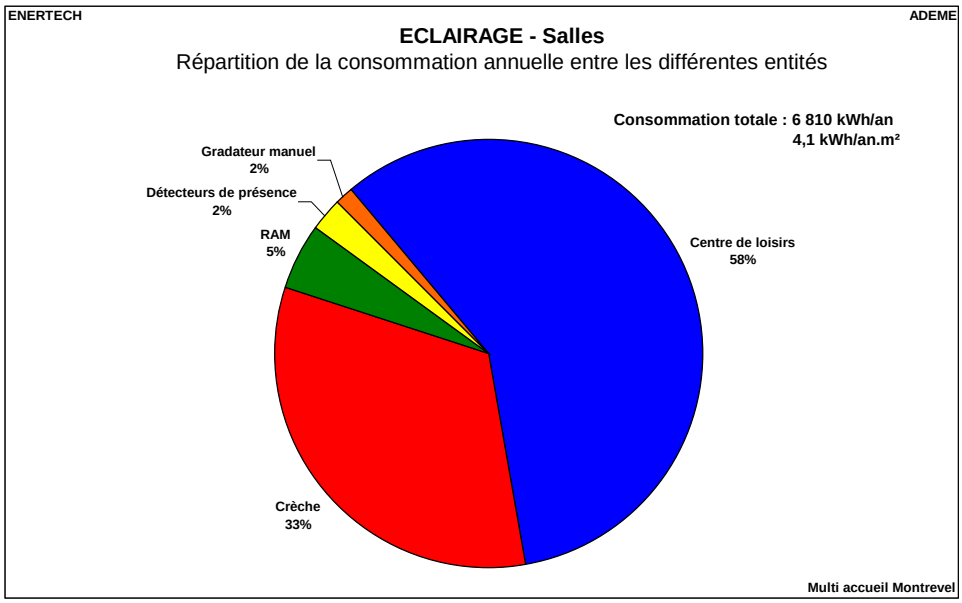


Figure 5.49 : Répartition de la consommation entre les différentes salles

La figure 5.50 décrit les variations de durée d'éclairage au cours de la période mesure. Malgré le fait que tous les locaux soient largement vitrés et que leur éclairage soit piloté par des sondes de luminosité, tous ne présentent pas les mêmes variations en fonction de l'éclairage naturel. On explique pourquoi dans les paragraphes suivants.

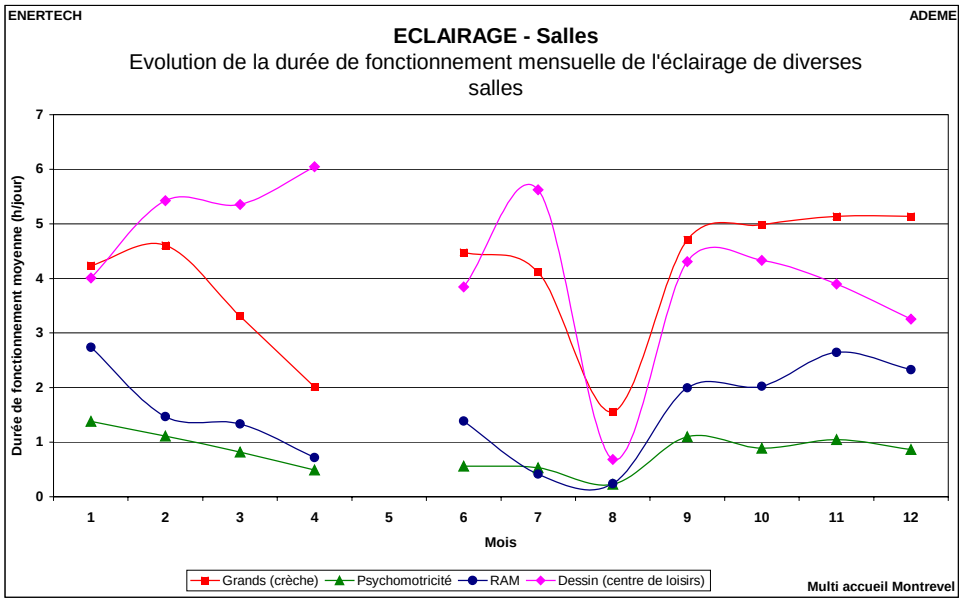


Figure 5.50 : Variation de la durée moyenne d'éclairage des salles au cours de l'année

La figure 5.51 indique le nombre d'heures de fonctionnement de plusieurs circuits d'éclairage suivis en détails. La première observation est que les dispositifs de contrôle de l'éclairage permettent de réduire la durée de fonctionnement. Ainsi, l'éclairage des pièces du centre de loisirs et de la crèche (locaux à fort taux d'occupation) représente respectivement «seulement » 56 et 54% des heures ouvrées. Ces durées sont très nettement inférieures à ce qu'on observe par exemple pour un bureau paysager, à savoir 10 heures par jour ouvrable. On peut en effet comparer ces deux types de locaux car le mode d'occupation est relativement proche : ils sont utilisés par plusieurs personnes pendant la totalité de la période d'ouverture du bâtiment.

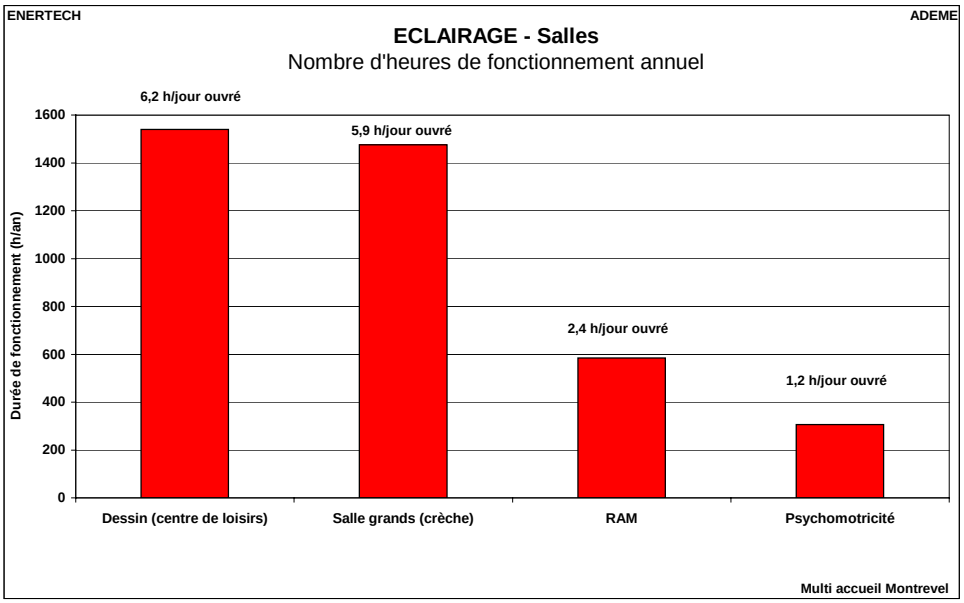


Figure 5.51 : Durées de fonctionnement annuelles des salles

Cependant, l'analyse détaillée des mesures effectuées sur les différents circuits montre :

■ **Local « Grands »** (crèche) : la figure 5.52 illustre un phénomène intéressant. On y compare les cycles d'éclairage pour deux jours distincts. On fait aussi apparaître le rayonnement solaire. Alors que globalement il y a un peu moins d'éclairage naturel le 22/03/10, les luminaires s'éteignent plus tôt le matin car vraisemblablement le local a été inoccupé pendant une durée supérieure à la temporisation du détecteur de présence. Au retour des usagers le niveau d'éclairement a dépassé le seuil d'enclenchement de l'éclairage artificiel (les luminaires restent donc éteints). Le 19/04/10 le local a probablement été occupé sans interruption tout le matin, il n'y a donc pas eu d' « initialisation » du détecteur et l'éclairage est donc resté en marche alors que l'éclairage naturel était suffisant. Il y a visiblement une seule mesure du niveau d'éclairement à la mise en route du système et non une mesure régulière qui réadapterait le niveau d'éclairement en fonction des conditions réelles. **Ainsi si le niveau d'éclairement naturel nécessite la mise en route des luminaires à l'arrivée des usagers et que ceux-ci ne quittent pas le local une durée supérieure à la temporisation du détecteur de présence, l'éclairage artificiel continue de fonctionner quel que soit le niveau d'éclairement naturel.** L'économie associée à l'utilisation de l'éclairage naturel est donc fortement diminuée par cette non réévaluation régulière des conditions d'éclairement. Heureusement la temporisation de ce détecteur de présence est relativement courte (de l'ordre de 3 minutes), ce qui permet une initialisation du détecteur dès la moindre sortie brève.

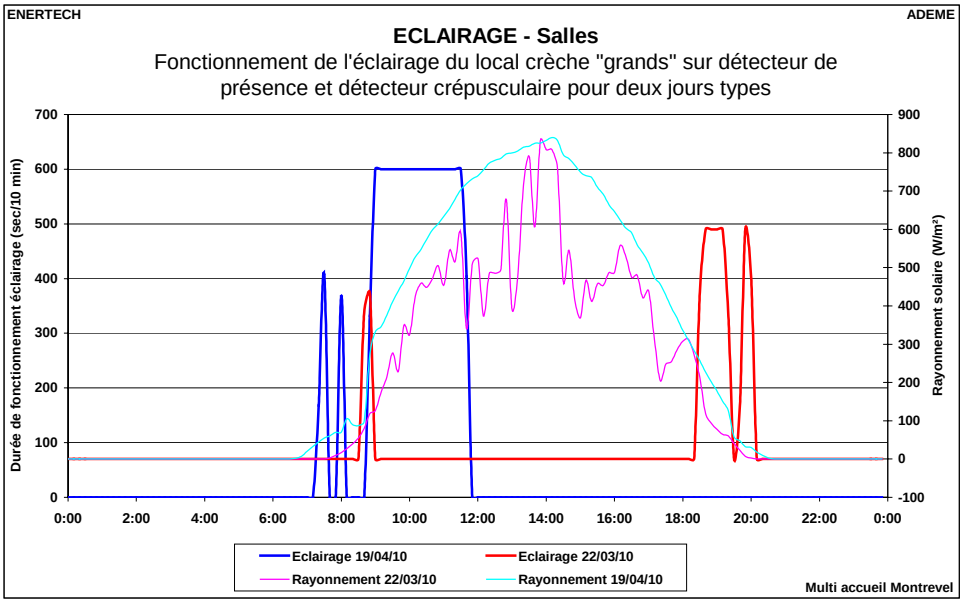


Figure 5.52 : Fonctionnement de l'éclairage du local crèche « grands » sur détecteur de présence et détecteur crépusculaire pour deux jours types

Ajoutons que la temporisation du détecteur de présence et le réglage du seuil crépusculaire ont été modifiés en cours de période de mesures, ce qui explique qu'on n'observe pas vraiment de saisonnalité.

Enfin certains utilisateurs se plaignent d'être mal détectés : il y a apparemment des coupures d'éclairage alors que le local est occupé et que l'éclairage artificiel est nécessaire. Cela se vérifie ici dans une moindre mesure : pour 11% des cycles, il s'écoule moins d'une minute avant le suivant, ce qui est synonyme de fausse détection.

■ **Salle dessin** (centre de loisirs) : il s'agit du local suivi qui présente la plus longue durée d'allumage. C'est étonnant car il est moins utilisé que le précédent et possède le même éclairage naturel. Cela s'explique par un mauvais réglage du seuil crépusculaire qui entraîne la mise en route des luminaires même lorsqu'il fait très beau. De plus la temporisation du détecteur de présence est trop longue (environ 10 minutes). On n'observe donc aucune saisonnalité sur l'éclairage de cette salle. Il parait nécessaire de reprendre le réglage de ce détecteur.

■ **Salle psychomotricité** : cet espace est mutualisé, il est moins utilisé que les deux locaux précédents. Il n'y a pas eu de modification du réglage en cours d'année, la temporisation du détecteur de présence est d'environ 2 minutes. Ne connaissant pas l'occupation de ce local, les mesures ne permettent pas de dire si le détecteur crépusculaire est bien réglé. On peut cependant penser qu'il empêche l'allumage au delà d'un certain seuil car on observe une saisonnalité de ce circuit.

■ **Salle RAM** : la temporisation du détecteur de présence est de 1 minute 30. Comme pour la salle de psychomotricité, il est difficile de juger du bon réglage du seuil crépusculaire car nous ne connaissons pas l'occupation exacte du local. On observe là aussi une saisonnalité. Le problème de mauvaise couverture du détecteur de présence, évoqué pour le local crèche, se vérifie dans cette salle aussi. Pour 28% des cycles, la durée entre deux est inférieure à 60 secondes. Cette valeur est supérieure à ce qui a été observé à la crèche et ce probablement du fait d'une temporisation plus courte.

En conclusion, on peut dire que les **automatismes** permettent de **réduire** les **durées de fonctionnement** d'éclairage pour ce type de locaux dont l'usage est mutualisé. D'expérience on peut indiquer que si les locaux étaient équipés de simples interrupteurs ils resteraient probablement éclairés toute la journée ce qui n'est pas le cas ici. Cependant il est nécessaire de procéder à un **bon paramétrage des dispositifs de contrôle**. Si le seuil de non allumage de l'éclairage artificiel est réglé trop haut ou que la position du capteur ne lui permet pas de donner une bonne image du niveau d'éclairement du local, les gains liés aux apports d'éclairage naturel sont nuls, et seule la fonction détection de présence subsiste. Il est aussi très dommage que le capteur n'analyse pas le niveau d'éclairement régulièrement afin d'actualiser l'allumage/extinction des luminaires. On se prive là d'une source d'économies importantes.

On a observé des temporisations très différentes d'un détecteur à l'autre (de 1 à 10 minutes). Si le **détecteur est bien positionné** et permet de couvrir l'ensemble du local il est préférable de choisir la **temporisation la plus courte possible**. Cependant des usagers se sont plaints d'arrêts intempestifs fréquents de l'éclairage lorsqu'ils pratiquent avec les enfants des activités calmes. On peut imaginer que c'est pour cela que la temporisation de certains détecteurs a été augmentée, impactant très fortement la consommation d'électricité.

Enfin, un **pilotage** entièrement **automatique** ne laissant aucun choix à l'usager comme c'est le cas ici n'est pas à préconiser, à l'exception des locaux de passage. En effet, non seulement il est **mal perçu** (l'utilisateur n'est pas « maître » de l'installation) mais il augmente probablement la consommation. Ainsi dans bien des cas, l'usager ne juge pas nécessaire d'avoir de l'éclairage artificiel alors que le système de commande met en route les luminaires. On préfèrera donc dans tous les cas pour ce type de locaux des **dispositifs** dits **semi-automatiques** qui associent un **interrupteur** au **détecteur**. L'allumage se fait alors toujours par l'utilisateur grâce à l'interrupteur qui permet aussi l'extinction. Les automatismes viennent uniquement pour supprimer les consommations inutiles, c'est à dire lorsqu'il y a suffisamment d'éclairage naturel ou que le local est vide.

5.6.4.1.3 Couloirs

Il y a trois couloirs dans le bâtiment :

- Couloir RAM (Relais des Assistantes Maternelles) sur détecteur de présence et cellule crépusculaire. Cette circulation bénéficie de très peu d'éclairage naturel et n'est pas très passante.
- Couloir crèche avec deux circuits, un sur interrupteur (situé dans le bureau de la directrice) et l'autre sur détecteur de présence et cellule crépusculaire. Ce couloir est très vitré et très fréquenté.
- Couloir centre de loisirs : le principe de gestion est le même que celui de la crèche (2 circuits). Il bénéficie aussi d'éclairage naturel.

Figure 5.53 : Photographie des couloirs crèche (gauche) et centre de loisirs (droite)

La consommation associée à l'éclairage des couloirs vaut **2 688 kWh/an**. L'analyse de la structure de cette consommation en fonction des différentes postes (voir figure 5.54) montre que la crèche, malgré un fort éclairage naturel disponible est le plus gros consommateur avec 54% du totale. Les détecteurs de présence consomment environ 100 kWh/an, soit 4% du total, ce qui reste acceptable.

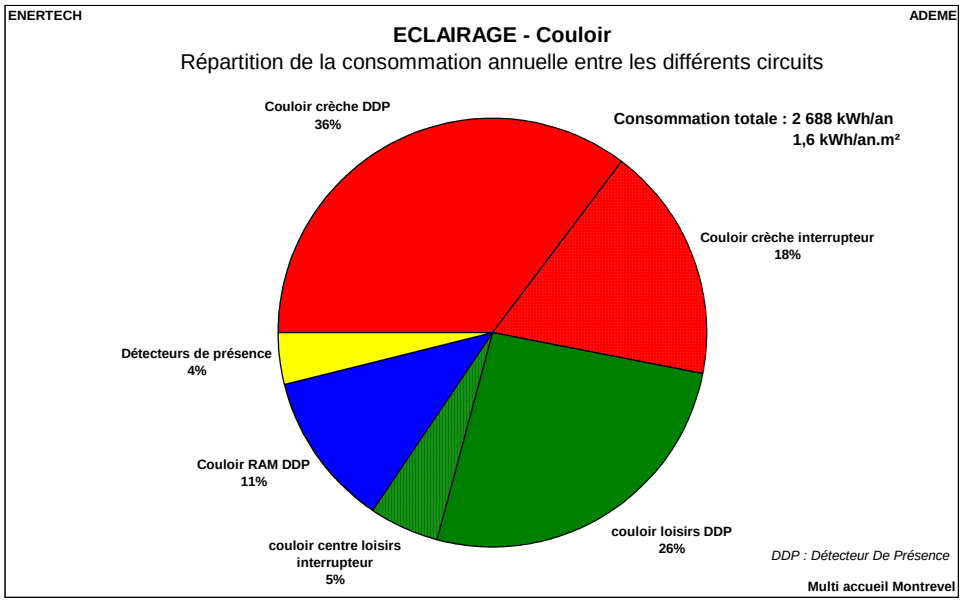


Figure 5.54 : Répartition de la consommation entre les différentes zones de Couloirs

Comme nous ne possédons pas un an de mesures (à l'exception du couloir RAM), nous avons extrapolé les données manquantes pour les circuits présentant des variations saisonnières (crèche et centre de loisirs sur détecteur de présence) – cf figure 5.55.

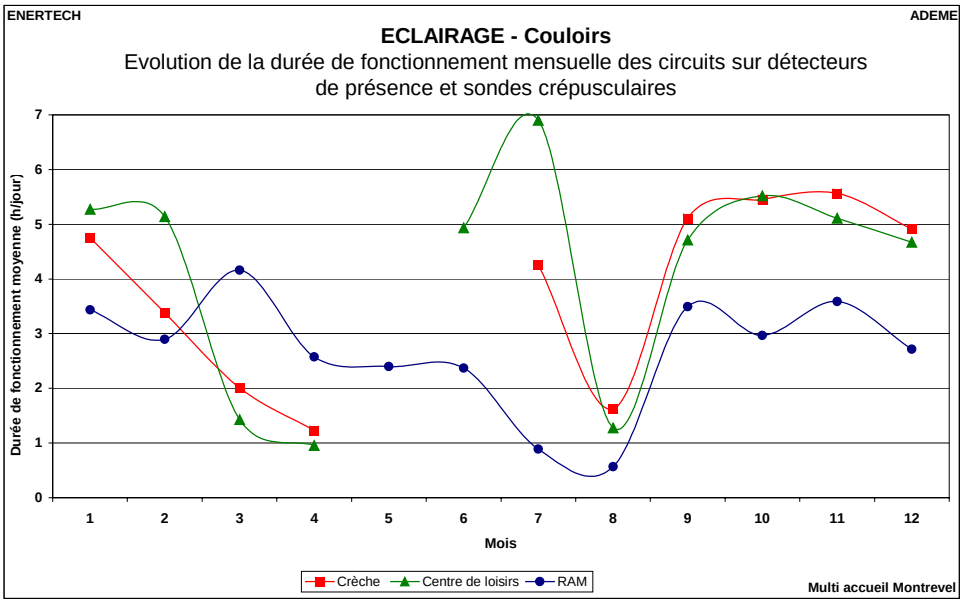


Figure 5.55 : Variation de la durée moyenne d'éclairage des couloirs au cours de l'année

Le nombre d'heures de fonctionnement annuel varie beaucoup d'un circuit à l'autre (cf. figure 5. 56).

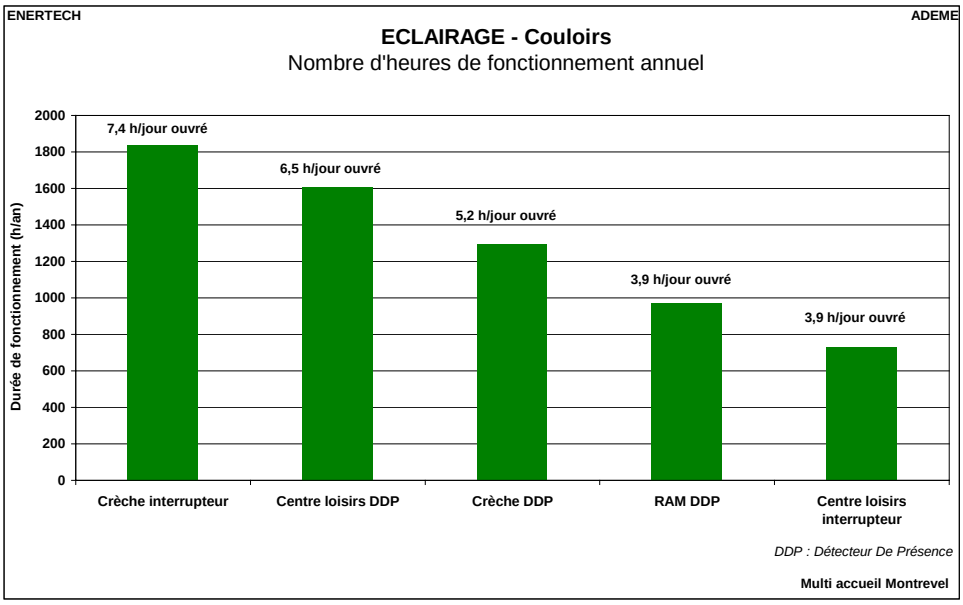


Figure 5.56 : Durées de fonctionnement annuelles des couloirs

On peut faire les commentaires suivants :

- Le circuit présentant la durée de fonctionnement la plus élevée est celui de la crèche sur interrupteur. On note de très longs cycles de fonctionnement : 10 ont une durée supérieure à 24 heures (3 durent plus de trois jours consécutifs !) et 90% de la durée totale de fonctionnement correspond à des allumages de plus de 10 heures. **Cela prouve une fois de plus qu'un interrupteur n'est pas un mode de commande adapté pour l'éclairage des couloirs**.

- On peut faire les mêmes remarques pour le circuit sur interrupteur du centre de loisirs. Il compte moins de cycles mais on observe un fonctionnement de plus de six jours consécutifs !

- Comme on le voit sur le graphique de la figure 5.57 pour le circuit sur détecteur de présence du couloir centre de loisirs, le réglage du seuil crépusculaire a changé au cours de la campagne de mesures. Pour deux jours où l'ensoleillement est très similaire, on remarque qu'en début de période l'éclairage fonctionne toute la journée (la fonction crépusculaire ne sert à rien) alors qu'en fin de période il ne s'active qu'en début et fin de journée lorsque l'éclairage naturel est insuffisant (le détecteur est alors bien paramétré). La temporisation des détecteurs n'a pas été modifiée ; elle est de l'ordre de 60 secondes ce qui n'est pas trop élevé. Malgré ces bons réglages, la durée de fonctionnement reste importante (6,5 heures par jour ouvré) car le couloir n'est pas découpé en plusieurs zones alors qu'il est très long.

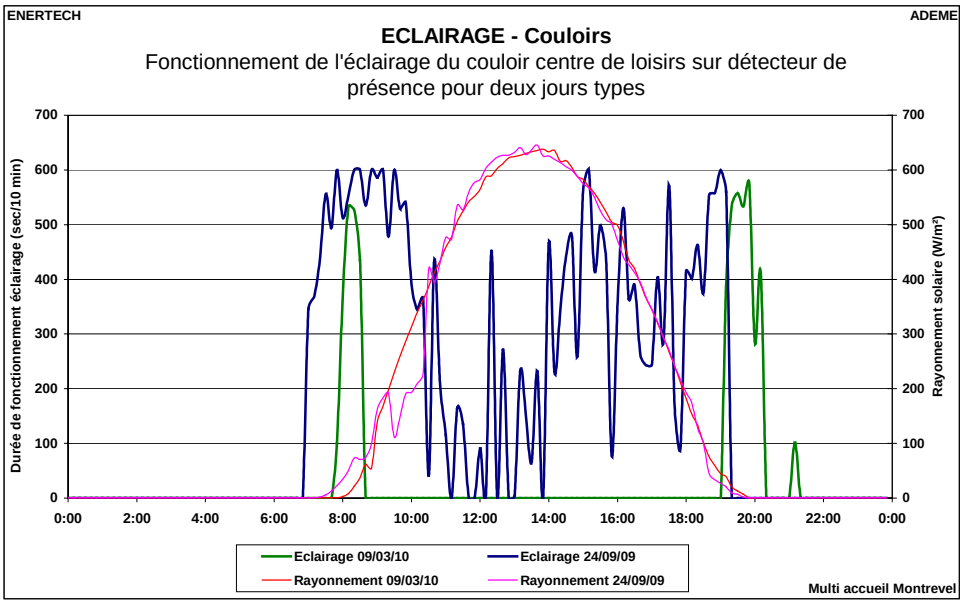


Figure 5.57 : Fonctionnement de l'éclairage du couloir centre de loisirs sur détecteur de présence pour deux jours types

- Les réglages des temporisation et seuil crépusculaire du couloir de la crèche ont été modifiés le 22/10/09. Comme le montrent les graphiques de la figure 5.58, avant cette date la temporisation est courte (30 secondes) et le seuil crépusculaire est réglé de telle sorte que l'éclairage fonctionne quel que soit le niveau d'éclairement. Dans la seconde période quand l'éclairage naturel est suffisant il n'y a pas de mise en route de l'éclairage mais la temporisation est très longue (4,5 minutes). On voit donc que dans un premier temps (hiver) le reparamétrage fait augmenter la consommation mais dès que l'éclairage naturel est suffisant en journée, malgré une temporisation trop longue la modification est bénéfique.

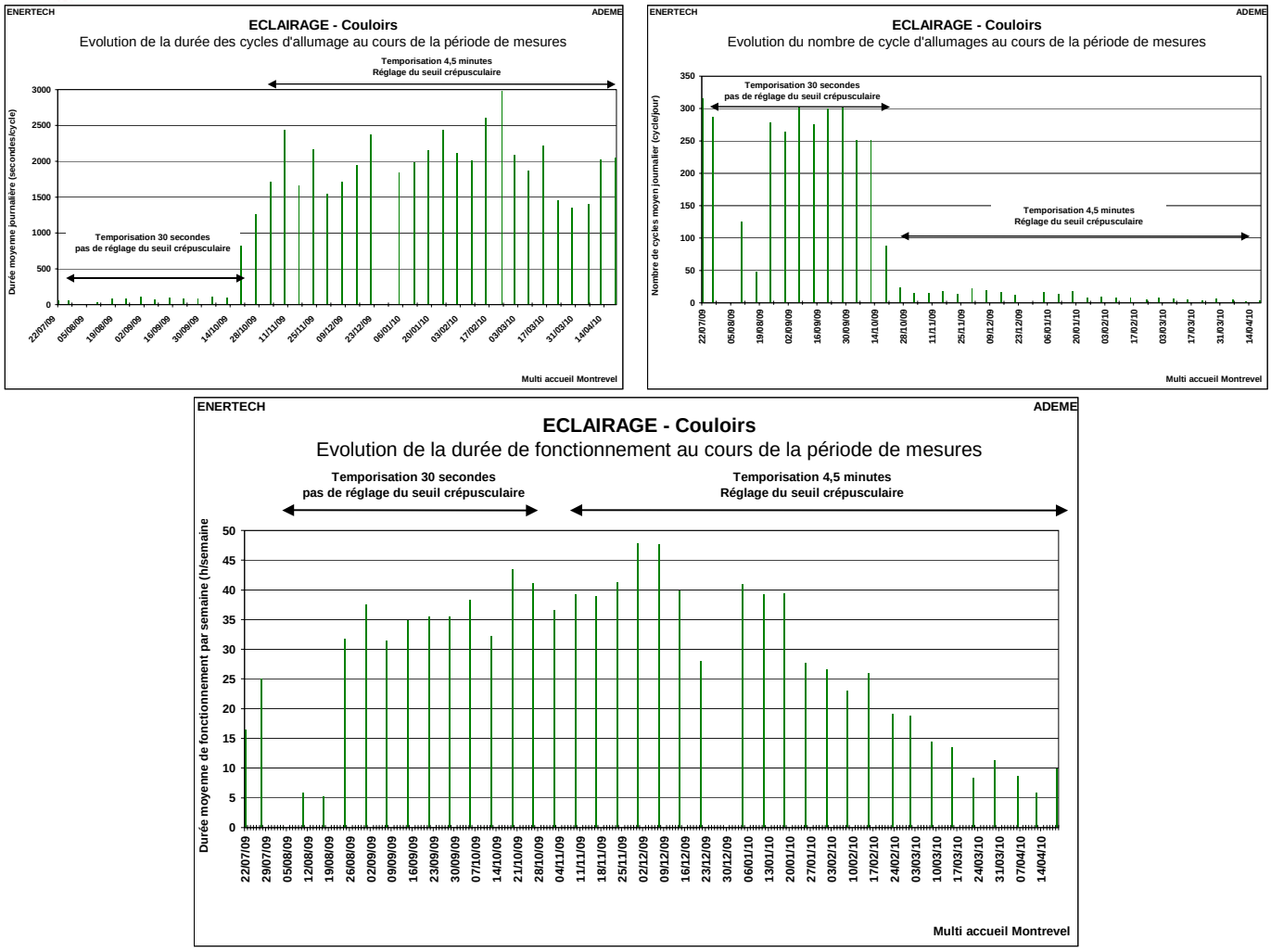


Figure 5.58 : Etude du fonctionnement de l'éclairage du couloir de la crèche sur détecteur de présence

- Couloir RAM : comme pour le couloir de la crèche la temporisation a été modifiée en cours de campagne de mesures (1 minute 10 en début de période puis 2 minutes 50 à partir de septembre 2009). Cela confirme que les temporisations trop courtes ne semblent pas convenir aux usagers lorsqu'ils ne sont pas bien détectés. Ce couloir est moins fréquenté que les deux autres mais dans le même temps est quasiment borgne. La valeur de temporisation assez élevée explique la durée de fonctionnement annuelle importante.

En conclusion, le **détecteur de présence/crépusculaire** est un mode de commande, pour l'éclairage des couloirs, **très efficace** en comparaison des interrupteurs pour lesquels on observe des cycles de fonctionnement très longs (jusqu'à plusieurs jours !). Cependant un **bon paramétrage** du dispositif est essentiel et n'est hélas **pas toujours** réalisé ni accepté par les usagers. Le non réglage du seuil crépusculaire (ou le mauvais positionnement du capteur) conduit à des fonctionnements inutiles en journée et donc à des surconsommations importantes. Dans le même temps, la temporisation doit être réglée suffisamment courte. Pourtant si cette durée est trop faible il semble que les usagers ne l'acceptent pas et modifient ce paramètre en lui affectant une valeur trop élevée qui annule une grande partie des économies.

Il est aussi nécessaire de **découper** les **longs couloirs** en **plusieurs zones** possédant des commandes distinctes. Ainsi malgré un « meilleur » réglage des détecteurs du centre de loisirs (courte temporisation et bon paramétrage de la cellule photosensible), l'intégralité du couloir s'allume dès qu'il y

a un passage d'une zone à l'autre ce qui conduit à des durées de fonctionnement plus importantes qu'à la crèche.

5.6.4.1.4 Bureaux

Le graphique de la figure 5.59 détaille la répartition de la consommation électrique entre les différents bureaux. L'éclairage des bureaux du rez de chaussée est commandé par des interrupteurs alors qu'à l'étage on trouve des détecteurs de présence / luminosité. Nous n'avons pas suivi en détails les durées de fonctionnement de ces locaux qui représentent seulement 7% de la consommation totale d'éclairage du bâtiment.

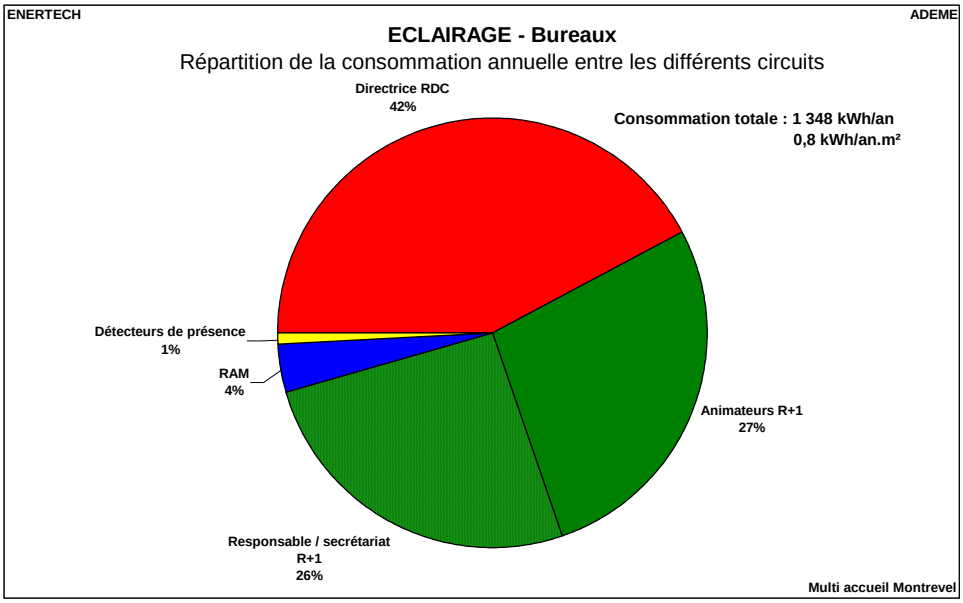


Figure 5.59 : Répartition de la consommation entre les différentes zones – Bureaux

5.6.4.1.5 Locaux annexes

La consommation annuelle d'éclairage des locaux annexes s'élève à 1 218 kWh. L'ensemble de ces pièces est équipé de luminaires peu performants (luminaires étanches, sans réflecteur, munis de tubes fluorescents T8) commandés par des interrupteurs. Le graphique de la figure 5.61 présente les durées de fonctionnement annuelles de différents circuits suivis en détails. On observe, pour la plupart de ces locaux qui ont, rappelons-le, une faible occupation, des durées d'éclairage élevées.

Dans le cas de la chaufferie on note cinq oublis d'extinction de l'éclairage qui représentent 98% de la consommation ! On a observé un cycle de 16 jours consécutifs de fonctionnement et un de 14 jours ! Dans une moindre mesure on observe le même phénomène pour la lingerie. Ainsi un tiers des cycles a une durée supérieure à une heure ce qui paraît beaucoup pour un local de passage. 5% de la consommation s'explique par un oubli d'extinction de 22 heures.

27% des cycles de la biberonnerie ont une durée supérieure à une heure, ce qui là encore paraît élevé.

Il est regrettable de ne pas avoir installé de détecteur de présence pour piloter l'éclairage de certains de ces locaux pour lequel cela est envisageable (lingerie, biberonnerie).

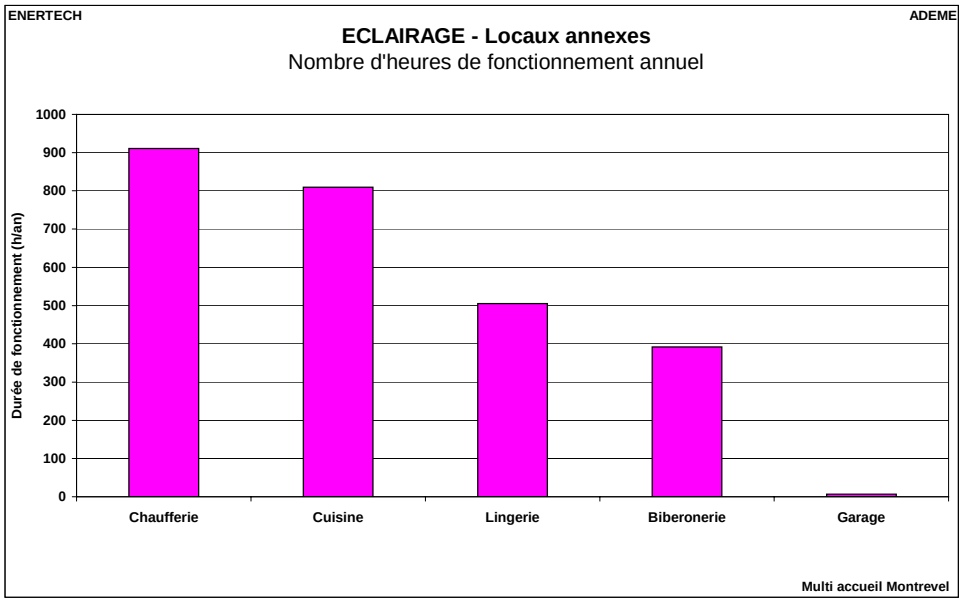


Figure 5.60 : Durées de fonctionnement annuelles des locaux annexes

5.6.4.1.6 Sanitaires

On a suivi en détails uniquement l'éclairage des blocs sanitaires enfants du centre de loisirs qui bénéficient d'éclairage naturel. Là aussi le pilotage est automatique. Il y a un détecteur de présence par cabine et un pour l'espace lavabo. Les sources lumineuses sont des ampoules à incandescence.

Figure 5.61 : Photographie d'un bloc sanitaires enfants du centre de loisirs

Le tableau de la figure 5.62 donne pour chaque cabine suivie la durée de fonctionnement, le nombre de cycles sur la période de mesures et la temporisation du détecteur de présence. Le nombre de cycles est bien-sûr fonction des passages mais probablement davantage encore du réglage du seuil d'enclenchement de l'éclairage artificiel (cellule photosensible).

	Cabine 1 garçons	Cabine 2 filles	Lavabo filles	Cabine 1 filles	Cabine 2 garçons	Lavabo garçons
Consommation (kWh/an) *Part de la veille du détecteur*	23,1 *(49%)*	22,2 *(51%)*	25,6 *(45%)*	17,9 *(63%)*	14,3 *(79%)*	18,1 *(63%)*
Durée de fonctionnement annuelle (h/an)	167	154	101	94	42	32
Nombre de cycles sur la période de mesures	4 737	2 496	1 251	2 968	3 854	706
Durée de la temporisation (secondes)	50	110	Variable > 120	45	20	60

Figure 5.62 : Caractéristiques principales des éclairages sanitaires suivis

L'observation de ce tableau amène plusieurs remarques :

- Ce mode de pilotage permet d'éviter tout dysfonctionnement. On n'a pas observé de cycles de durée supérieure à 31 minutes. Mais cette durée reste très longue quand même.
- Les locaux les plus consommateurs sont ceux qui présentent le plus grand nombre de cycles, il paraît donc essentiel d'optimiser le réglage du seuil crépusculaire du détecteur lorsqu'il y a de l'éclairage naturel.
- On règlera aussi au minimum la temporisation du détecteur de présence. On a observé 20 secondes pour une cabine sans modification du réglage en cours de campagne de mesures. On peut donc estimer que cela suffit aux usagers.
- Lorsque la consommation est bien maîtrisée comme c'est le cas ici, le poids de la veille du détecteur de présence est important. Elle représente jusqu'à 79% de la consommation d'une cabine. Mais ceci est normal et s'explique par la très faible consommation de l'usage.

5.6.4.1.7 Eclairage de sécurité

Dans ce bâtiment on dénombre 22 blocs autonomes d'éclairage de sécurité d'ambiance et 44 de secours. Cet usage consomme annuellement 2 377 kWh (12% de la consommation totale d'éclairage), soit 42,0 kWh/an pour un bloc ambiance et 32,4 kWh/an pour un bloc secours. Une puissance de **4,8 watts** est appelée en permanence par les **blocs ambiance** et **3,7 watts** par les **blocs secours**. La télécommande commandant l'ensemble appelle 3,2 watts en continu.

Ces blocs ne sont pas très performants. Nous avons mesuré des consommations 2,3 fois inférieures pour des modèles performants. Il existe même aujourd'hui des appareils qui permettent de diviser par plus de 7 cette consommation.

5.6.4.2 L'informatique

Comme pour l'éclairage l'ensemble du matériel n'a pas pu être suivi en détails. Nous avons procédé à un inventaire exhaustif des équipements en place au moment de l'instrumentation et avons

extrapolé la consommation des appareils non suivis à partir des données recueillies sur un échantillon de machines du même type. Quand aucune donnée n'était disponible nous avons utilisé des résultats obtenus lors de précédentes campagnes de mesures. Le tableau de la figure 5.63 reprend l'ensemble des équipements répertoriés et le mode d'obtention de leur consommation.

	Nombre	Suivi / non suivi	Mode d'obtention des données lorsque non suivi
Serveurs (informatique, téléphonie, onduleur)	1	Suivi	
Photocopieurs	3	3 suivis	
Ordinateurs fixes	8	3 suivis / 5 non suivis	Données du site
Ordinateurs portables	3	1 suivi / 2 non suivis	Données du site
Imprimantes laser	3	3 non suivis	Données autres campagnes de mesures
Imprimantes jet d'encre	4	4 non suivis	Données autres campagnes de mesures

Figure 5.63 : Détails des équipements de bureautique du bâtiment

La consommation annuelle du matériel informatique s'élève à 4 452 kWh/an, dont 55% a lieu en période d'inoccupation.

Comme on le voit sur le graphique de la figure 5.64, plus de 50% de la consommation correspond aux serveurs informatiques qui appellent une puissance quasiment constante sur toute la période de mesures. Viennent ensuite les photocopieurs dont 60% correspond à un état de veille. Il serait pourtant si simple d'arrêter ces appareils lorsqu'on n'en a plus besoin ! Et ceci est vrai aussi pour les serveurs.

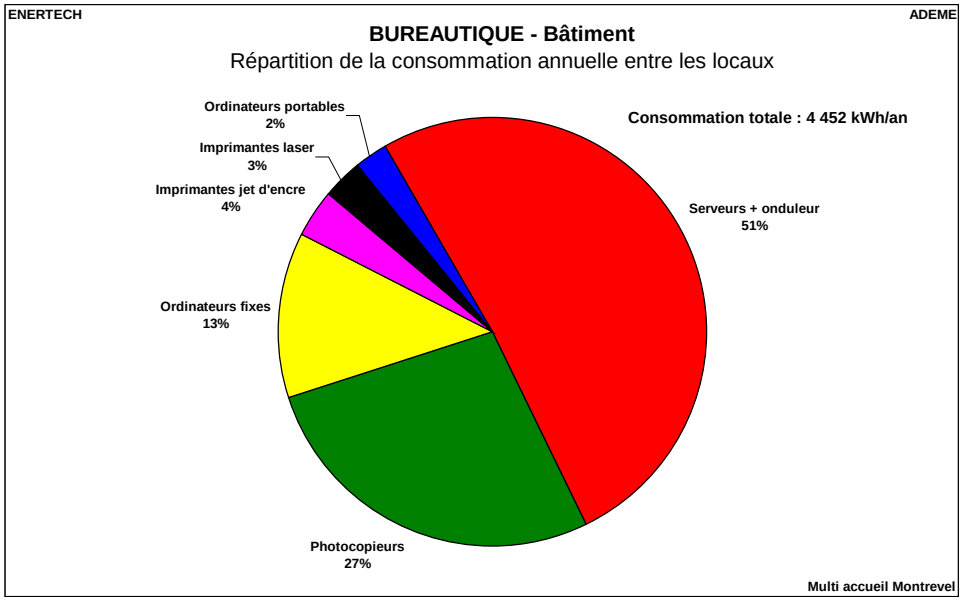


Figure 5.64 : Répartition de la consommation de bureautique entre les différents appareils

5.6.4.3 Les usages thermiques de l'électricité (chauffe eau)

Le bâtiment dispose de 11 chauffe eau dont les caractéristiques figurent dans le tableau de la figure 5.65. La consommation totale des 11 chauffe eau est de **8 508 kWh/an** soit 16% de la consommation du bâtiment. On voit que la consommation d'entretien des chauffe-eau n'est pas du tout négligeable, ce qui renforce l'idée qu'il ne faut mettre en place de l'eau chaude sanitaire que là où les besoins sont absolument impératifs et ne pas hésiter à sur isoler les ballons.

Implantation	Volume (l)	Consommation annuelle (kWh/an)	Puissance d'entretien (W)*	Consommation d'entretien (kWh/an) *Part de l'entretien(%)*
RDC RAM office	15 l	423	27	238 *(56%)*
RDC RAM sanitaires	15 l			
RDC RAM sanitaires enfants	15 l			
RDC crèche sanitaires moyens	? l	5 062	105	924 *(18%)*
RDC local ménage	200 l			
R+1 local entretien	100 l	3 023	226	1 981 *(66%)*
R+1 local rangement	200 l			
R+1 salle de vie 1	15 l			
R+1 salle de vie 2	15 l			
R+1 salle de vie 3	15 l			
R+1 salle arts plastiques	15 l			
	TOTAL	***8 508***	***359***	***3 142 (37%)***

** : La puissance d'entretien correspond à la puissance moyenne appelée sur l'ensemble des dimanches de la période de mesures.*

Figure 5.65 : Description des caractéristiques des chauffe-eau du bâtiment

A l'exception des chauffe eau de la crèche la consommation d'entretien représente plus de la moitié du total. Il faudrait s'interroger sur la nécessité de l'ensemble des points de puisage prévus dans le bâtiment et sur le niveau d'isolation des ballons installés.

5.6.4.4 Etude de la chaufferie

La consommation annuelle d'électricité de la chaufferie est de **3 379 kWh/an** (**2,0 kWh/an/m²**$_{SU.}$). Cette valeur est deux fois plus importante que ce qu'on observe dans des chaufferies optimisées. De plus, la consommation en période d'inoccupation est deux fois plus importante que celle observée pendant les heures d'ouverture du bâtiment.

La figure 5.66 représente la structure des consommations d'électricité en chaufferie. On remarque immédiatement le poids de la pompe de distribution (les pompes 1 et 2 fonctionnent alternativement) : 82% du total !

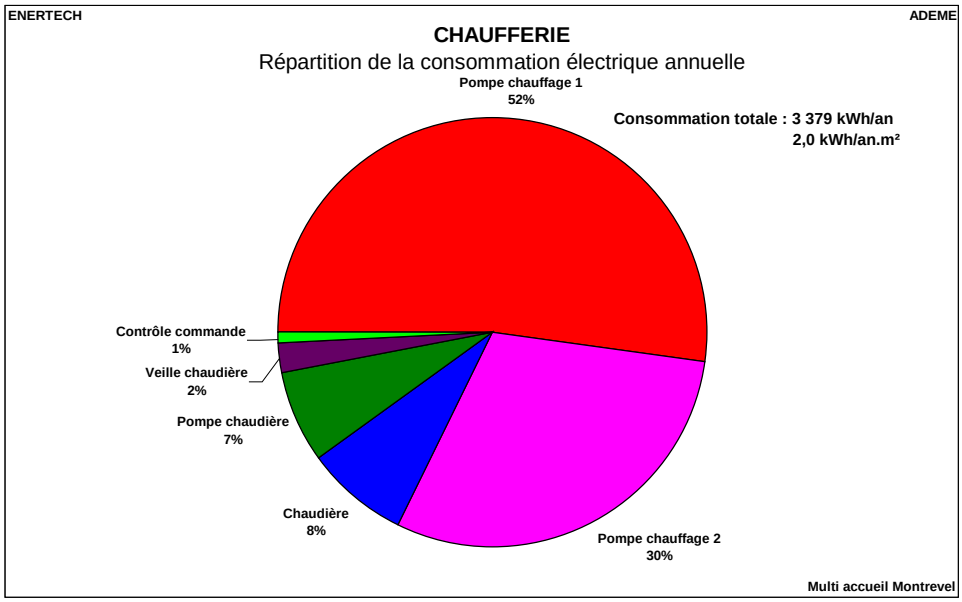


Figure 5.66 : Répartition de la consommation électrique de la chaufferie

Le tableau de la figure 5.67 indique les caractéristiques des pompes prévues au CCTP et celles effectivement installées. Il est demandé pour les deux pompes des modèles à vitesse variable, ce qui est *a priori* inutile pour la pompe de bouclage chaudière car il n'y a pas de variation de débit possible.

	Plancher chauffant			**Bouclage chaudière**	
	Prévue au CCTP	**Installée (maxi)**	**Mesurée**	**Prévue au CCTP**	**Mesurée**
Débit (m^3/h)	2,377	30	Pompe 1 : 6,0-7,2 Pompe 2 : 3,1-3,6	2,377	?
ΔP (m CE)	7	13	Pompe 1 : 13 Pompe 2 : 4.7	3	?
Puissance électrique (W)	185	800	Pompe 1 : 660 Pompe 2 : 150	85	43

Figure 5.67 : Caractéristiques des pompes - CCTP et sur site

On remarque donc que la **pompe de chauffage choisie** est **largement surdimensionnée** par rapport à celle prévue par le CCTP. Cependant le **débit nécessaire** pour 100 kW de déperditions (à la température de base) et une différence de température départ/retour chauffage de 8°C (données CCTP) est de l'ordre de 11m^3/h, soit **4,5 fois** plus que ce qui a été envisagée par le **bureau d'études** !

La figure 5.68 indique la position du point de fonctionnement donné dans le CCTP sur la courbe de cette pompe. Ce choix n'était de toute façon pas judicieux : il n'aurait pas permis de variations de vitesse et donc pas de diminutions de consommations importantes. En effet ce point a une abscisse très proche de 0 et il n'y a donc pas réduction importante du débit envisageable. Il aurait fallu sélectionner une pompe dont l'abscisse du point de fonctionnement se situait près de la courbe de débit/pression maximum.

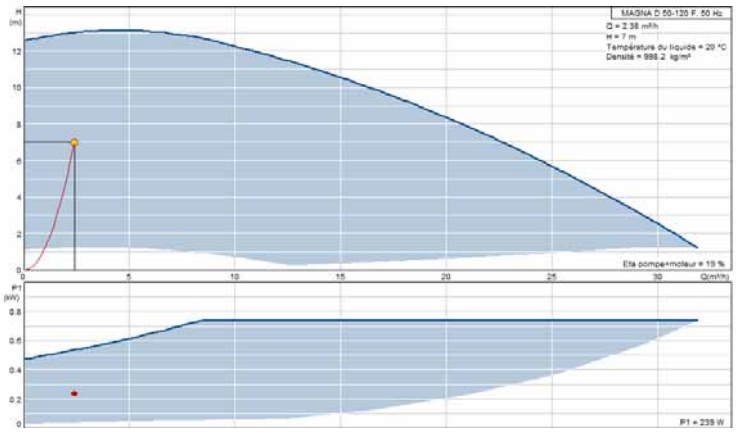


Figure 5.68 : Position du point de fonctionnement prévu au CCTP sur la courbe de la pompe installée

La figure 5.69 donne l'ensemble des puissances et débits appelés par la pompe double du plancher chauffant sur la période de chauffage. On remarque deux paliers. Le premier (70% de la saison de chauffage) correspond à la puissance appelée par la pompe « principale » et la pompe de « secours » après le 11/01/2010. Les 30% restant (puissance inférieure, de l'ordre de 180W) correspondent à la puissance appelée par la pompe de secours en début de campagne de mesures. A noter que tous les 3 jours et demi les pompes sont permutées.

Ces graphiques confirment que la pompe de chauffage fonctionne en permanence pendant toute la période de chauffage : il n'y a ni optimiseur, ni fonction ECO activés. Les 2% du temps où la puissance est nulle correspondent à des arrêts pour maintenance.

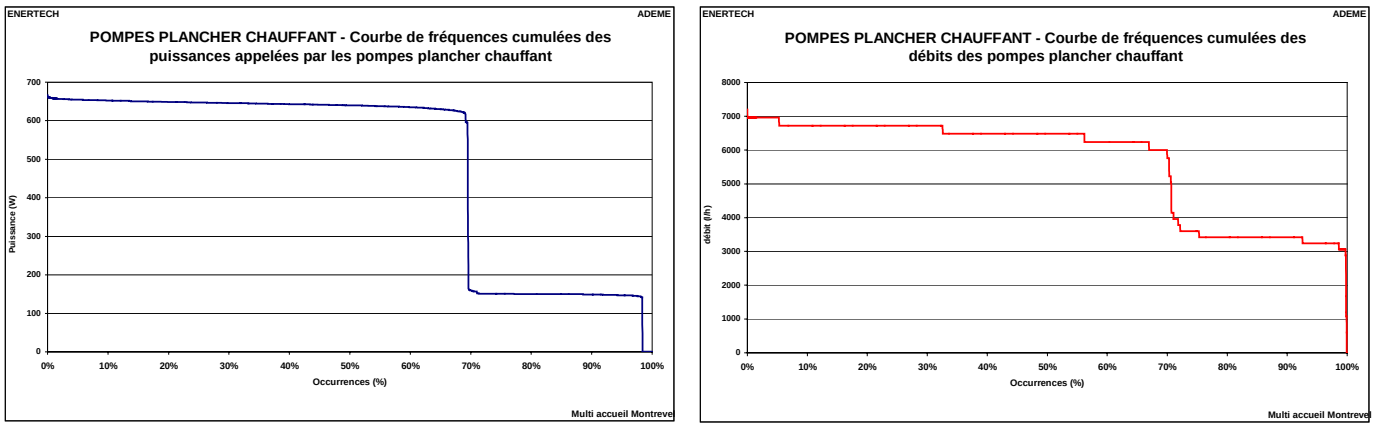


Figure 5.69 : Pompes plancher chauffant – Courbe de fréquences cumulées des puissances électriques et des débits

Les puissances et débits mesurés nous renseignent sur les réglages effectués. Ainsi la pompe principale n'a probablement pas été paramétrée, ou pas paramétrée correctement. Elle fonctionne à vitesse maximum (voir graphique de la figure 5.70). C'est un phénomène que l'on observe souvent lorsque la consigne en ΔP de la pompe est beaucoup trop importante et totalement inaccessible, même à plein régime (par exemple 20 mCE pour la pompe primaire, ce qu'elle ne peut pas faire).

Quant à la seconde pompe, il semble qu'elle ait été réglée pour maintenir un débit fixe d'un peu plus de 3 m^3/h. L'installateur aurait donc réglé la valeur de débit et non la perte de charges demandée dans le CCTP, ce qui bien-sûr n'autorise aucune variation de vitesse même si la régulation terminale fonctionne correctement !

Une autre explication serait que les vannes de régulation terminale ne se ferment pas.

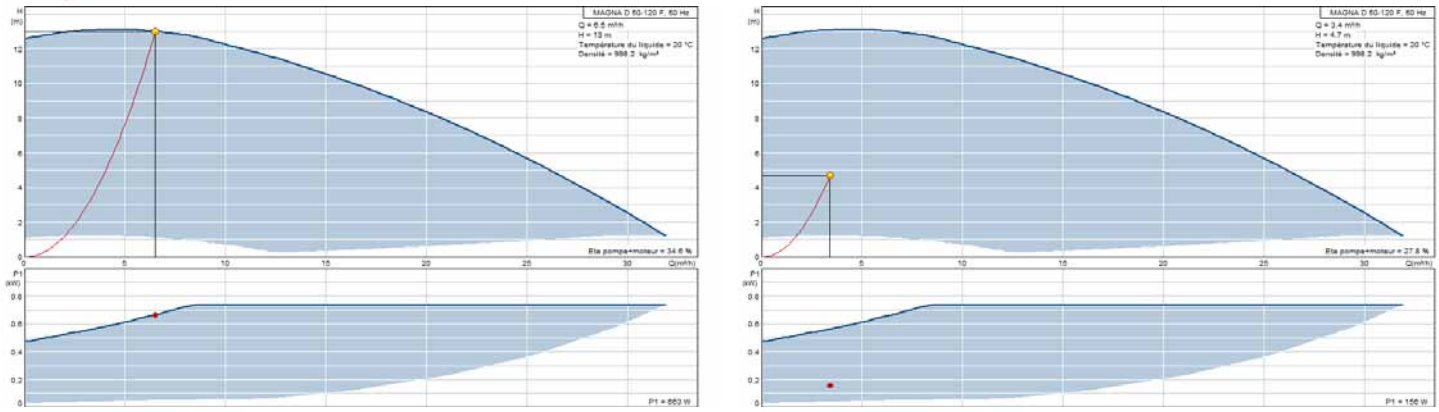


Figure 5.70 : Position du point de fonctionnement effectif des deux pompes de circulation du plancher chauffant – gauche pompe principale, droite pompe de secours début de période

Comme on le voit sur le graphique de la figure 5.71, le réglage du débit de la pompe n'a que très peu d'influence sur la température maintenue dans les locaux.

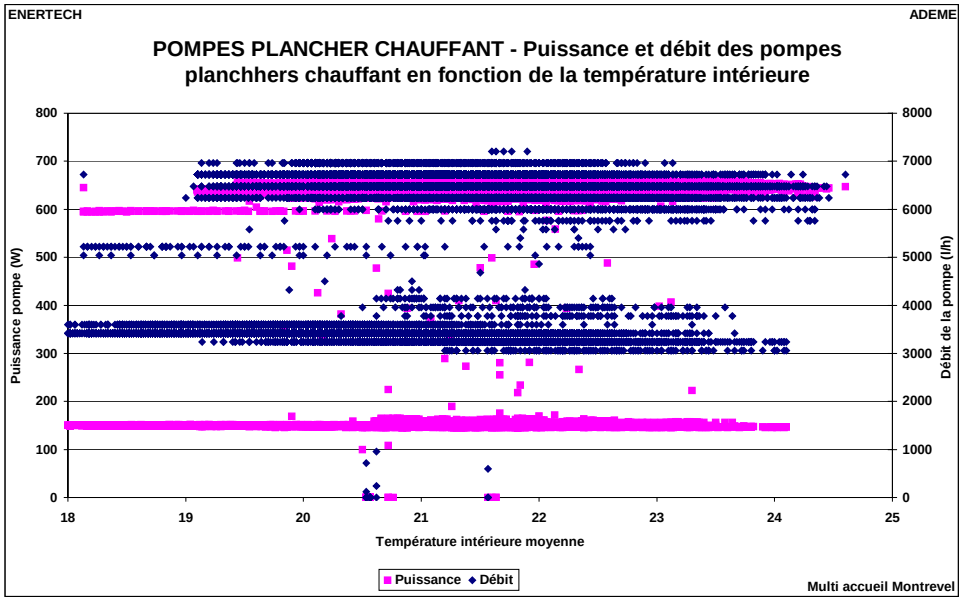


Figure 5.71 : Pompes du plancher chauffant – Influence du débit de la pompe sur la température intérieure moyenne

La pompe chaudière consomme pratiquement autant que la chaudière elle-même. Cette pompe sert à garantir une bonne irrigation de la chaudière lorsque la pompe de distribution fonctionne à vitesse minimum. Dans la configuration actuelle où il n'y a pas de variation de débit, elle est inutile. Dans tous les cas, on pourra la faire fonctionner à vitesse minimum.

5.6.4.5 Les systèmes de ventilation

La ventilation du bâtiment est de type simple flux avec entrée d'air par puits canadien. Deux des trois caissons sont à vitesse variable (crèche, centre de loisirs et salles d'évolution).

La consommation afférant à la ventilation est de 5 454 kWh/an, soit 10% de la consommation ou encore **3,2 kWh$_{élec}$/an/m²$_{SU}$**. On note que 13% de la consommation totale de ce poste (1,3% de la consommation du bâtiment) correspond à la régulation de la ventilation et du plancher chauffant (les mesures ne permettent pas de séparer les deux). Ce poste comprend l'alimentation électrique de :

- l'automate de gestion de la ventilation
- les vannes deux voies des planchers chauffants
- les thermostats d'ambiance
- les sondes de qualité d'air
- les volets motorisés de gestion des débits de ventilation

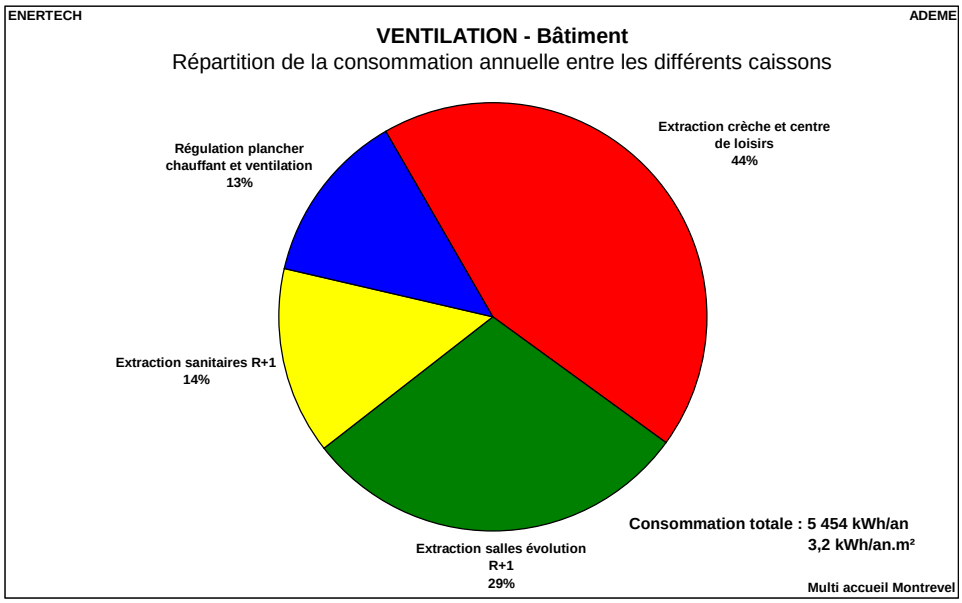


Figure 5.72 : Répartition de la consommation électrique de ventilation

Comme on l'a indiqué précédemment deux centrales fonctionnent en été en mode surventilation. La surventilation s'arrête lorsque le chauffage commence.

Il apparaît que **le fonctionnement « normal » ne représente que 50 % de la consommation totale** avec 21% pour le fonctionnement pendant les heures ouvrées et 29 % pour la surventilation.

La ventilation en dehors des heures d'occupation et en dehors de la surventilation consomme 42% de la consommation de la CTA soit 2 033 kWh/an. Cette consommation pourrait être économisée facilement par une reprogrammation de l'automate de gestion. Enfin 8% du total correspond à de la surventilation alors que la température extérieure est supérieure à celle du bâtiment ce qui non seulement augmente inutilement la consommation électrique mais réchauffe le bâtiment au lieu de le rafraîchir…

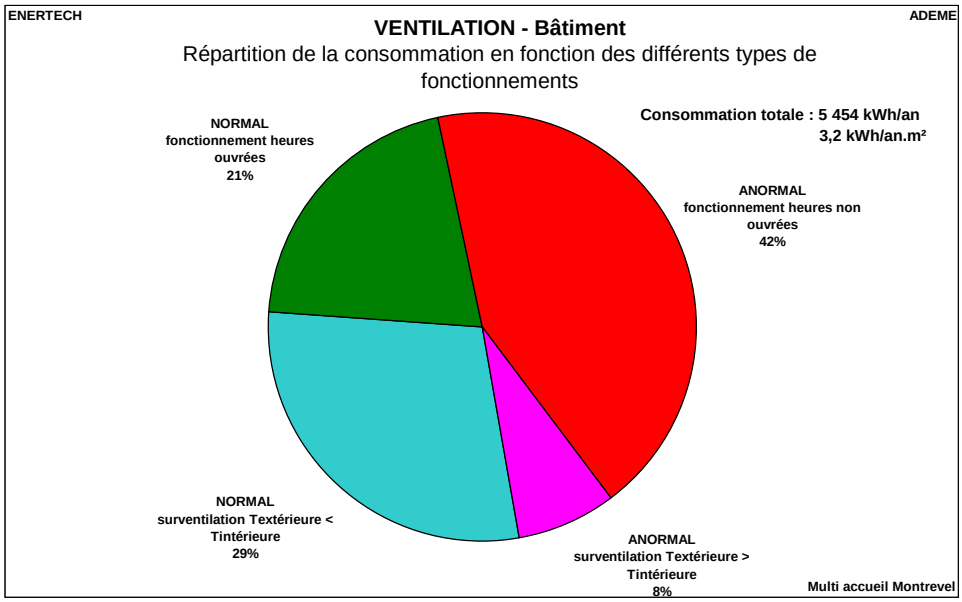


Figure 5.73 : Ventilation – Part de chaque mode de fonctionnement dans la consommation

Les trois graphiques de la figure 5.74 représentent les courbes de fréquences cumulées de la puissance appelée par les trois extracteurs. Les caissons crèche/centre de loisirs et sanitaires R+1 fonctionnent en mode surventilation près de 20% du temps (puissances respectives d'environ 750 et 220W). Le caisson des salles d'évolution n'est jamais en mode surventilation.

La puissance appelée par les ventilateurs crèche/centre de loisirs et salle d'évolution varie quotidiennement de la façon suivante :

	Puissances quotidiennes maxi / mini					
	Moyenne		**Minimum**		**Maximale**	
	Semaine	**WE**	**Semaine**	**WE**	**Semaine**	**WE**
crèche/centre de loisirs (régime normal)	1,16	1,04	1,03	1,02	1,47	1,04
Salle d'évolution	1,04	1,03	1,03	1,02	1,27	1,06

Période d'analyse : 22/09/09 au 23/04/10

Ces variations paraissent faibles pour un bâtiment dans lequel le débit est théoriquement contrôlé en fonction de la qualité de l'air au niveau de chaque pièce et où l'occupation est intermittente. Plusieurs phénomènes peuvent expliquer ce mauvais fonctionnement :

- Le paramétrage de l'automate qui ouvre les volets en fonction du taux de CO_2 n'a pas été correctement effectué.
- Le taux de fuites dans le réseau est très important
- Les centrales de ventilation n'ont pas été paramétrées et ne régulent donc pas de façon optimale.

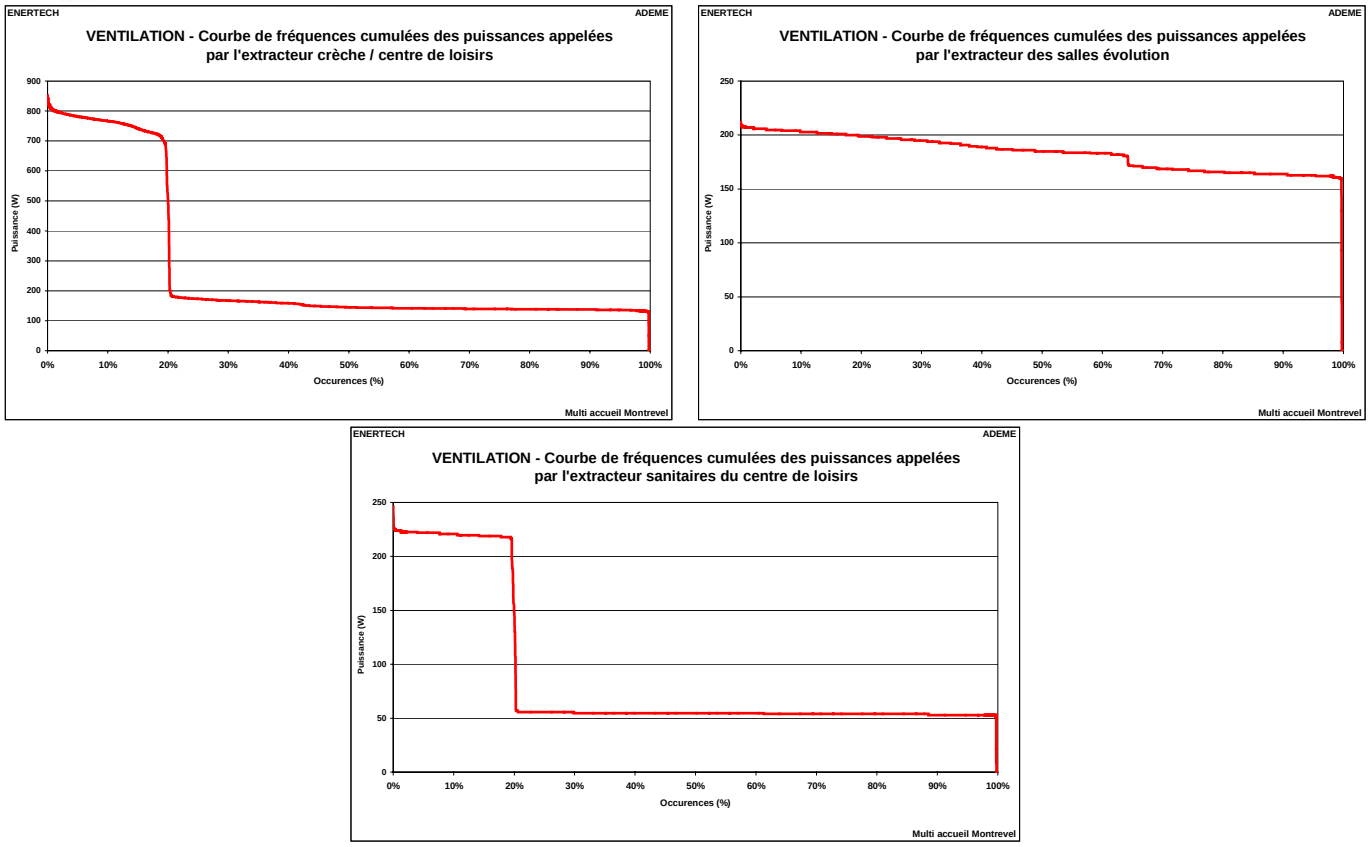


Figure 5.74 : Extracteurs crèche/centre de loisirs, salles évolution, sanitaires R+1 – Fréquences cumulées de la puissance appelée

Les courbes de charges présentées sur la figure 5.75 montrent de très légères variations de puissances au cours de la journée (de l'ordre de 6% entre le maximum et le minimum). Il y a donc bien des variations de débit mais elles sont faibles. Les puissances augmentent en journée lorsque le bâtiment est occupé. On remarque également une valeur plus élevée le samedi que le dimanche, alors que le bâtiment est vide les deux jours. Comme le débit de ventilation est piloté par une sonde de qualité d'air, on peut imaginer que le samedi on continue d'évacuer des pollutions de la semaine….

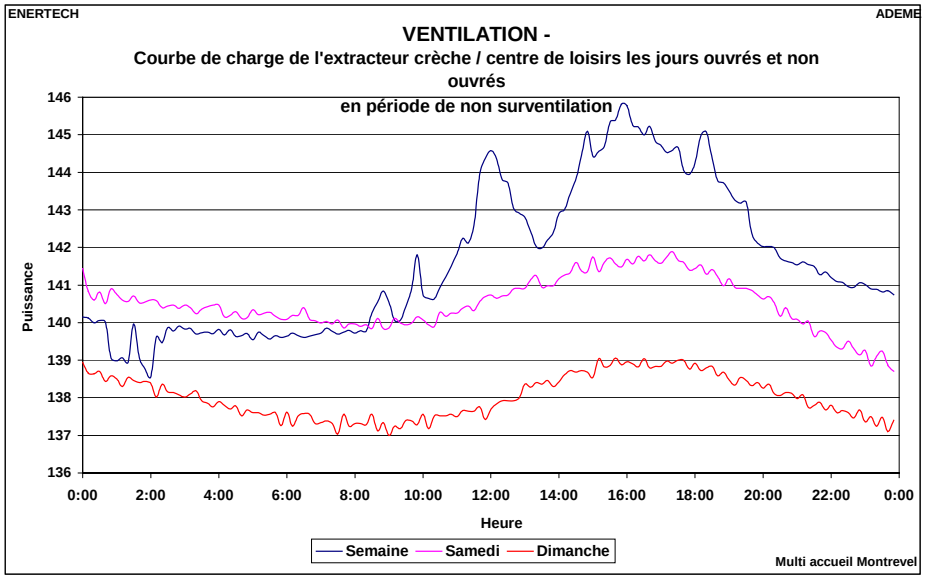


Figure 5.75 : CTA crèche / centre de loisirs – Courbe de charge journalière moyenne en période de non surventilation

5.6.4.6 Les appareils divers

5.6.4.6.1 Ascenseur

Le bâtiment ne possède qu'un étage et l'ascenseur est positionné de telle sorte qu'il n'est pas le moyen privilégié de communication d'un étage à l'autre. De plus son accès est restreint : une clé est nécessaire à son ouverture. On a noté uniquement 8 utilisations au cours de l'année de suivi. Pour la moitié d'entre elles, il semble qu'il s'agisse de visites de maintenance car l'éclairage de la gaine a ensuite été oublié. Dans un cas, cet éclairage a fonctionné en continu pendant un mois !
La consommation de l'ascenseur s'élève à 1 573 kWh/an, soit 2,9% du total du bâtiment. Il s'agit à plus de 99% de veille (y compris probablement l'éclairage permanent de la cabine dans laquelle nous n'avons pas pu pénétrer).

5.6.4.6.2 Système de récupération des eaux de pluie

Le bâtiment est équipé d'un appareil permettant la valorisation des eaux de pluie. Il s'agit d'un système comprenant une pompe auto-amorçante puisant et redistribuant, ici dans les toilettes du bâtiment, l'eau de pluie collectée dans une citerne. L'appareil bascule automatiquement sur l'eau de ville lorsque la citerne est vide. L'équipement comporte un automate de commande et de surveillance.

Cet appareil consomme 408 kWh/an, dont 26% de veille.

5.6.4.6.3 Les appareils électroménagers

On estime que ce poste correspond à 89% du poste non suivi (9 600 kWh/an), soit 18% de la consommation totale du bâtiment. On dénombre :

- 3 lave-linge professionnels
- 3 sèche-linge professionnels
- 3 réfricongélateurs
- 3 réfrigérateurs bas
- 3 four micro-ondes
- 1 lave vaisselle
- bouilloires, cafetières plaques chauffantes, chauffe-biberon...

82% de cette consommation a lieu pendant les heures d'occupation.

6 LES CHIFFRES CLES

6.1 Consommation totale

Exprimée en énergie primaire (avec un coefficient de conversion conventionnel de l'électricité de 2,58) **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus, s'élève à 161,0 $kWh_{ep}/m^2_{SU}/an$**. Le chauffage couvre 48% de ce total.

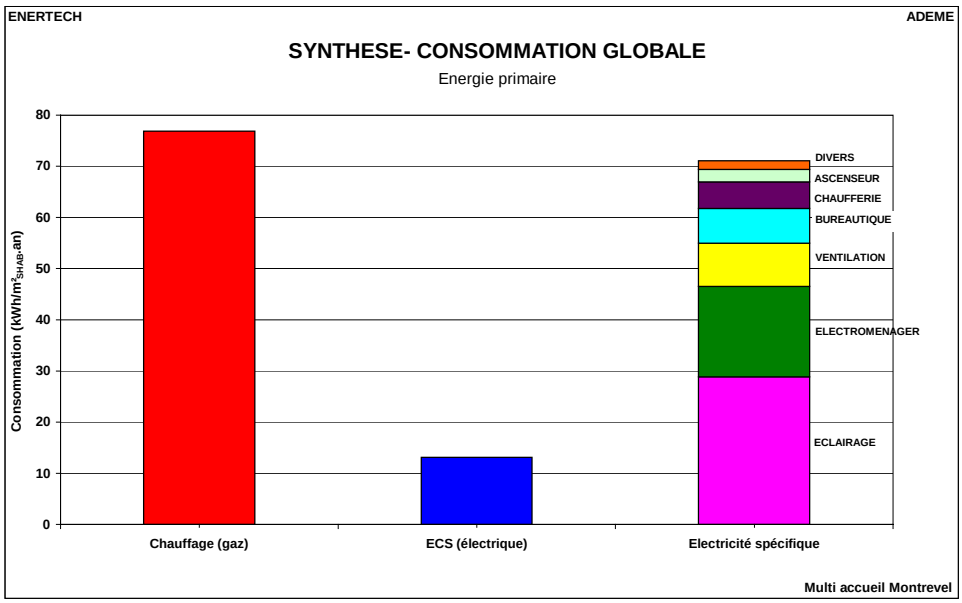


Figure 6.1 : Consommation globale annuelle du bâtiment en énergie primaire

Le calcul RT2005 indiquait un coefficient de consommation en énergie primaire (C_{EP}) de 103,9 $kWh_{EP}/an/m^2_{SHON}$ (y compris 16,3 $kWh_{EP}/an/m^2_{SHON}$ de photovoltaïque). Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 120,3 $kWh_{EP}/an/m^2_{SHON}$, soit exactement la même valeur que le C_{EP} hors photovoltaïque. Rappelons cependant qu'on ne peut pas comparer ces deux valeurs. En effet, on ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle. Or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle. Le graphique de la figure 6.2 qui détaille cette consommation entre les différents postes confirme cette observation. Ainsi :

- La consommation de chauffage mesurée est supérieure de 21% à la valeur du calcul règlementaire
- L'ECS n'a pas été pris en compte dans le calcul RT !
- L'éclairage et les auxiliaires ont été largement surdimensionnés.

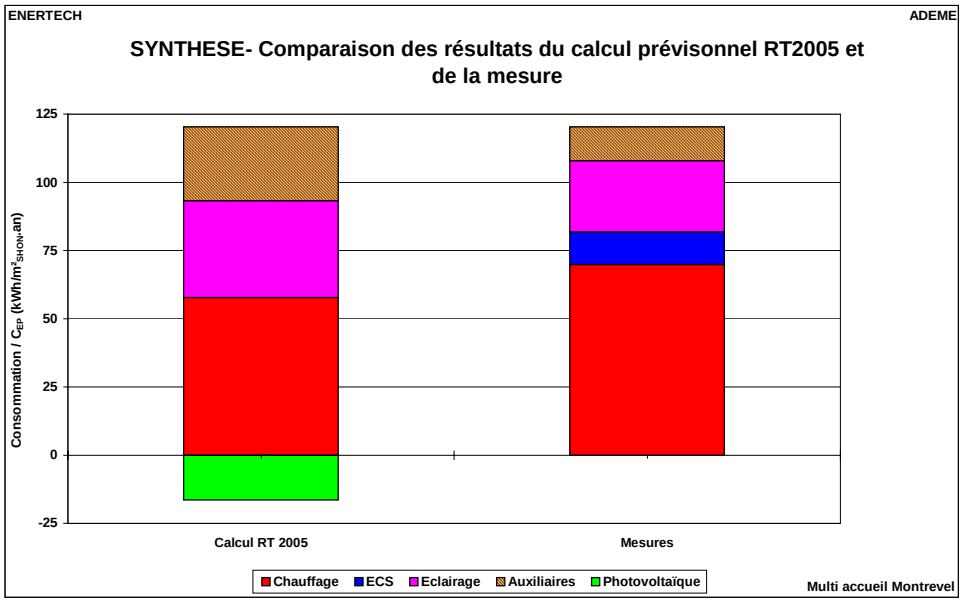


Figure 6.2 : Comparaison des résultats du calcul prévisionnel RT2005 et de la mesure

6.2 Tableau récapitulatif des principaux résultats

Le tableau suivant reprend les principaux résultats issus de la première année de mesures.

Consommation totale d'énergie	Facteur 2,58 sur l'électricité	Tous usages confondus	**161,0**	$kWh_{ep}/m^2_{SU}/an$
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte	**1,18**	vol/h
	Q4	soufflante	**0,48**	$m^3/h/m^2$
Qualité des ambiances	Taux moyen CO2 (occupation hiver)	Crèche / Centre loisirs	**934 / 548**	ppm
	% du temps supérieur à 1300ppm (occupation hiver)	Crèche / Centre loisirs	**16 / 0**	%
	Hiver	Température moyenne (occup. /non occup.)	**21,1 / 20,4**	°C
		Pourcent. du temps où T > 19°C	**98**	%
	Eté	Température moyenne (occup. /non occup.)	**24,8 / 24,3**	°C
		Temps où T > 28°C	**0**	h
Chauffage	Besoins d'énergie primaire	Total	**129 035**	KWh_{ep}/an
		Par m^2_{SU}	**76,9**	$kWh_{ep}/m^2_{SU}.an$
	Puissance de pointe chauffage (moyenne à 10 minutes) et taux de charge correspondant (%)	P (% puissance installée)	**120 (93 %)**	kW
		Par m^2_{SU}	**56,5**	W/m^2_{SU}
	% du temps où taux charge > 50 %	Chauffage	**1,5 %**	%
	Taux de charge annuel moyen	Chauffage	**17 %**	%
	Rendement de génération	Chauffage	**97 %**	%
	Puissance max déperditions (parois+air)	Calcul théorique	**53,6**	W/m^2_{SU}
	Loi d'eau théorique/réelle	Tdépart pour –10°C et +20°C ext	**44-20/40-30**	°C
	Durée mesurée saison de chauffage		**236**	jours
ECS	Besoins d'énergie totale (facteur 2,58 sur l'électricité)	Energie primaire (totale et par m²)	**21 950 / 13,1**	kWh_{ep} - $kWh_{ep}/m^2.an$
Electricité	Consommation d'électricité	Totale, par m²	**46 180 / 27,5**	kWh_{el}/an, $kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
	Part de la consommation pendant les heures ouvrées		**57%**	%
	Puissance	Souscrite / maximale appelée	**66 / 27**	KVA / kW
	Répartition	Eclairage	**11,2**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Electroménager	**6,9**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Ventilation	**3,3**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Bureautique	**2,7**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Chaufferie	**2,0**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Ascenseur	**0,9**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$
		Divers	**0,6**	$kWh_{el}/m^2_{SU}/an$

7 PRECONISATIONS

VENTILATION

1- Vérifier le bon asservissement des caissons de ventilation à débit variable (DP constant).

2- Vérifier le bon asservissement des volets motorisés aux sondes CO_2 et réétalonner ces sondes.

3- Vérifier la programmation de l'automate qui gère la ventilation, surventilation, ouverture des châssis ouvrants en partie haute du faîtage (mode et heure de fonctionnement).

4- Supprimer la surventilation mécanique qui conduit à une consommation d'électricité importante pour une chute de température très limitée. Ne conserver que l'ouverture des châssis en partie haute du faîtage (s'il y a possibilité de créer une circulation d'air en ouvrant en partie basse).

CHAUFFAGE

5- Se renseigner sur l'existence d'un superviseur central de pilotage des thermostats.

6- Régler la consigne des thermostats d'ambiance à 19°C. Sensibiliser les usagers à la nécessité de réduire la température dans les locaux.

7- Mettre en œuvre la programmation horaire du chauffage (arrêt/ralenti en période d'inoccupation), la fonction ECO, l'optimisation.

EAU CHAUDE SANITAIRE

8- Surisoler les ballons d'eau chaude sanitaire et/ou couper ceux qui ne sont pas utilisés, en accord avec les utilisateurs.

ELECTRICITE

9- Revoir la puissance souscrite auprès d'EDF (passer de 66 à 42 kVA).

10- Rerégler le seuil du détecteur crépusculaire qui commande l'éclairage extérieur. Ajouter une horloge pour couper l'éclairage en milieu de nuit.

11- Rerégler les seuils des détecteurs crépusculaire et de présence des divers locaux.

12- Ne plus utiliser l'éclairage sur interrupteur des couloirs, ne conserver que le circuit sur détecteur.

13- Arrêter les photocopieurs en dehors des périodes d'utilisation.

14- Paramétrer les pompes de distribution de chauffage pour fonctionner à vitesse variable (DP constant mais compatible avec chaque pompe). Lorsqu'il faudra les changer, refaire les calculs de dimensionnement (pompes surdimensionnées).

15- Régler la pompe de bouclage chaudière à vitesse minimum.