



ENERTECH

INGENIEURS CONSEILS

26160 Félines sur Rimandoule

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

MAIRIE / ECHIROLLES (38)

Ecole primaire Jean Jaurès

**Evaluation des performances énergétiques et
environnementales d'opérations de rénovation
performantes en région Rhône-Alpes**

Octobre 2013

**Rapport de campagne de mesure
ANNEE 1**



Maître d'ouvrage de l'étude :
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME
Etude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	4
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L’OPERATION ET DE L’EVALUATION	5
1.1 Présentation de l’opération.....	5
1.1.1 Description du bâtiment	5
1.1.2 Description des installations électriques	8
1.1.3 Description des installations de ventilation.....	9
1.1.4 Description des installations thermiques.....	11
1.1.5 Description de la GTB.....	12
1.2 Présentation de la campagne d’évaluation et de mesure	13
CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES	15
2.1 Température extérieure	15
2.2 Ensoleillement.....	15
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L’ENVELOPPE BÂTIE	17
3.1 Test à la porte soufflante	17
CHAPITRE 4 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES.....	22
4.1 Evaluation de la qualité de l’air.....	22
4.1.1 Le dioxyde de carbone	22
4.1.2 Le radon.....	26
4.2 Etude du confort d’hiver	27
4.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	27
4.2.2 Courbe de charge.....	29
4.2.3 Hygrométrie	31
4.2.4 Evaluation du confort	31
4.3 Etude du confort d’été	32
4.3.1 Courbe de charge.....	34
4.3.2 Evolution de la semaine la plus chaude.....	35
4.3.3 Nombre d’heures au-dessus de 28°C	36
4.3.4 Evaluation du confort	37
CHAPITRE 5 : ETUDE DE LA VENTILATION	39
5.1 Etude des débits.....	39
5.1.1 Evolution du débit moyen au cours de l’année, pendant la journée.....	40
5.1.2 Etude de la ventilation nocturne.....	43
5.1.3 Fonctionnement de l’échangeur de chaleur	46
5.1.4 Fonctionnement de la batterie de préchauffage.....	47
5.1.5 Débits aux grilles de ventilation et diffusion de l’air.....	47
5.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs	50
5.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse	50
5.2.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume.....	51
CHAPITRE 6 : ETUDE DU CHAUFFAGE	54
6.1 Consommation annuelle	54
6.1.1 Température extérieure	54
6.1.2 Energie finale	54
6.1.3 Energie primaire	55
6.2 Puissances utiles appelées (thermique)	55
6.3 Paramètres influant sur la consommation	56

6.3.1	Fonctionnement réel de la régulation	56
6.3.2	Déperditions réelles du bâtiment.....	67
CHAPITRE 7 : ELECTRICITE.....		69
7.1	Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque.....	69
7.2	Consommation globale.....	70
7.2.1	Analyse de la facture d'électricité.....	70
7.2.2	Evolution de la consommation au cours du temps.....	71
7.3	Structure par usage de la consommation électrique	73
7.3.1	Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages.....	73
7.3.2	Répartition de la consommation annuelle entre les périodes d'occupation et d'inoccupation.....	73
7.4	Structure par usage de la puissance de pointe	75
7.5	Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage.....	77
7.5.1	Bureautique et audiovisuel	77
7.5.2	Eclairage.....	86
7.5.3	Ascenseur	104
7.5.4	Volets roulants.....	105
7.5.5	Etude de la sous station	106
7.5.6	Ventilation.....	111
7.5.7	Usages thermiques de l'électricité.....	113
7.5.8	Appareils divers en salle des maîtres	116
7.5.9	Synthèse	118
CHAPITRE 8 : REPOSES AU QUESTIONNAIRE.....		119
CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES		120
9.1	Consommation totale.....	120
9.1.1	Comparaison entre les résultats de la mesure et le calcul RT (THCex) (prévisionnel)	120
9.1.2	Energie primaire	121
9.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques	123
CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS		124

INTRODUCTION

Notre bureau d'études a été missionné pour conduire une évaluation très détaillée et un suivi par mesure de 4 bâtiments rénovés ou en cours de rénovation de la Région Rhône Alpes et dont la caractéristique est la haute performance énergétique.

Celle-ci consiste en un relevé précis des consommations, de la qualité de l'air, du confort hygrothermique et du 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 visés et d'isoler des dysfonctionnements dans les installations pouvant être repris.

L'équipe se place donc dans une approche constructive, en partant de l'a priori que chaque maître d'œuvre 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 mesures.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION

1.1 Présentation de l'opération

1.1.1 Description du bâtiment

L'école est située à Echirolles dans le département de l'Isère. Elle comporte une école primaire, une école maternelle et un restaurant. L'évaluation des performances présentée dans le présent document porte uniquement sur l'école primaire.



Figure 1.1 : Photomontages du bâtiment

L'école primaire se compose d'un bâtiment parallélépipédique, et d'un petit bloc sanitaire situé côté Ouest, en prolongement d'un préau. Il est occupé par 152 personnes (145 élèves + 7 professeurs).

6 classes sont utilisées en permanence (CP, CP/CE1, CE1/CE2, CE2/CMA, CM1/CM2, CM2), les 3 premières au rez-de-chaussée, les trois dernières à l'étage. Les autres salles disponibles hébergent la salle des maîtres, une salle de musique, une salle arts plastiques et une salle pour le RASED. Au rez-de-chaussée se trouvent également le bureau du directeur et un autre bureau.

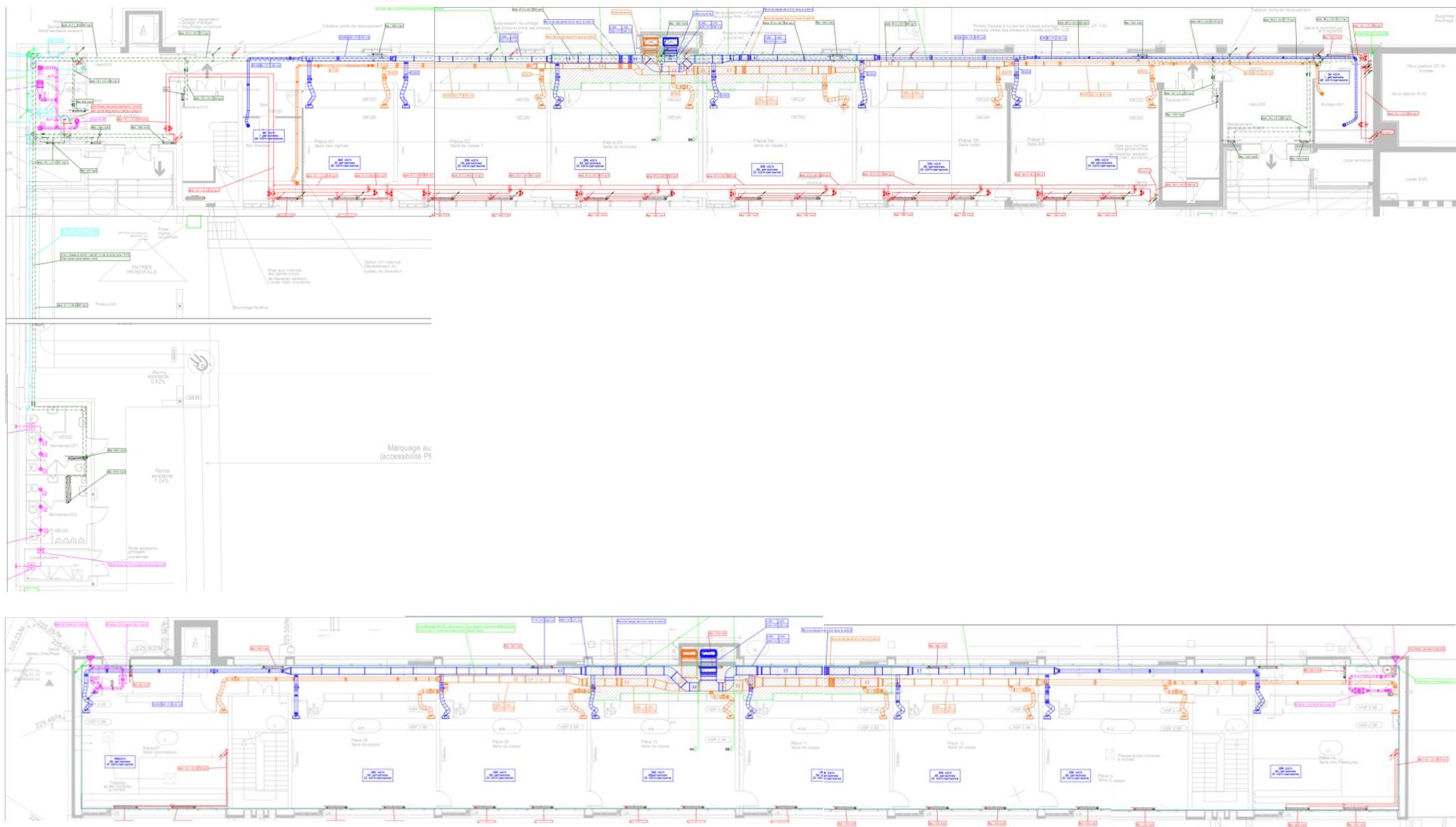


Figure 1.2 : Plans de l'école (rez-de-chaussée et étage)

	Intitulé du projet	Ecole primaire Jean Jaurès			
	Localisation	Echirolles (38)			
	Maître d'Ouvrage	Ville d'Echirolles			
	Surface utile	1244 m ²	SHON	1 305 m ²	
	Nombre de classes	6	Nombre d'étages	R+1	
Equipe de maîtrise d'œuvre	Architecte	ACOBAT			
	Economiste	EA2C			
	BE fluides	ETF			
	AMO HQE	SE&ME			
Entretien des installations techniques		CCIAG			
Enveloppe	Procédé constructif	Béton plein armé 35 cm			
	Compacité	2,08 m ² de surface déperditive par m ² SU			
	Murs extérieurs	ITE polystyrène graphité 16 cm R= 5 m ² .K/W			
		U =	0,196 W/m ² .K		
	Plancher bas	Flocage 19 cm R=4,63 m ² .K/W			
		U =	0,178W/m ² .K		
	Toiture	En combles non aménageables, Laine de roche 32 cm (R=7,1 m ² .K/W)			
		U =	0,138 W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double 4-16-4 peu émissif remplissage argon	Cadre	PVC
			Occultations : Volets roulants aluminium		
Uw =		1,5 W/m ² .K	Surface en tableau	253 m ²	
Classe d'étanchéité		A2	Soit 20 % de la SU		
Systèmes	Chauffage	Sous-station alimentée au primaire par le réseau de chauffage urbain, desservant les écoles maternelle et primaire, ainsi que le restaurant			
		Puissance installée	650 kW pour les 3 bâtiments		
		Emission	Radiateurs		
		Régulation terminale	Vanne de zone par classe, commandée par GTC et thermostat d'ambiance Robinets thermostatiques dans couloir		
	Ventilation	Centrale de traitement d'air (CTA) double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif			
		Débit de pointe	7500 m ³ /h	Efficacité échangeur	70 %
	ECS	3 chauffe-eau électriques de 15 l, 15 l et 75 l, 1600 W			
Photovoltaïque	86 m ² de membrane souple silicium amorphe, 4,08 kWc				
Performance	Objectif / label	label BBC – Effinergie rénovation			
	Calcul RT (THCex)	Cep = 60,0 kWh _{EP} /m ² _{SHON} , - 46 % par rapport à Cep ref			
	Simulation dynamique	-			

1.1.2 Description des installations électriques

Il existe un poste électrique tarif jaune commun pour l'école primaire, l'école maternelle et le restaurant.

Une armoire TGBT comporte des comptages pour chacun des 3 bâtiments.

1.1.3 Description des installations de ventilation

La ventilation des salles de classes est assurée par une CTA double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait par échangeur rotatif



Figure 1.3 : Photomontage de la CTA double flux

La CTA double flux est régulée à pression constante : grâce à des variateurs de vitesse, le débit varie en fonction de l'occupation des salles de classe.

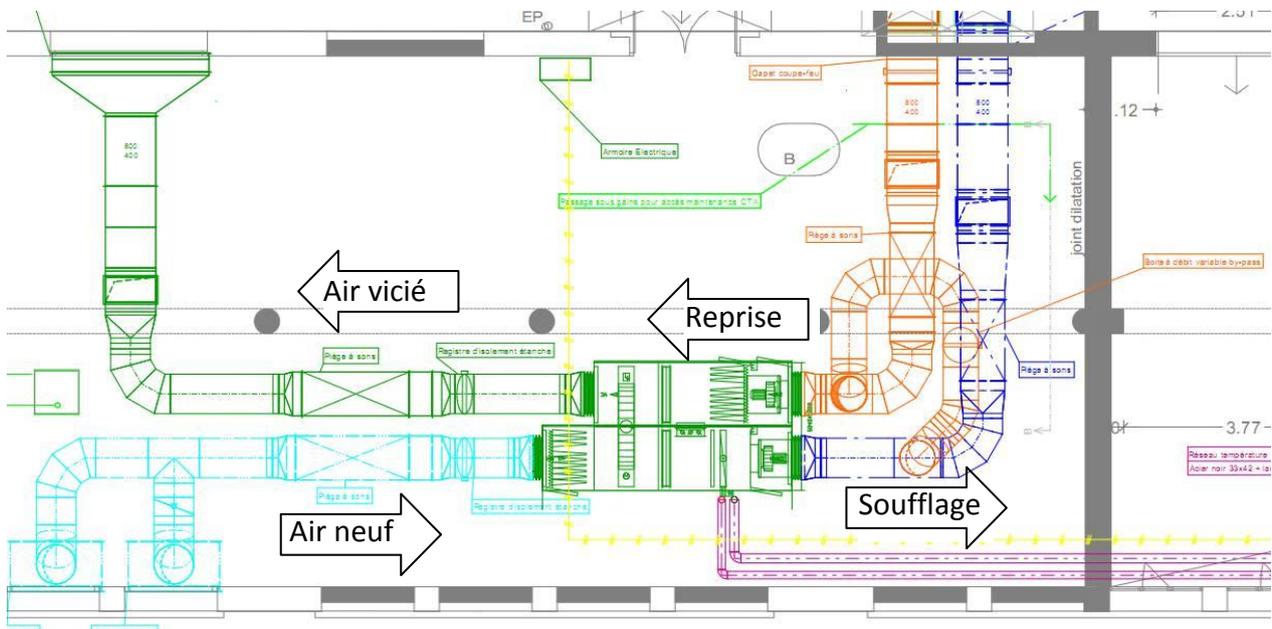


Figure 1.4 : Schéma de principe de la CTA double flux

Il existe dans chaque salle de cours des registres (un sur le soufflage et un sur l'extraction) pilotés par détection de présence dans la salle. Ces registres comportent un système de mesure de débit (figure 1.5 à gauche), une régulation de débit et un actionneur communiquant en LON. Le débit d'air est réglé en fonction de la mesure instantanée du débit, par action sur la position du volet du registre. Dans chaque salle, le fonctionnement de la ventilation est asservi à la présence par l'intermédiaire d'un détecteur de mouvement (temporisation réglable au démarrage et à l'arrêt). A partir du moment où il y a au moins une personne dans la salle, la régulation autorise le fonctionnement de la ventilation dans la salle par ouverture des régulateurs de débit motorisés présents sur les antennes de soufflage et de reprise de chaque salle. Le fonctionnement est temporisé et relancé par la détection de mouvement après chaque temporisation.



Figure 1.5 : Mesure (○) et réglage du débit (○) dans les salles de classes (à gauche) et mesure du débit (○) sur un ventilateur de la CTA (à droite)

Au niveau de la centrale d'air, le réglage du débit d'air de la CTA (soufflage comme reprise) est assuré à partir de l'information d'une sonde de pression placée dans la gaine de soufflage en agissant sur des variateurs de fréquence pilotant chaque ventilateur. Le débit est mesuré sur chacun des 2 ventilateurs, grâce à un organe déprimogène (figure 1.5 à droite). Pour assurer le débit minimum nécessaire pour la pérennité des ventilateurs (refroidissement) de l'ordre de 30% du débit de pointe, la régulation gère l'ouverture et la fermeture proportionnelle d'un régulateur de débit monté en by-pass entre air soufflé et air repris ainsi que celui d'un caisson 3 voies de mélange intégré dans la CTA. Entre 100% et 30% du débit de pointe, les régulateurs de débit jouent leur rôle by-pass fermé. En-dessous, une partie du débit d'air soufflé est by-passé afin de maintenir au minimum 30 % du débit de pointe au niveau de chaque ventilateur, le complément est envoyé dans l'installation en fonction de la demande des régulateurs de soufflage et de reprise.

En période chaude, la CTA peut assurer une surventilation nocturne : dans ce cas, tous les registres sont ouverts et le débit de la CTA est augmenté. Cette possibilité est autorisée en fonction d'une programmation horaire, journalière hebdomadaire et annuelle du fonctionnement de l'école, et en fonction de l'écart entre les températures intérieure et extérieure.

D'après les services techniques de la Ville, cette possibilité n'est autorisée que les lundis, mardis, jeudis et vendredis, hors période de vacances. On verra plus loin que le fonctionnement réel de correspond pas à ce souhait.

Des extracteurs à débit constant sont installés dans les sanitaires :

- Sanitaires côté Est, étage : extracteur en conduit TD 350, débit 30 m³/h
- Sanitaires côté Ouest, rez-de-chaussée et étage : extracteur caisson VIM JBEB 05, débit 135 m³/h
- Bloc sanitaire extérieur : 2 extracteurs existants maintenus en place

1.1.4 Description des installations thermiques

L'installation de chauffage est raccordée au réseau de chaleur de l'agglomération.

L'échangeur possède une puissance nominale de 650 kW.

Il existe ensuite 3 circuits principaux, équipés de compteurs de chaleur (cf. figure 1.7). L'un alimente le restaurant, le deuxième l'école maternelle et le troisième l'école primaire.

Ce dernier comporte trois sous-circuits :

- Radiateurs zone Sud
- Radiateurs zone Nord (couloirs et sanitaires)
- Batterie chaude de la CTA

La batterie des CTA est munie d'une vanne trois voies en entrée permettant de réguler la température de l'air soufflé.



Figure 1.6 : Photographie de l'échangeur chauffage urbain (gauche) et de la sous-station (droite)

L'eau chaude sanitaire est produite par trois chauffe-eau électriques indépendants :

- 1 chauffe-eau de 75 litres en faux plafond du rez-de-chaussée, dans les sanitaires Ouest, d'une puissance de 1,6 kW, marque Pacific
- 1 chauffe-eau de 15 litres en faux plafond de l'étage, dans les sanitaires Ouest, d'une puissance de 1,6 kW, marque Pacific, type Arpège
- 1 chauffe-eau de 15 litres en faux plafond de l'étage, dans les sanitaires Est, d'une puissance de 1,6 kW, marque Pacific, type Arpège

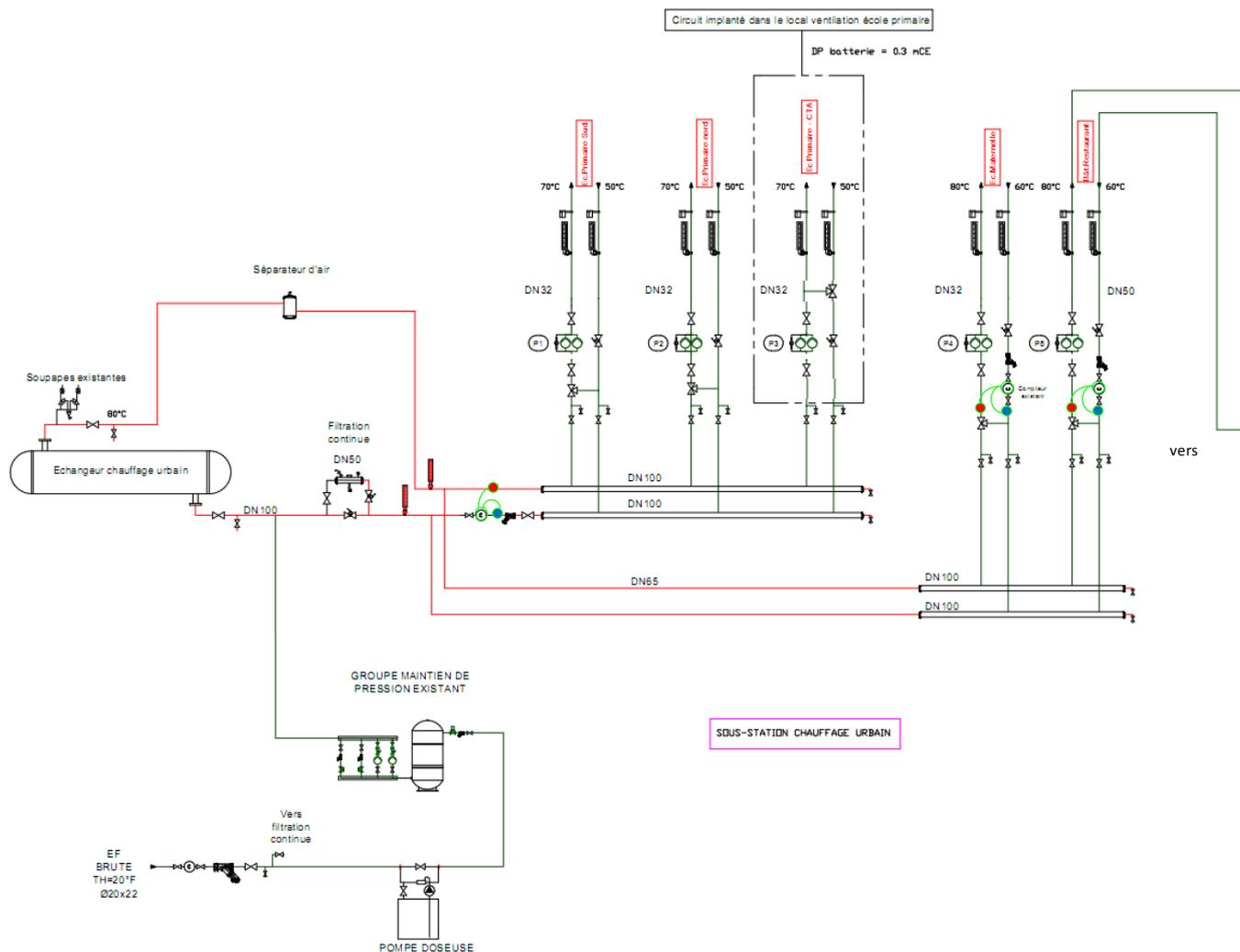


Figure 1.7 : Schéma de principe de la sous station

1.1.5 Description de la GTB

Une Gestion Technique de Bâtiment supervise le fonctionnement de l'ensemble de l'école. Elle pilote les pompes de distribution, les températures de départ des circuits de chauffage en fonction de la température extérieure, ainsi que les régimes centralisés de températures confort (20 °C), réduit (16 °C), et hors gel dans les locaux. Des régulateurs placés dans chaque classe permettent de moduler les températures de confort par rapport à ce régime commun, dans la limite de +/- 3 °C réglé en usine, ajusté à +/- 1 °C d'après la CCIAG.

Aussi bien d'après le CCTP que d'après le cahier fonctionnel de la GTB, les pompes des deux réseaux de chauffage fonctionnent avec une optimisation au démarrage et à l'arrêt. La GTB pilote également les différents fonctionnements du bâtiment selon les programmes horaires donnés ci-dessous, qui nous ont été communiqués par la CCIAG.

	Chauffage zone Sud		Chauffage zone Nord		Ventilation	
	De	à	De	à	De	à
Lundi	7 h 00	17 h 00	6 h 30	17 h 00	7 h 30	17 h 30
Mardi	7 h 00	17 h 00	7 h 00	17 h 00	7 h 30	17 h 30
Mercredi						
Jeudi	7 h 00	17 h 00	7 h 00	17 h 00	7 h 30	17 h 30
Vendredi	7 h 00	17 h 00	7 h 00	17 h 00	7 h 30	17 h 30
Samedi						
Dimanche						

Figure 1.8 : Plages horaires programmées dans la GTB

Ces horaires peuvent évoluer selon les choix opérés par la Ville, et ceci peut expliquer pourquoi nos mesures mettent en évidence des écarts par rapport à ces valeurs nominales.

Sur la GTB sont programmées également les périodes d'occupation et inoccupation (mercredis, fins de semaine, vacances).

1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Nombre de mesureurs posés : 196

Pas de temps de la mesure : 10 minutes

Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant développé en interne.

Définition des périodes d'occupation (pour l'étude du confort dans les classes) : heures de classe, soit du lundi au vendredi de 8H30 à 11h30 et de 13h30 à 16h30 hors vacances, week-end, mercredi et jours fériés.

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 16/02/2012
	Diagnostic infra rouge	N
	Quantité CO2	2 classes suivies
	Données météorologiques	Température, humidité relative
Salles de classe	Eclairage	O
	Température	O
	Humidité	O
	Poste informatique	O
Salle des maîtres	Poste audiovisuel	O
	Poste cuisine (micro-ondes, cafetières/réfrigérateur)	O
	Photocopieur	O
Services généraux	Compteur électrique général	O
	Consommation des auxiliaires de sous station, CTA...	O
	Consommation éclairage différents circuits	O
	Consommation électrique serveur	O

	Production photovoltaïque	0
	Consommation électrique chauffe eau	0
	Comptages de chaleur	0
	Température/Humidité dans les locaux	0
	Températures de contact sur les radiateurs	0
	Températures « techniques » (départ/retour), air ...	0

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES

Les caractéristiques du climat sont comparées aux moyennes trentenaires de la période 1981-2010 (obtenues sur le site <http://climat.meteofrance.com/>).

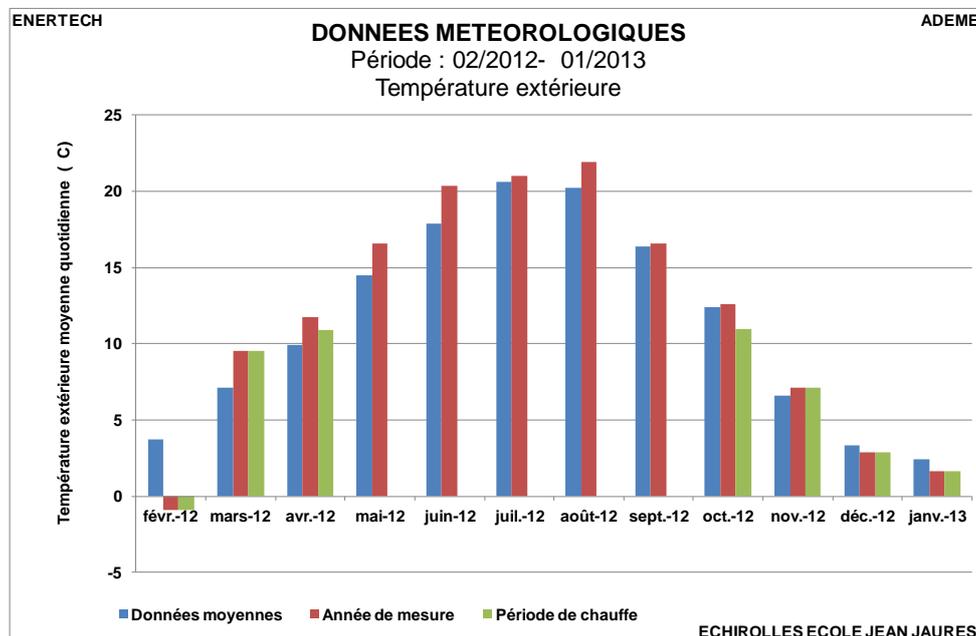
2.1 Température extérieure

Notre sonde de température ayant fourni des données incomplètes, nous avons extrait les données pour la période correspondante du site www.meteociel.fr. L'année de suivi a été globalement très légèrement plus chaude que les moyennes trentenaires de 1981 à 2010 (+ 0,5 °C en moyenne annuelle).

La période estivale (juin – septembre) a été nettement plus chaude que les moyennes trentenaires (+ 1,2°C par rapport aux données trentenaires 1981-2010).

Pour la période hivernale, le mois de février 2012 a été particulièrement froid (pic de froid), les mois de décembre 2012 et janvier 2013 ont été également un peu plus froid que la moyenne. Par contre le printemps et l'automne ont été légèrement plus chauds. Ce qui donne une moyenne sur la saison de chauffe légèrement plus froide que la moyenne (- 0,4 °C).

La température minimale observée vaut -12,6 °C, mais la température extérieure n'est plus basse que la température de base (-11 °C à Grenoble) que pendant 11 heures.



**Figure 2.1 : Données météorologiques
Température extérieure**

2.2 Ensoleillement

Les données de durées d'insolation ont été obtenues à partir du site <http://www.suivi-ines.fr>. A partir de ces données, nous avons calculé les irradiations globales horizontales correspondantes, et nous les avons comparées aux irradiations globales horizontales obtenues à partir des moyennes trentenaires des durées d'insolation.

Au cours de l'année de mesure, le cumul annuel de l'irradiation est de 1 254 kWh/m² ce qui est identique à celui des données trentenaires. Par contre, la répartition mensuelle est différente, avec des mois de février et mars plus ensoleillés, et un été et un automne globalement moins ensoleillés.

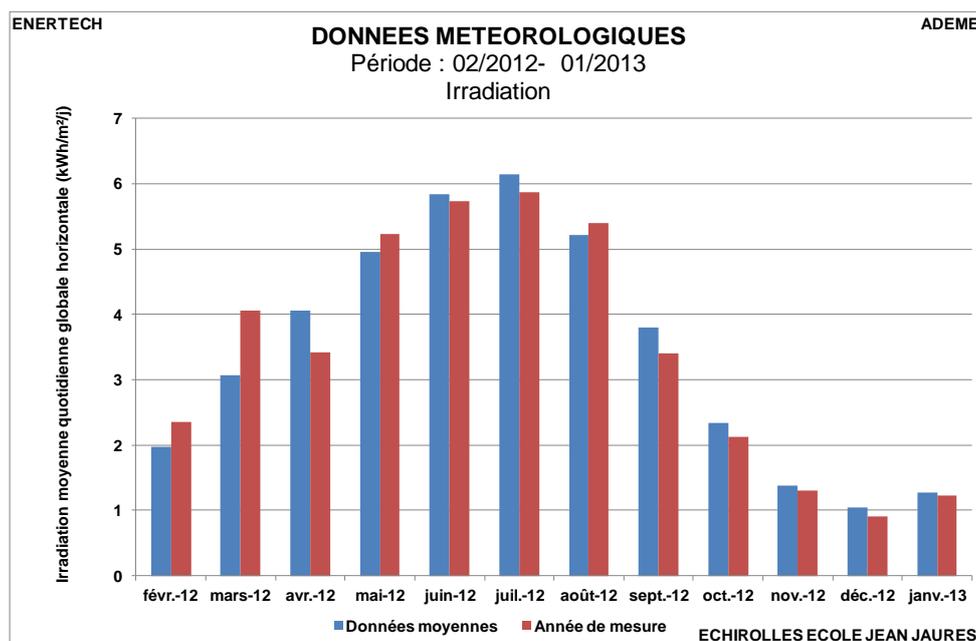


Figure 2.2 : Evolution mensuelle de l'irradiation horizontale calculée à partir des durées d'insolation mesurée

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE

3.1 Test à la porte soufflante

Nous avons fait réaliser un test le 16/02/2012 par le bureau d'études indépendant Energie Positive. Il a porté sur l'ensemble de l'école.

La valeur $Q_{4Pa-surf}$ globale s'élève à **0,772** $m^3/h.m^2$. La valeur moyenne de n_{50} est de **1,08 vol/h**. Ces valeurs sont bonnes puisque le $Q_{4Pa-surf}$ obtenu est plus d'une fois et demie meilleur que la valeur de référence de la RT 2005 dans le neuf ($1,2 m^3/h.m^2$). Par contre, l'étanchéité est quand même largement moins bonne que celle demandée pour des bâtiments de niveau passif, puisque le n_{50} vaut 1,8 fois le seuil imposé par le label allemand « Passivhaus » (0,6 vol/h).

D'autres tests ont été réalisés en cours de chantier et au moment de la réception. Les principaux résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Date	05/11/2010	06/06/2011	06/07/2011	16/02/2012		
Phase	Chantier	Réception		Occupation		
Prestataire	METI			Energie Positive		
Volume concerné	1 classe	bâtiment entier				
	Unité	Cible				
$Q_{4Pa-surf}$	$m^3/h.m^2$	0,8	1,98	1,31	0,87	0,772
n_{50}	Vol/h		1,54	2,18	1,57	1,08
n_{10} (confinement)	Vol/h	0,8	0,56	0,86	0,59	

Figure 3.1 : résultats des tests d'étanchéité à l'air successifs

Les photographies 3.2 à 3.9 illustrent les principales fuites détectées lors du test d'étanchéité.

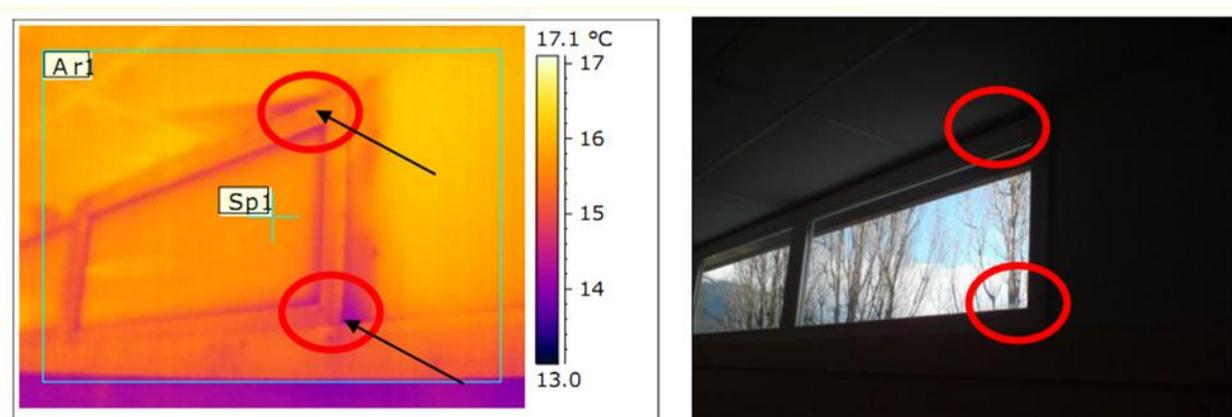


Figure 3.2 : Défaits d'étanchéité à l'air au niveau des menuiseries du couloir du RDC : raccords menuiserie / mur

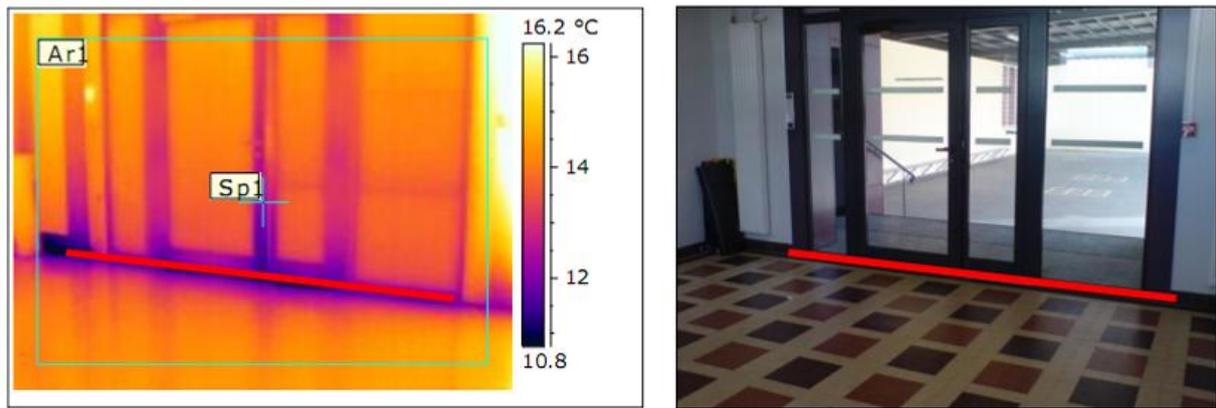


Figure 3.3 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau de la menuiserie de la 2^{ème} entrée du bâtiment (seuil)

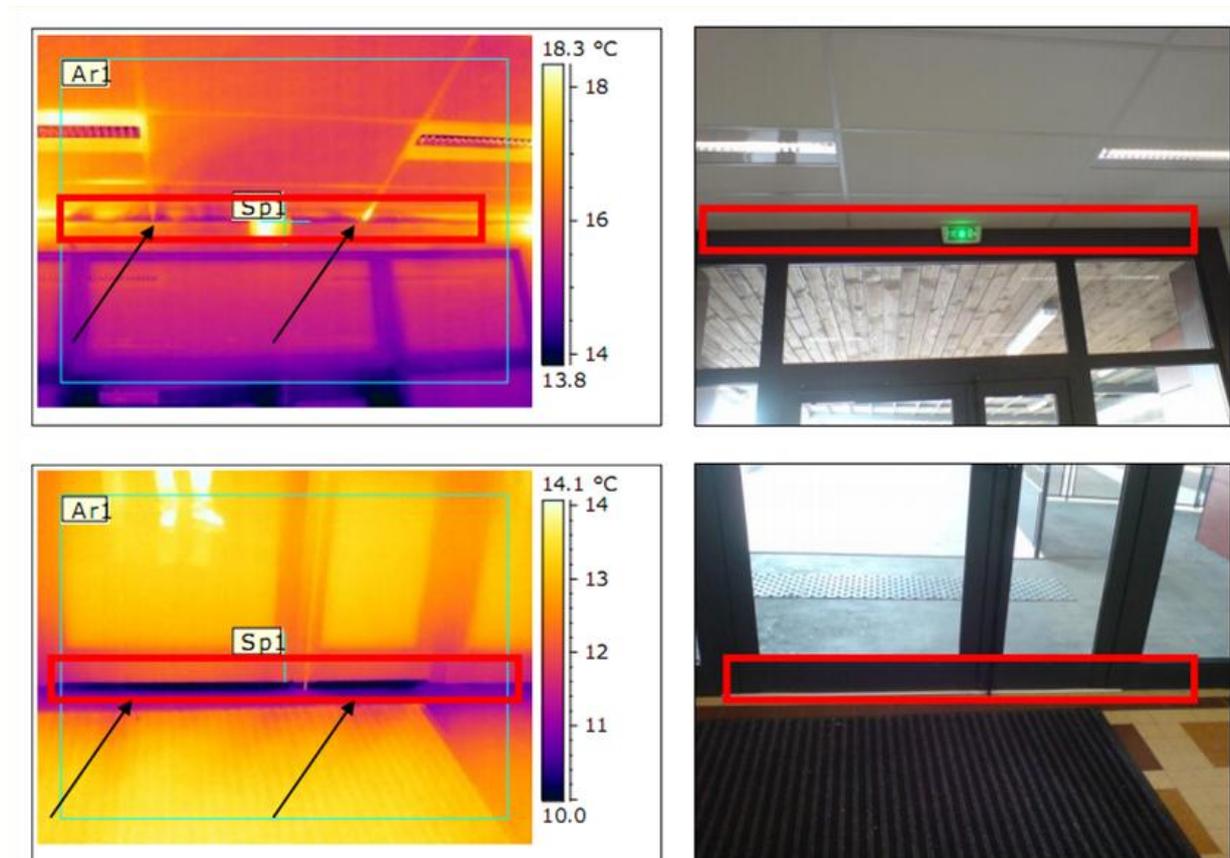


Figure 3.4 : Défaits d'étanchéité à l'air au niveau de la menuiserie de l'entrée principale : raccord menuiserie / mur (photos du haut) et seuil (photos du bas).

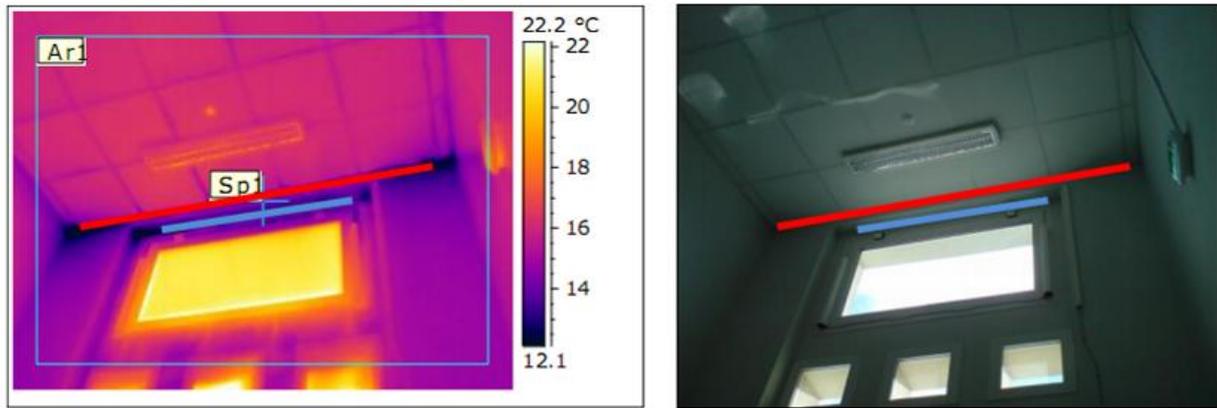


Figure 3.5 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau de la montée d'escalier EST : raccord menuiserie / mur (couleur bleue) et raccord mur / toiture (couleur rouge).

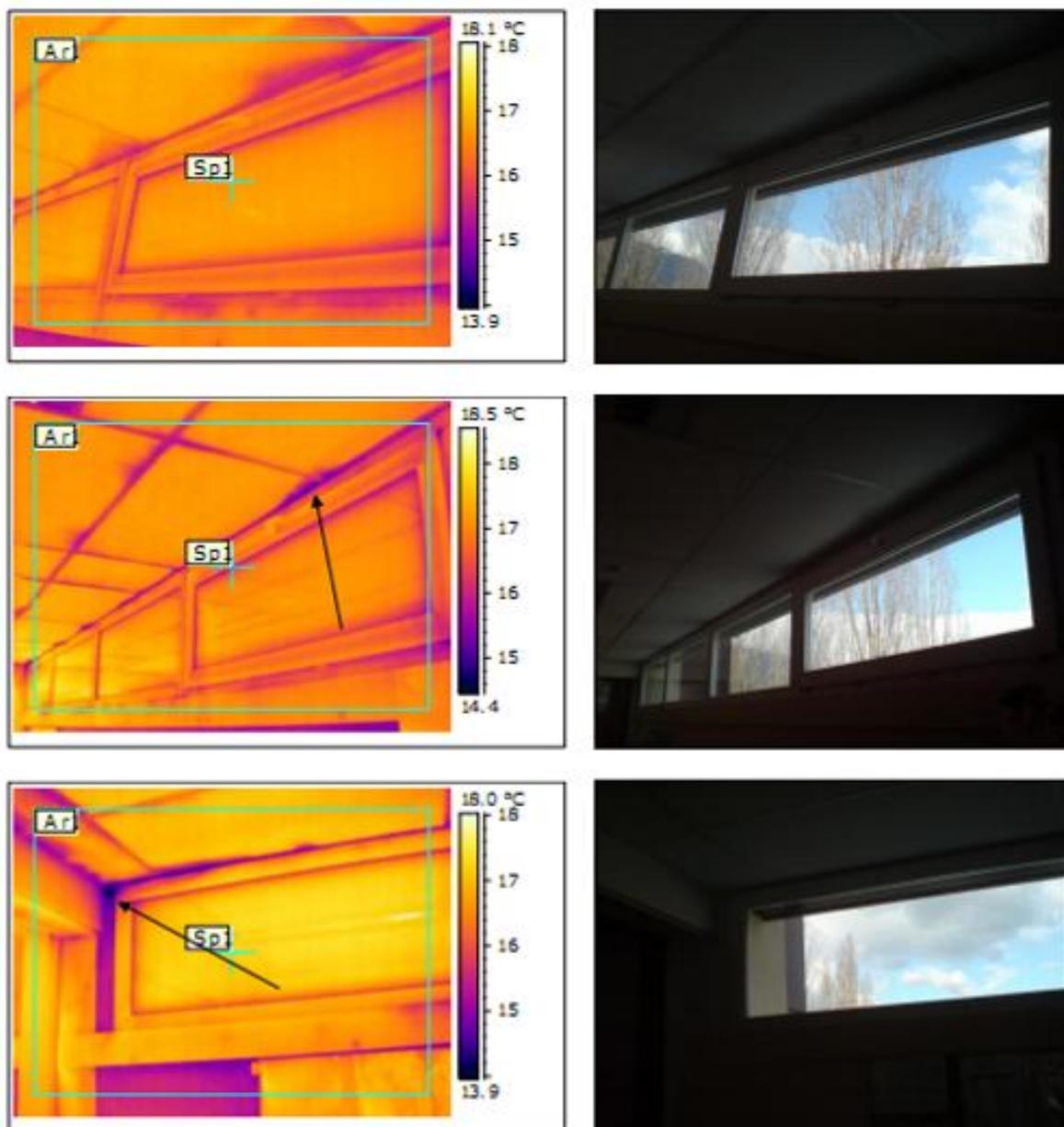


Figure 3.6 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau des menuiseries du couloir, R+1.

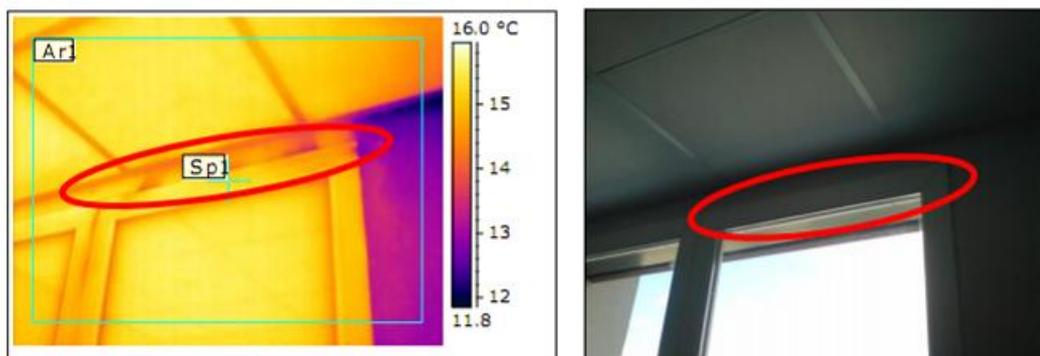


Figure 3.7 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau du raccord Menuiserie / Mur, WC OUEST, R+1

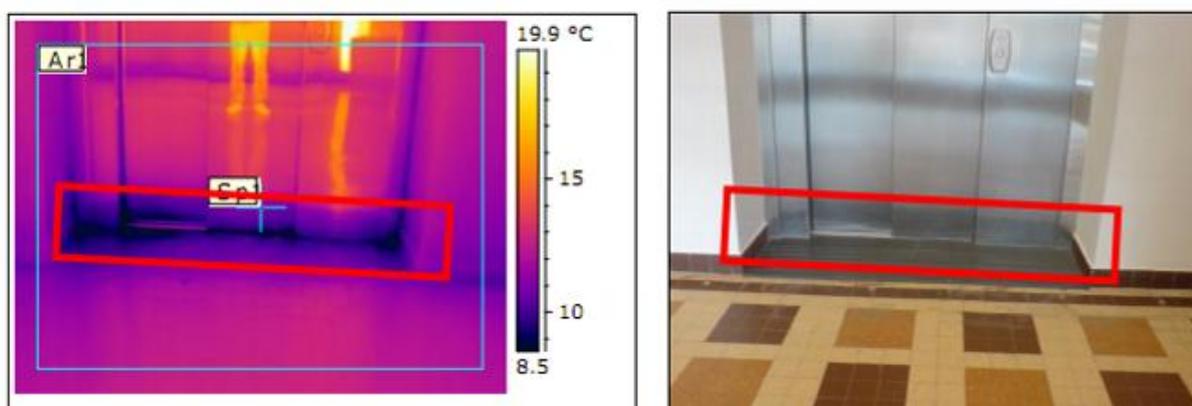


Figure 3.8 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau des portes de l'ascenseur du RDC.

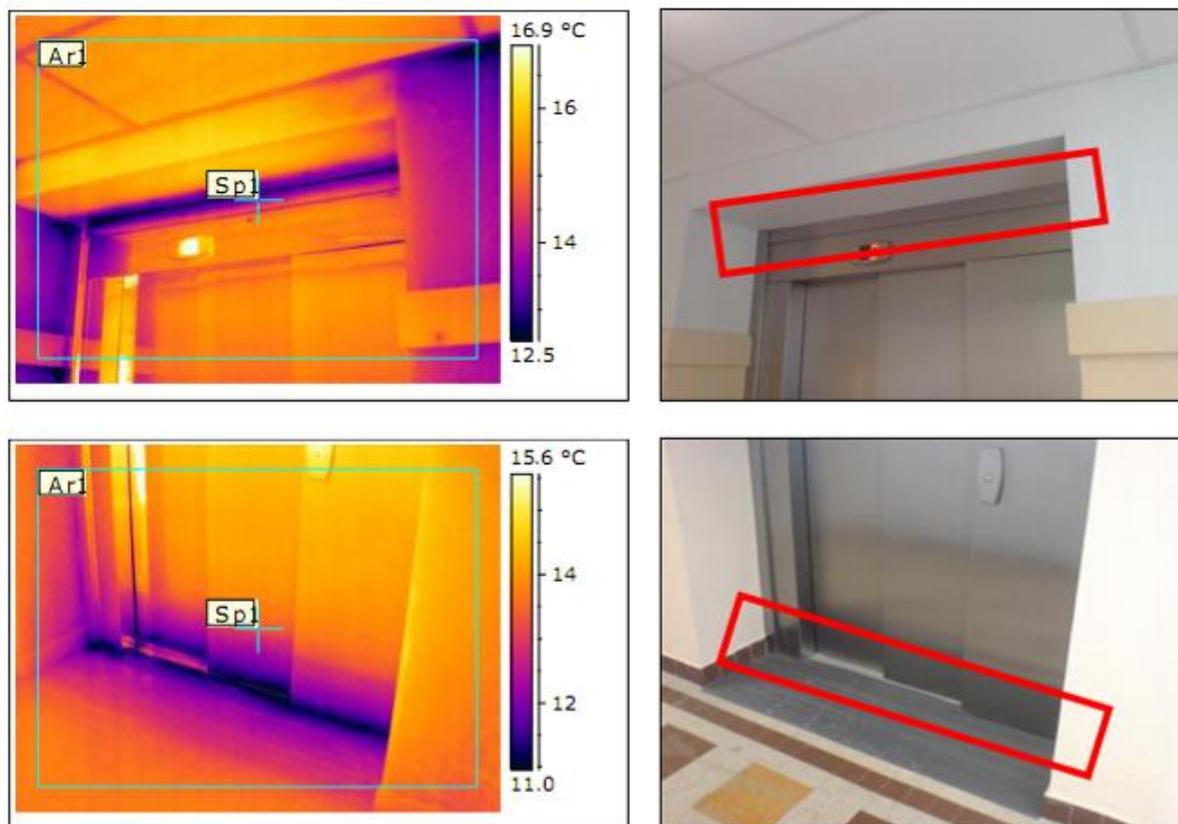


Figure 3.9 : Défaits d'étanchéité à l'air détectés au niveau des portes de l'ascenseur du R+1

CHAPITRE 4 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

4.1 Evaluation de la qualité de l'air

4.1.1 Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques,...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air intérieur :

Catégorie	Description	concentration en CO ₂ : niveau en plus de l'air neuf (ppm). Intervalle-type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	> 1000

Figure 4.1 : Classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779)

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 4.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, soit 412 ppm.

Des capteurs de CO₂ ont été posés dans 2 classes du 18/01/2012 au 02/05/2012 : le capteur de la classe n°5 a cessé de fonctionner après le 25/01/2012, et celui de la classe n°14 n'a pas fonctionné entre le 31/01/2012 et le 05/03/2012.

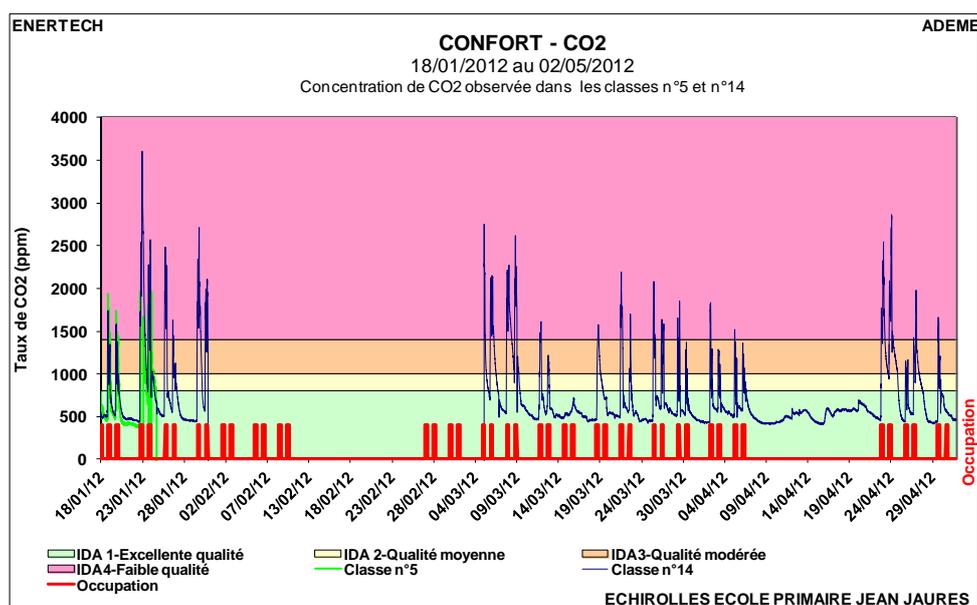


Figure 4.2 : Variation de la concentration en CO₂

On observe que la qualité de l'air présente fréquemment des pics dans la zone faible qualité, évidemment pendant les périodes d'occupation de classes (8h30 – 11h30 et 13h30 – 16h30)

La courbe des fréquences cumulées montre qu'en occupation, l'air est de faible qualité pendant plus de la moitié du temps. Rappelons que le Règlement Sanitaire Départemental Type recommande une concentration maximale de 1300 ppm, qui correspond approximativement aux zones IDA-1 à IDA-3.

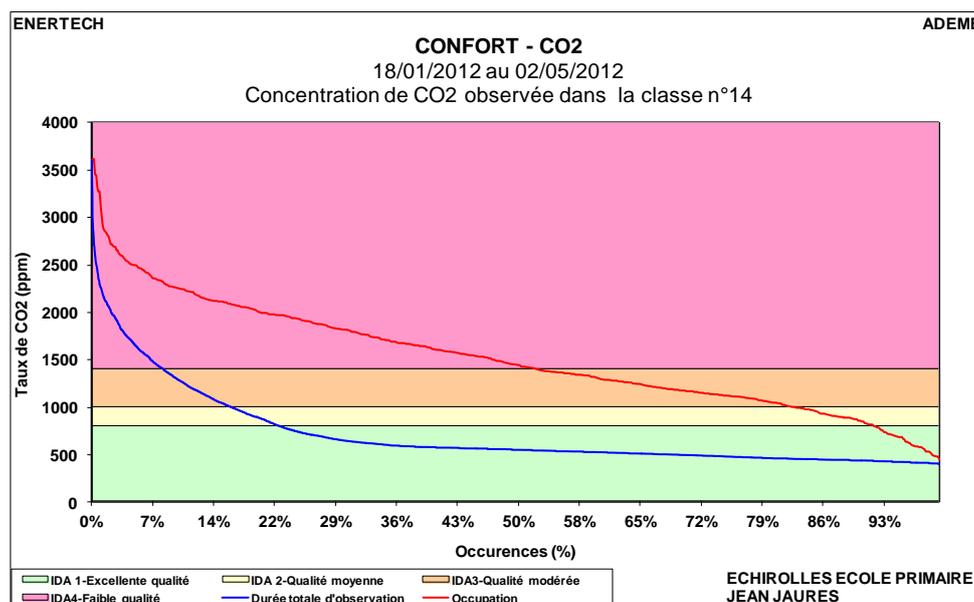


Figure 4.3 : Fréquences cumulées de la concentration en CO2

Si on zoome pendant les journées où les classes sont occupées, on observe d'importantes variations journalières (cf. figure 4.4). Ainsi la concentration augmente rapidement avec l'arrivée des élèves, mais chute peu pendant les différentes pauses, y compris pendant la pause de 2 heures entre 11 h30 et 13h30. Le débit de ventilation étant réglé dans chaque salle de classe par un registre motorisé asservi à une sonde de détection de présence, lorsque les élèves quittent la classe, le débit chute et l'air est ainsi moins renouvelé pendant les pauses.

Au début des journées qui suivent des journées inoccupées (lundi et jeudi), la concentration est minimale, de l'ordre de 500 ppm, alors que pendant les journées qui suivent des journées d'occupation (mardi et jeudi), la concentration n'est redescendue qu'à environ 670 ppm en début d'occupation.

En fin de journée, la ventilation fonctionne jusqu'à 17 h 30, conduisant à une baisse prononcée du taux de CO2, qui décroît ensuite plus faiblement jusqu'au lendemain matin. La baisse moins marquée observée le lundi peut être liée à la présence d'enfants jusqu'à 17h30, pour un temps d'accompagnement post-scolaire (à vérifier).

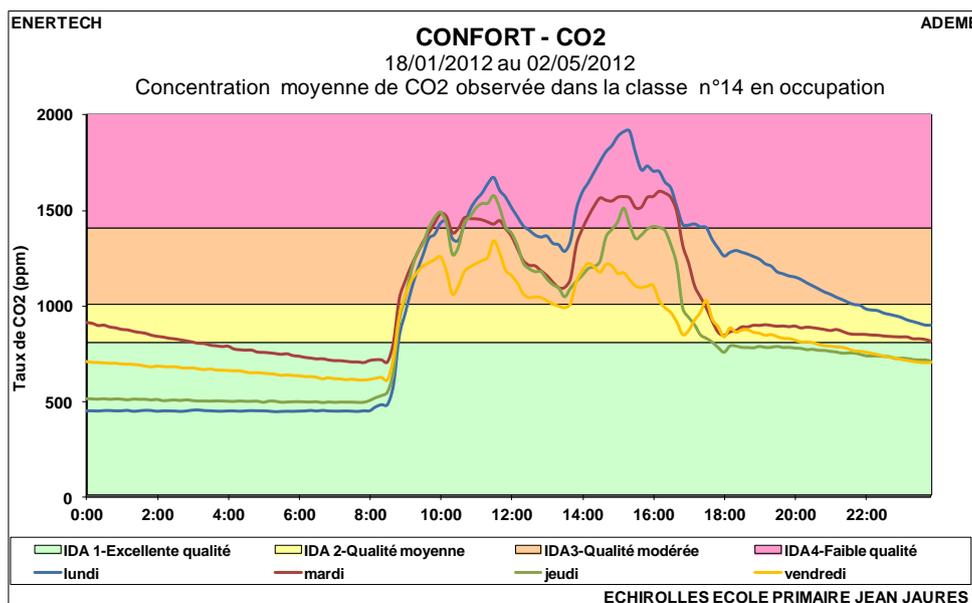


Figure 4.4 : Variation de la concentration en CO2 les jours ouvrés

Le CSTB a établi un protocole de mesure du CO2, permettant de calculer un indice de confinement nommé ICONÉ (voir encadré ci-dessous)¹ :

L'indice de confinement ICONÉ est alors calculé suivant la formule :

$$ICONÉ = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)} \right) \log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

f_1 : proportion de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm $\left(f_1 = \frac{n_1}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$

f_2 : proportion de valeurs supérieures à 1700 ppm $\left(f_2 = \frac{n_2}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$

L'indice de confinement est calculé pour chaque salle instrumentée et exprimé avec une précision égale à 1 (c'est-à-dire arrondi avec 0 chiffre après la virgule) selon la règle suivante :

Valeur brute de l'indice de confinement	Valeur retenue de l'indice de confinement
ICONÉ < 0,5	0
0,5 ≤ ICONÉ < 1,5	1
1,5 ≤ ICONÉ < 2,5	2
2,5 ≤ ICONÉ < 3,5	3
3,5 ≤ ICONÉ < 4,5	4
ICONÉ ≥ 4,5	5

Figure 4.5 : Mode de calcul de l'indice ICONÉ

¹ CSTB : Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs, DESE/Santé N°2012-086R, mai 2012, 10 p.

A partir des mesures effectuées dans la salle de classe n°4, nous avons calculé l'indice de confinement ICONE selon la méthode indiquée. Deux évaluations ont été faites :

- La première se base sur les mesures de présence que nous avons réalisées : les détecteurs installés déterminent la durée de présence, par pas de 10 minutes, en donnant pour chacun d'entre eux la durée effective de présence. Le graphique 4.6 montre les scénarios d'occupation-type, où l'on voit bien la présence des élèves entre 8 h 30 et 11 h 30 et entre 13 h 30 et 16 h 30, avec une coupure pour la récréation. En dehors de ces plages, l'occupation n'est pas nulle : présence des maîtres, occupation après le temps scolaire pour du soutien scolaire, ou présence du personnel d'entretien.

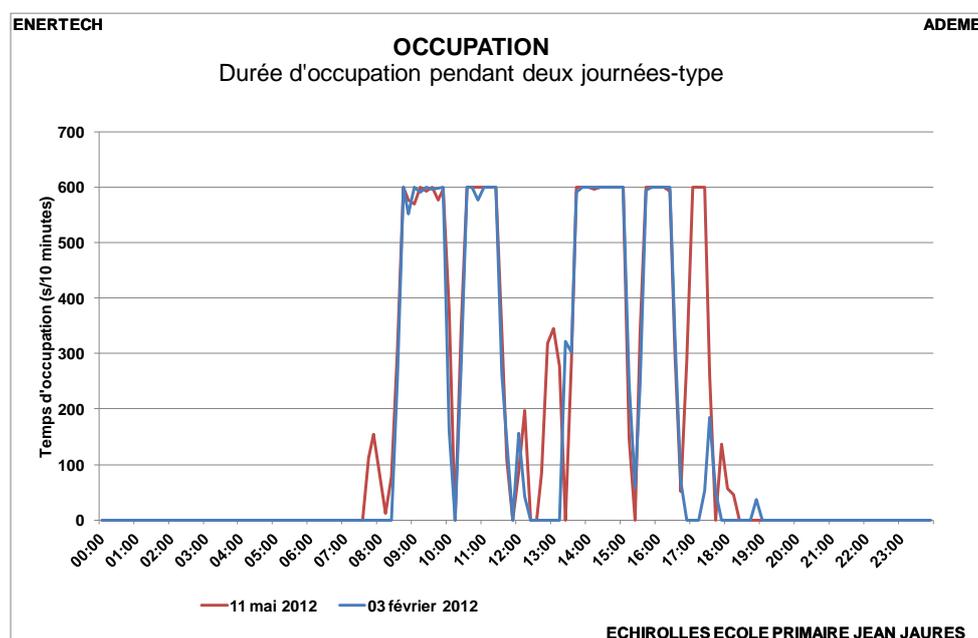


Figure 4.6 : Exemple de séquences d'occupation des salles de classe

- La deuxième prend en compte uniquement les plages théoriques d'occupation par les élèves : 8 h 30 à 11 h 30 et 13 h 30 à 16 h 30

Concentration (ppm)	Heures où indice de présence ≥ 0.5				Heures de présence théorique			
	Nombre d'occurrences		Fréquences		Nombre d'occurrences		Fréquences	
≤ 1000	n0	288	f0	28,9%	n0	215	f0	33,3%
> 1000 et ≤ 1700	n1	405	f1	40,6%	n1	243	f1	37,6%
> 1700	n2	305	f2	30,6%	n2	188	f2	29,1%
total		998		100,0%		646		100,0%
Indice ICONE	valeur brute			3,04	valeur brute			2,92
	valeur retenue			3	valeur retenue			3

Figure 4.7 : Calcul de l'indice ICONE dans la classe n°4

Les deux modes de calcul donnent des résultats très voisins, conduisant à une valeur retenue pour l'indice de confinement égale à 3, c'est-à-dire un confinement élevé sans être préoccupant (ce qualificatif s'appliquant pour les confinements 4 ou 5).

Le décret no 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération (...) de certains établissements recevant du public indique que "*des investigations complémentaires doivent être menées et le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé*" si l'indice ICONE atteint la valeur 5.

Enfin, pendant les périodes d'occupation des classes par les élèves, la concentration moyenne vaut 1 467 ppm. Cette valeur élevée alors que l'école dispose d'une ventilation double flux performante conduit à l'interroger sur le mode de diffusion d'air et le balayage dans les classes. Ce point sera discuté au paragraphe 5.1.5.

4.1.2 Le radon

Aucune mesure de radon n'a été effectuée, l'Isère ne faisant pas partie des 31 départements où des mesures doivent être réalisées dans les établissements recevant du public.

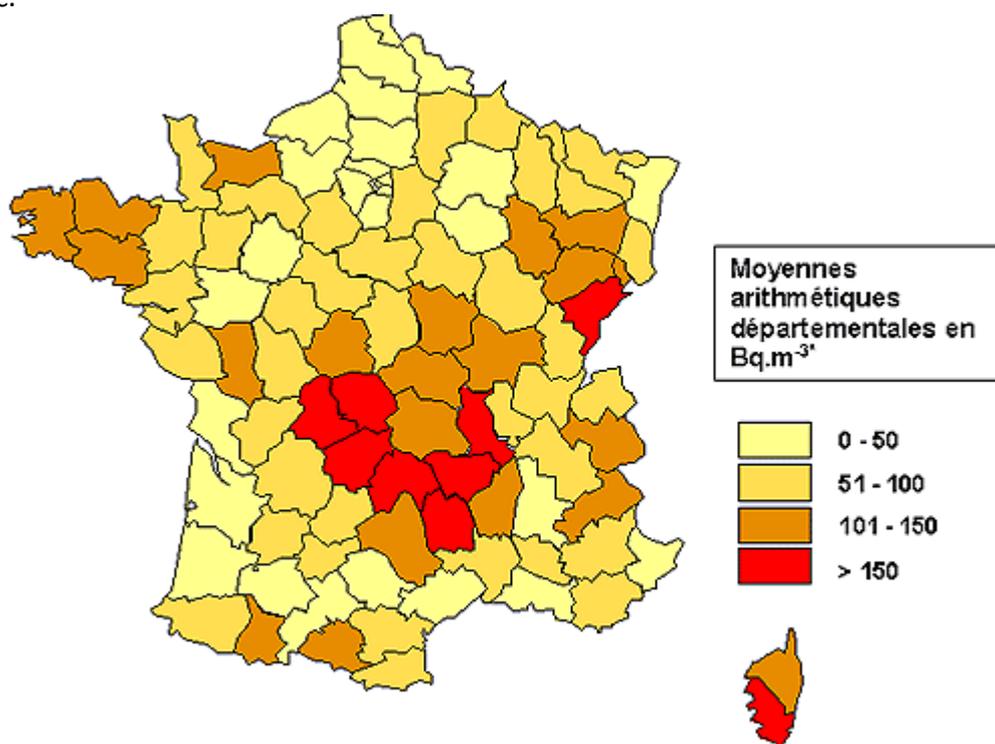


Figure 4.8 : Carte des activités volumiques du radon dans les habitations (Bilan de 1982 à 2000, campagne nationale de mesure de la radioactivité naturelle dans les départements français - IPSN /DPHD-SEGR-LEADS : Bilan du 01 Janvier 2000)

4.2 Etude du confort d'hiver

Dans ce paragraphe on définit l'hiver comme la période allant du **21 janvier 2012** au **29 février 2012** et du **01 décembre 2012** au **20 janvier 2013**. En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année pendant laquelle le chauffage fonctionne et nous nous intéressons aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge ».

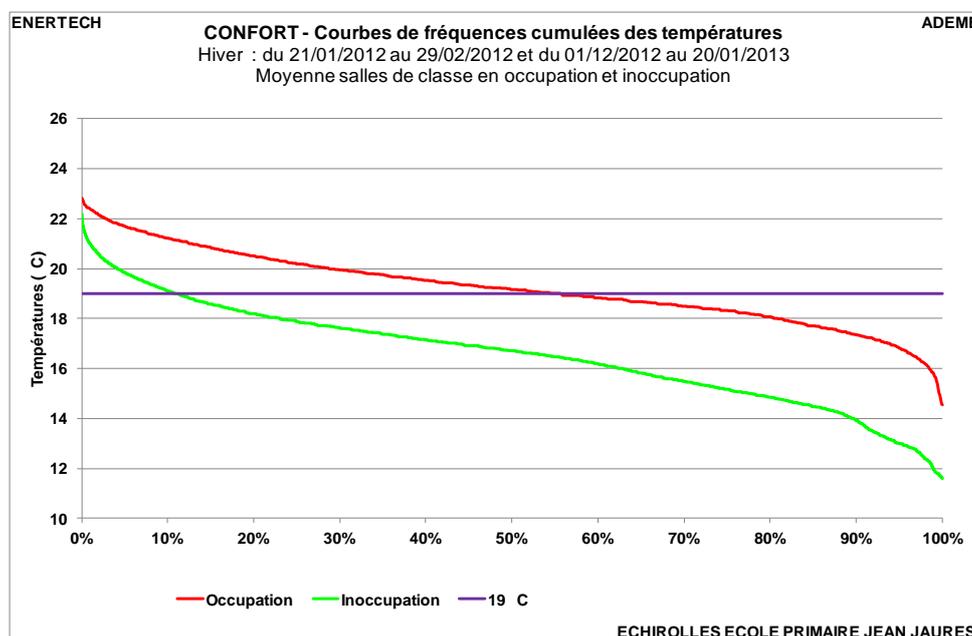
Les températures moyennes sont calculées en pondérant la valeur moyenne des salles par leur surface.

Les périodes d'occupation (confort) sont les heures de classe, soit du lundi au vendredi de 8 h 30 à 11 h 30 et de 13 h 30 à 16 h 30 hors vacances, week-ends, mercredis et jours fériés.

4.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La figure 4.9 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans l'ensemble des pièces en périodes d'occupation et d'inoccupation.

La température moyenne dans les salles de classes en période d'occupation est à peine supérieure à 19 °C, ce que nous avons rarement observé jusqu'à maintenant dans d'autres campagnes de mesure. En période d'inoccupation, un réduct conséquent des températures intérieures est observé, avec une baisse moyenne de 2,6 °C par rapport à l'occupation.



Hiver - Moyenne salles de classe	Température (°C)	Périodes d'occupation	Périodes d'inoccupation
	Moyenne	19,2	16,6
	Minimale	14,6	11,6
	Maximale	22,8	22,2

Figure 4.9 : CONFORT – Courbes de fréquences cumulées de la température moyenne

La température moyenne maintenue en période d'occupation du bâtiment vaut **19,2°C**. Elle est inférieure à 19°C (température réglementaire) pendant 44 % du temps et dépasse 20°C pendant 28 % du temps.

Le graphique de la figure 4.10 représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des salles de classe en période d'occupation. On note une dispersion assez marquée entre les salles avec un écart moyen de 1,8 °C entre la salle la plus chaude (classe n°5) et la plus froide (classe n°14).

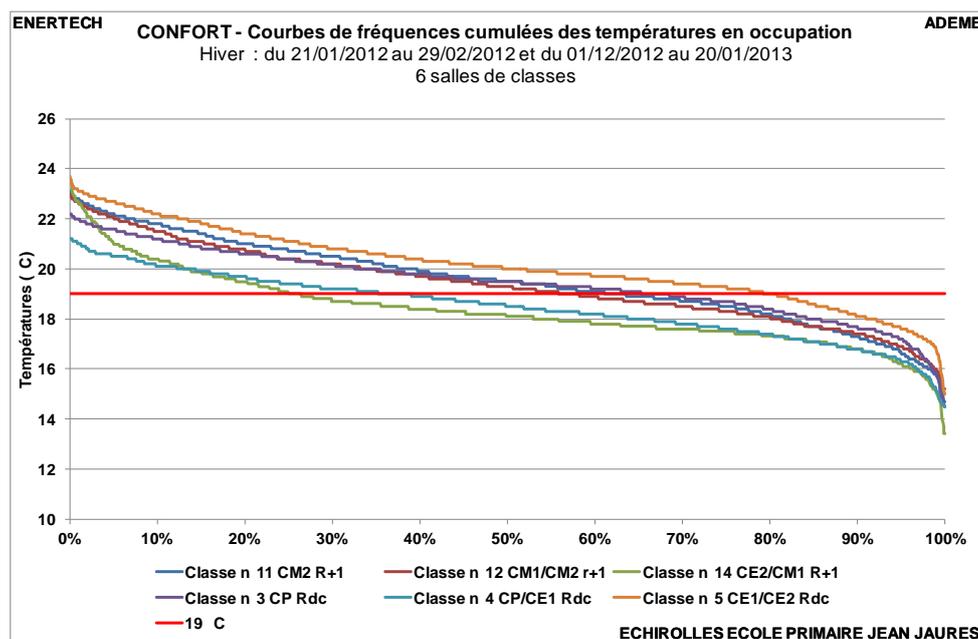


Figure 4.10 : CONFORT - Occupation - période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées des températures des classes

En ce qui concerne les autres locaux où nous avons mesuré les températures, nous observons des températures globalement basses (figure 4.11). Mais il faut noter que tous ces locaux ne sont occupés qu'occasionnellement, les salles de musique, d'informatique ou d'arts plastiques étant utilisées sur des périodes courtes par l'une ou l'autre des classes. Le bureau du directeur est lui aussi inoccupé la plupart du temps, la direction de l'école étant assurée par un des instituteurs.

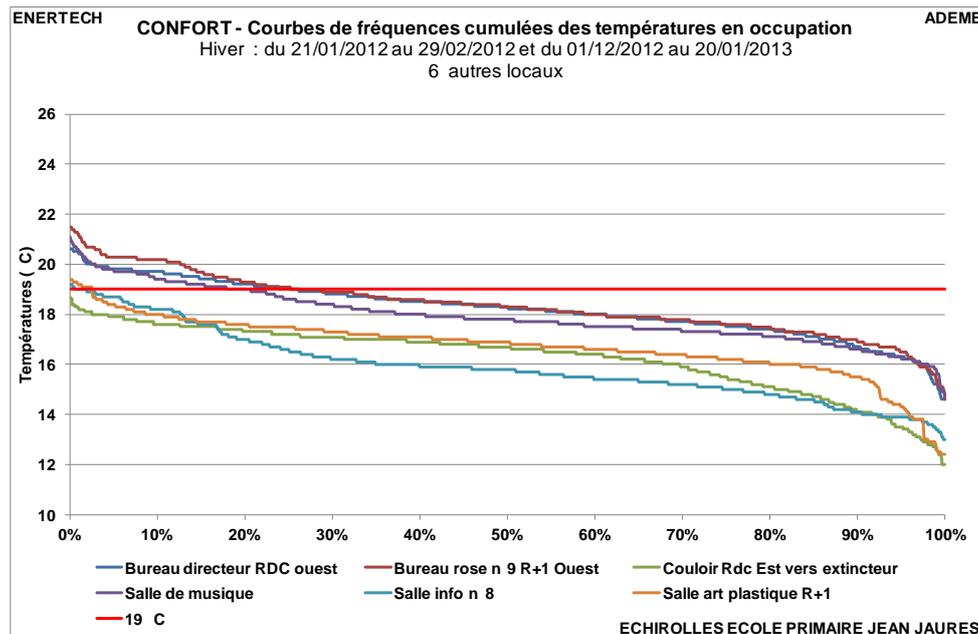


Figure 4.11 : CONFORT - Occupation - période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées des températures des autres locaux

Il faut néanmoins rappeler qu'en hiver, la température à l'intérieur dépend de :

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants,
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage. Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.
- L'ouverture des fenêtres par les occupants
- La capacité du système de chauffage à subvenir aux besoins

4.2.2 Courbe de charge

La figure 4.12 montre les profils moyens de température dans les salles de classe selon les jours de la semaine. Ceux des mercredis, samedis et dimanches sont obtenus pour toutes les semaines de la période étudiée, y compris les périodes de vacance, alors que ceux des jours "scolaires" excluent évidemment les lundis, mardis, jeudis et vendredis qui tombent pendant les périodes de vacances.

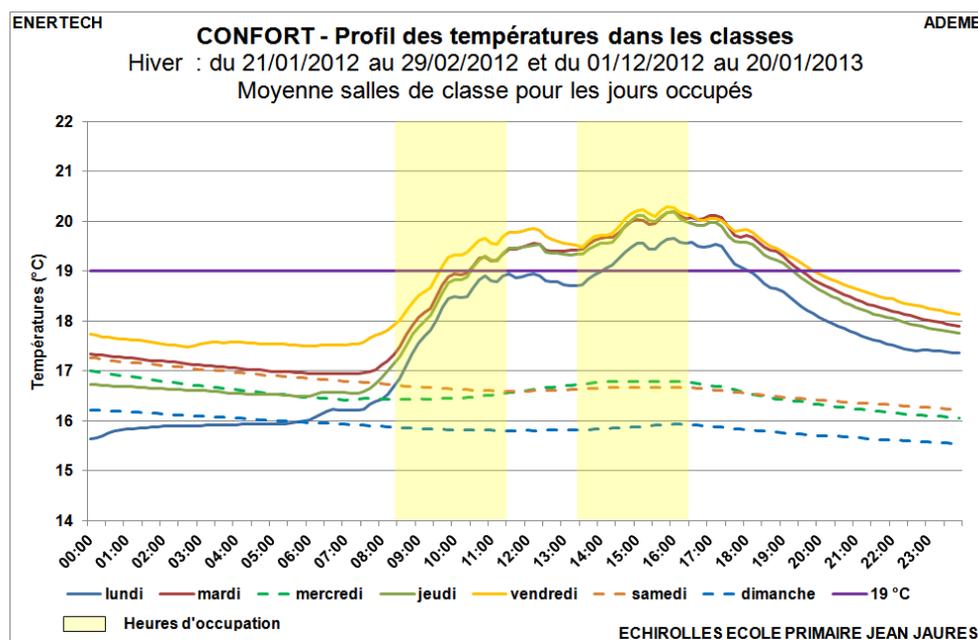


Figure 4.12 : CONFORT – Occupation - période de chauffe
Profils journaliers de température dans les salles de classe selon les jours de la semaine

On observe des profils très comparables pour les différents jours scolaires, avec des températures assez basses lors de l'entrée en classe des élèves, une montée de celles-ci au fil de la journée avec des baisses temporaires correspondant aux récréations et à l'inoccupation entre 11 h 30 et 13 h 30, puis une baisse en fin de journée après la fin des classes.

Les profils sont par contre décalés selon les jours de la semaine. Le plus bas est celui du lundi, parce que l'ensemble du bâtiment s'est refroidi après plus de 2,5 jours en réduit de chauffage (samedis et dimanche). Le suivant est celui du jeudi, qui suit également un réduit de chauffage de 1,5 jour. Ensuite, on trouve successivement les profils du mardi et du vendredi, qui succèdent tous les deux à un jour chauffé. Leur classement correspond logiquement à celui des jours qui les précèdent (jeudi plus chaud que lundi).

Pour les jours d'inoccupation, on observe une baisse régulière des températures intérieures, avec une légère remontée en cours de journée vraisemblablement liée aux apports solaires passifs par les vitrages. Les profils du mercredi et du samedi sont assez voisins, ces deux journées succédant à des journées d'occupation. Le profil du dimanche poursuit logiquement la baisse observée le samedi.

Il faut noter que des études ont montré que la perception du confort pour une température donnée diffère selon que la température augmente ou diminue dans le temps, le premier cas conduisant à une plus grande satisfaction que le second. Ici on remarque que lors des périodes d'occupation, les températures intérieures, lorsqu'elles sont inférieures à 19 °C, sont quasiment toujours en augmentation. Ceci explique certainement le fait qu'aucune plainte pour température insuffisante n'a été émise.

En conclusion, les réglages actuels des consignes de température peuvent être maintenus tels quels, avec éventuellement un décalage d'une heure de la programmation horaire pour la relance les lundis et d'une demi-heure les mardis et jeudis, et une coupure une heure plus tôt tous les jours de la semaine.

4.2.3 Hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie dans les 6 salles de classe. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des salles. L'hygrométrie moyenne des salles en période d'occupation, oscille entre 26 % et 60 % alors qu'à l'extérieur elle varie entre 40 % et 100%.

Hiver - Moyenne salles de classe	Température (°C)	Périodes d'occupation	Périodes d'inoccupation
	Moyenne	44,1	41,2
	Minimale	25,6	22,1
	Maximale	60,0	60,9

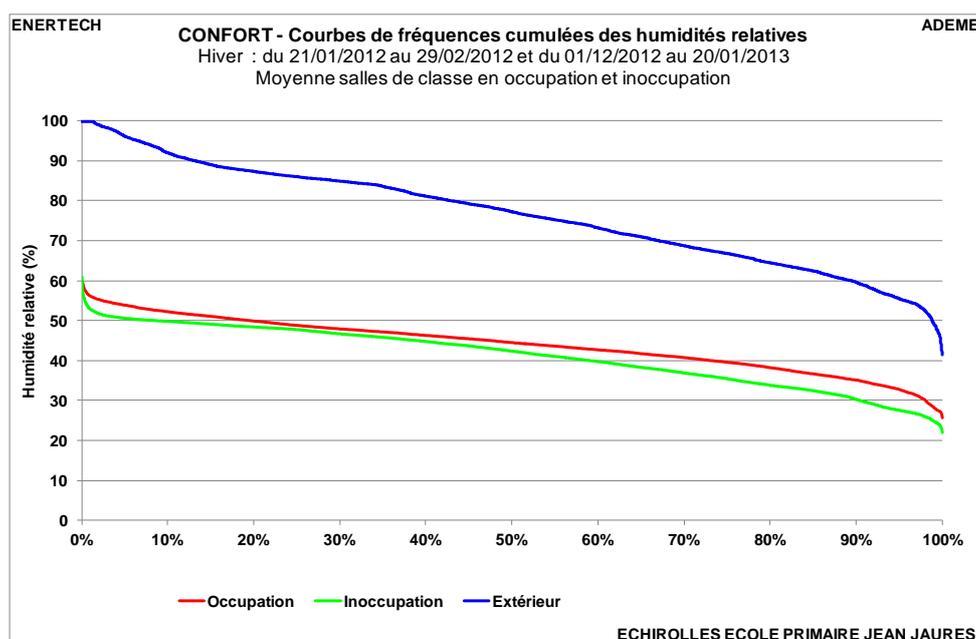
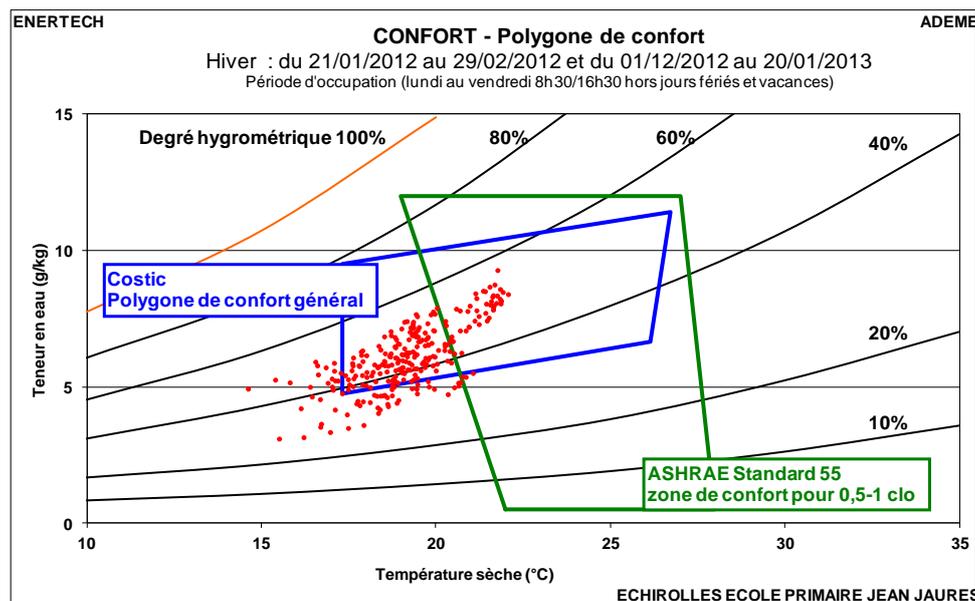


Figure 4.13 : CONFORT - Occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne

4.2.4 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 4.14 présente l'évaluation du confort selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est l'ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés en valeur moyenne horaire sur le bâtiment.



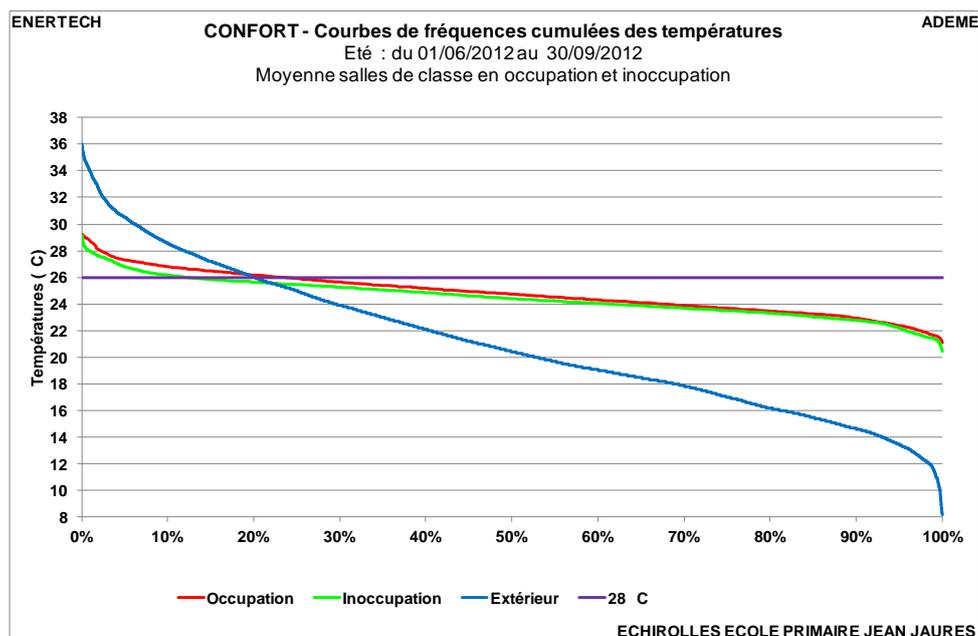
**Figure 4.14 : CONFORT- occupation - Période de chauffe
Polygone de confort moyen**

D'après les deux polygones de confort considérés, le bâtiment est la plupart du temps en zone de confort. Les situations où la température ambiante est inférieure à 19 °C sont relativement nombreuses, mais les points sont cependant à l'intérieur du polygone de confort COSTIC, parce que l'humidité est alors en général suffisamment élevée. Remarquons que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le Danois O. Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !

4.3 Etude du confort d'été

Dans ce paragraphe, on définit l'été comme la période allant du 01 juin 2012 au 30 septembre 2012. Pour cette étude nous excluons les périodes d'inoccupation correspondant aux vacances d'été, soit du 5 juillet 2012 au 02 septembre 2012.

Les courbes des fréquences cumulées des températures moyennes sont présentées sur la figure 4.15. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. La température moyenne en période d'occupation vaut 24,8°C et plus de 77 % du temps elle est en-dessous de 26°C. Elle dépasse 28°C pendant un peu plus de 2 % du temps.



Eté - Moyenne salles de classe	Température (°C)	Périodes d'occupation	Périodes d'inoccupation
	Moyenne	24,8	24,5
	Minimale	21,1	20,5
	Maximale	29,2	29,1

Figure 4.15 : CONFORT– Eté
Courbes de fréquences cumulées de la température

Aux températures extérieures extrêmes, l'écart entre les différentes classes ne dépasse généralement 2°C. Pendant un court épisode, le 29 juin 2012 dans l'après-midi, la température a atteint 32 °C dans une des classes, lorsque la température extérieure a atteint 37 °C. Compte tenu de l'identité des classes en termes de surface et d'exposition, on peut penser que des fenêtres ont été ouvertes ce jour-là dans la salle en question.

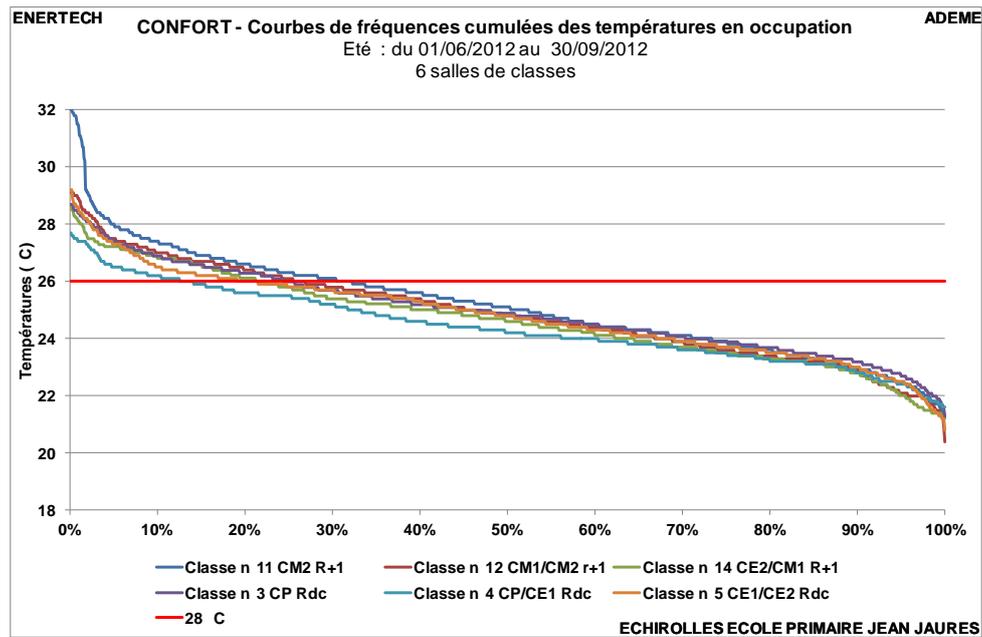


Figure 4.16 : CONFORT – Occupation - période de non chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température de chaque salle

Dans les autres locaux, les températures intérieures sont inférieures, parce que les apports internes y sont beaucoup plus faibles, du fait de leur moindre occupation.

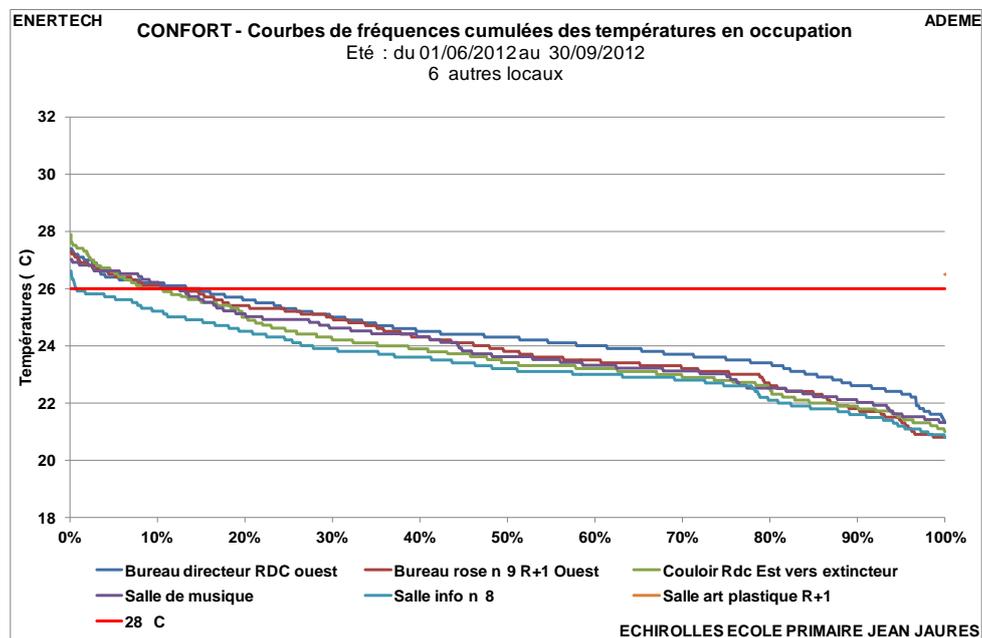


Figure 4.17 : CONFORT – Occupation - période de non chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température dans les autres locaux

4.3.1 Courbe de charge

La figure 4.18 montre les profils moyens de température dans les salles de classe selon les jours de la semaine. Comme pour l'étude des courbes de charge en hiver, ceux des mercredis, samedis et dimanches sont obtenus pour toutes les semaines de la période étudiée, y compris les périodes de vacances, alors que ceux des jours "scolaires" excluent évidemment les lundis, mardis, jeudis et vendredis qui tombent pendant les périodes de vacances.

La température augmente en moyenne de 2°C cours de la journée pour les jours scolaires. Pendant les périodes d'inoccupation, la température intérieure reste plus stable, puisque les moyennes varient de moins de 1°C.

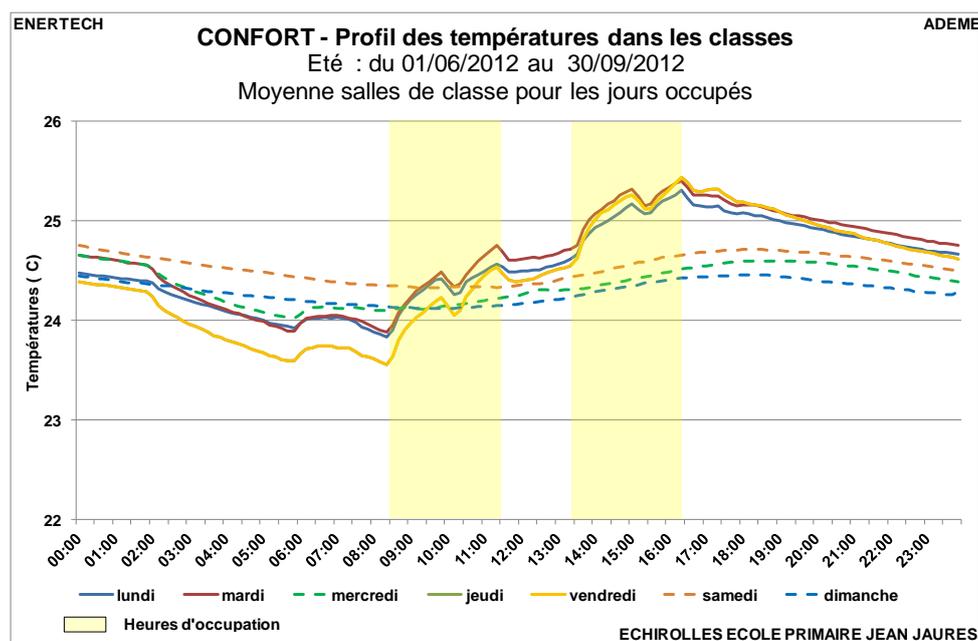


Figure 4.18 : CONFORT – Eté
Evolution journalière moyenne de la température moyenne

4.3.2 Evolution de la semaine la plus chaude

Le graphique de la figure 4.19 présente l'évolution de la température au cours de la semaine la plus chaude (du 25 juin au 1^{er} juillet 2012). Il permet de tirer plusieurs enseignements :

- Les températures dans les classes augmentent de manière assez homogène au fil de la semaine : l'écart moyen entre la classe la plus chaude et la plus froide varie entre 0,4 °C et 4,6 °C, avec une moyenne sur la semaine à 1,0 °C. L'écart maximum a lieu le 29 juillet, vraisemblablement du fait d'une ouverture trop prolongée des fenêtres, comme cela a déjà été signalé.
- Les fluctuations de température extérieure sont très fortement amorties, du fait de l'isolation extérieure qui confère une forte inertie au bâtiment.
- Le bureau de direction reste plus frais que les salles de classes, à causes d'apports internes beaucoup plus faibles

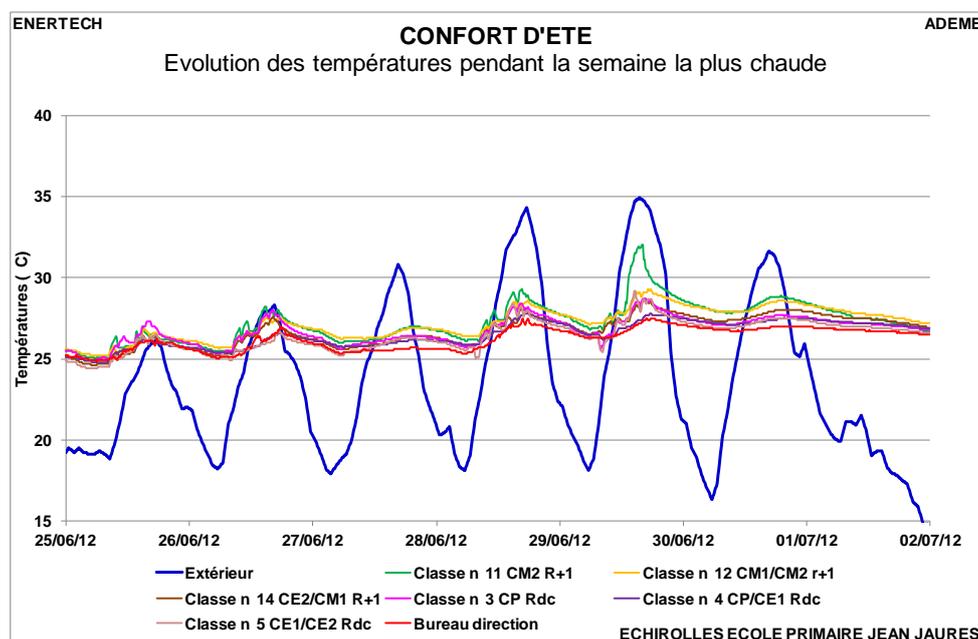


Figure 4.19 : CONFORT – Evolution de la température la semaine la plus chaude

4.3.3 Nombre d'heures au-dessus de 28°C

La figure 4.20 représente le nombre d'heures passées au dessus de 28°C. Aucune salle n'a passé plus de 80 heures au-dessus de 28 °C. L'essentiel des dépassements a lieu en période d'inoccupation. Si on prend uniquement en compte les périodes d'occupation, le nombre d'heures où la température est supérieure à 28°C est inférieur à 5 en moyenne. La salle la plus exposée est la salle 11 avec 10 heures.

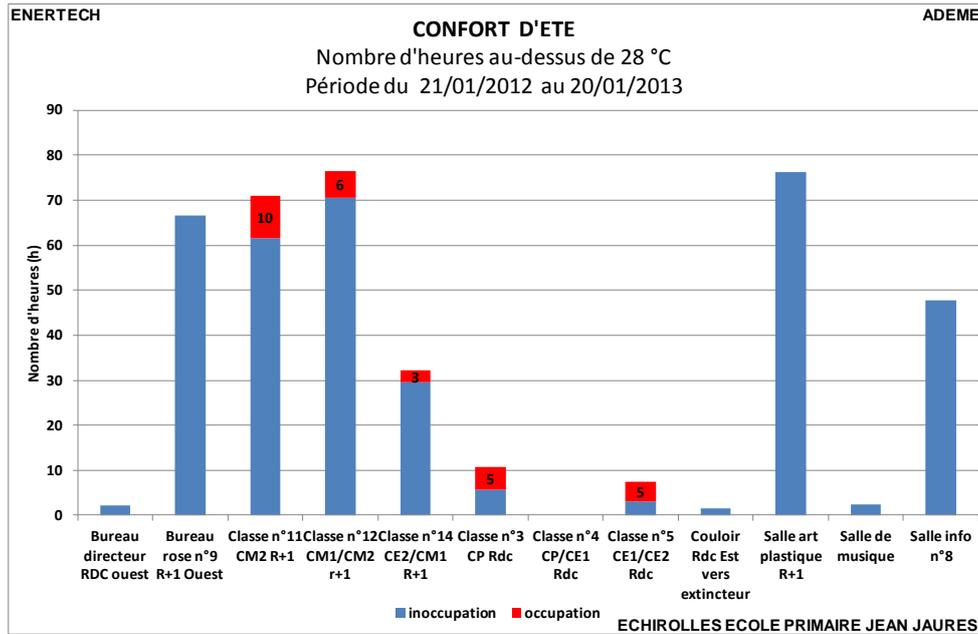


Figure 4.20 : Histogramme du nombre d'heures au dessus de 28°C

4.3.4 Evaluation du confort

La représentation des couples teneur en eau / température sur les polygones de confort traduit un bâtiment globalement agréable en été. Comme on l'a vu précédemment, il y a peu de situations où la température dépasse 28°C. Les séquences d'inconfort correspondent plutôt à des humidités élevées.

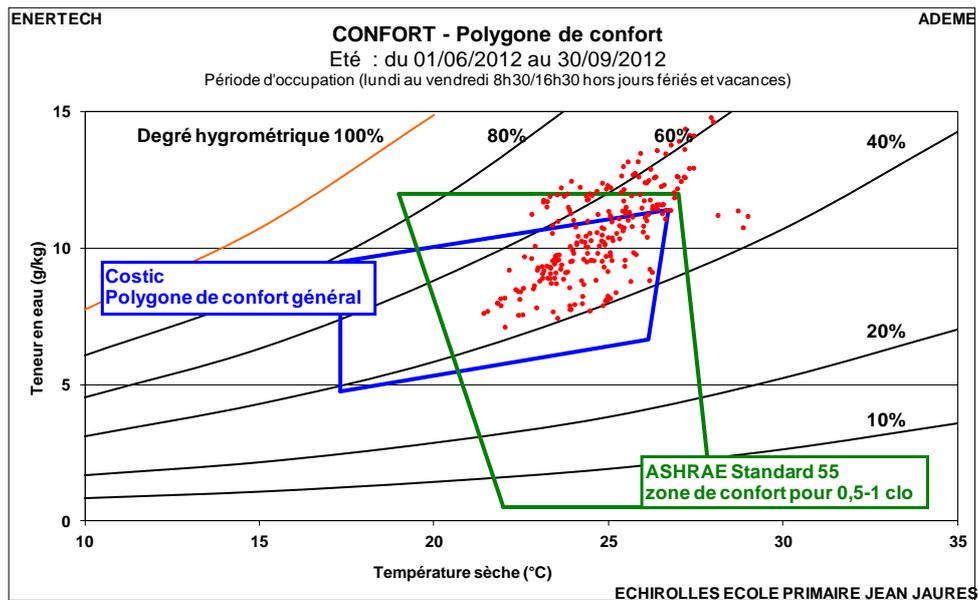


Figure 4.21 : CONFORT D'ETE – Occupation
Polygone de confort

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, va dans le même sens (figure 4.22). Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange sont représentées les températures moyennes mesurées au sein de l'école.

La plupart des points représentatifs sont situés dans la zone 90 % de satisfaits. Une séquence correspond à des températures extérieures froides, mais où la température intérieure est restée supérieure à 21°C. A l'autre extrémité, pendant une séquence de forte chaleur extérieure, la température ambiante moyenne a dépassé 28 °C tout en restant inférieure à 29 °C.

Enfin, une séquence se situe dans la zone où seulement 80 % des personnes sont satisfaites. Ces éléments confirment que le confort dans l'école est globalement assuré.

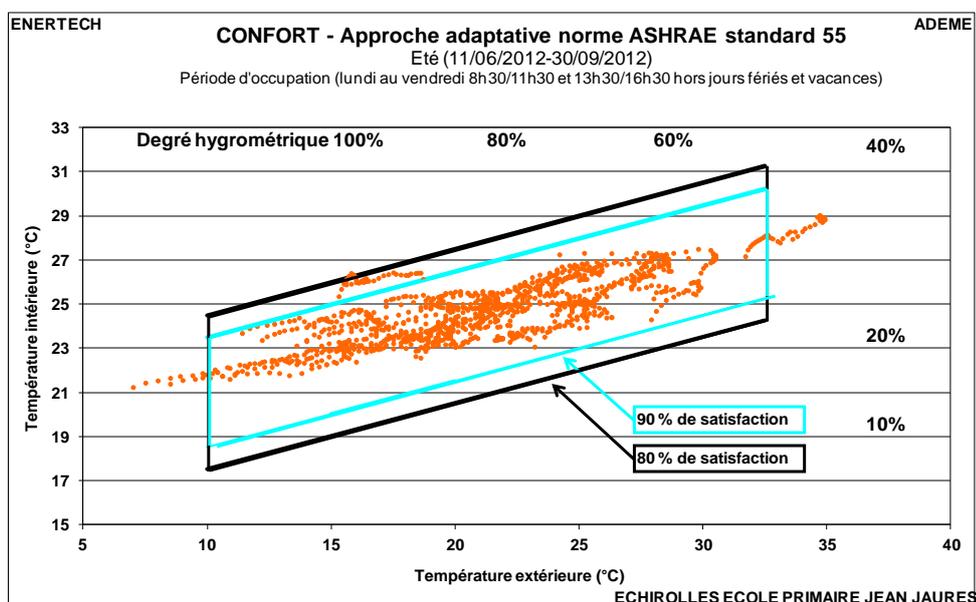


Figure 4.22 : CONFORT – Occupation
Approche adaptative

CHAPITRE 5 : ETUDE DE LA VENTILATION

5.1 Etude des débits

Le tableau de la figure 5.1 indique les débits retenus pour le dimensionnement de l'installation. Il s'agit ici des débits de ventilation normaux. En surventilation nocturne d'été, le débit de la CTA est augmenté théoriquement jusqu'à 7500 m³/h.

	n°	description	nombre personnes	débit/personne (m ³ /h/pers)	Normal (m ³ /h)
Rez de chaussée		bureau directeur	1	60	60
	Pièce 1	salle des maitres	12	30	360
	Pièce 2	classe 1	26	15	390
	Pièce 3	motricité	26	15	390
	Pièce 4	classe 2	26	15	390
	Pièce 5	video	26	15	390
	Pièce 6	BCD	26	15	390
		bureau Est	1	60	60
Etage	Pièce 7	Salle info	26	15	390
	Pièce 8	classe	26	15	390
	Pièce 9	classe	26	15	390
	Pièce 10	classe	26	15	390
	Pièce 11	classe	26	15	390
	Pièce 12	classe	26	15	390
	Pièce 13	classe	26	15	390
	Pièce 14	Arts plastiques	26	15	390
Total					5550

Figure 5.1 : Débits théoriques normaux

En réalité, l'école est occupée par 145 élèves et 7 enseignants. 6 classes sont utilisées en continu, les autres (salle informatique, BCD, salle de musique, salle arts plastiques,...) sont utilisées de manière épisodique.

Comme la CTA peut fonctionner avec deux régimes sensiblement différents (en journée et la nuit en surventilation), nous avons traités séparément ces deux fonctionnements. Nous avons aussi écarté de l'analyse les points correspondant à des mises en route ou arrêts de la ventilation : puisque nos mesures sont moyennées sur 10 minutes, si une mise en route a lieu au milieu d'un pas de temps, le débit moyen calculé sur 10 minutes s'en trouve évidemment faussé.

5.1.1 Evolution du débit moyen au cours de l'année, pendant la journée

Sur la figure 5.2 sont représentés les débits moyens journaliers pendant l'année. On observe :

- Un arrêt complet de la centrale pendant les mercredis, les fins de semaine et les vacances.
- Une légère diminution des débits moyens journaliers de soufflage, vraisemblablement lié à un encrassement des filtres.
- Une brusque diminution du débit moyen d'extraction. Il s'agit vraisemblablement d'un problème sur la mesure du débit effectuée grâce à un organe déprimogène placé sur le ventilateur. Cette hypothèse est corroborée par le fait que les puissances appelées par les 2 ventilateurs restent quasiment identiques tout au long de l'année (figure 5.3). Pour la suite de l'analyse, nous avons donc corrigé le débit extrait en utilisant une corrélation établie entre les deux débits avec les mesures correctes de la première partie de l'année.
- Des débits moyens quotidiens se situant généralement entre 3200 et 3600 m³/h. Comme la CTA fonctionne à débit variable en fonction de l'occupation des différents locaux, on peut considérer que le débit minimal théorique correspondrait uniquement à 6 salles de classe occupées, soit 2340 m³/h, alors que le débit maximal théorique de 5550 m³/h ne peut jamais être observé parce que les élèves ne peuvent être simultanément dans les salles de classes habituelles et dans les salles d'activité (salle de musique, d'informatique, etc...). Les débits mesurés au niveau de la CTA sont donc cohérents avec la demande probable de ventilation. Par ailleurs, comme les débits aux bouches sont régulés salle par salle avec les registres motorisés, alors que la CTA fonctionne à pression constante, il est possible que les débits mesurés au niveau de la CTA soient légèrement supérieurs au total des débits aux bouches, la différence correspondant aux fuites des réseaux aérauliques.

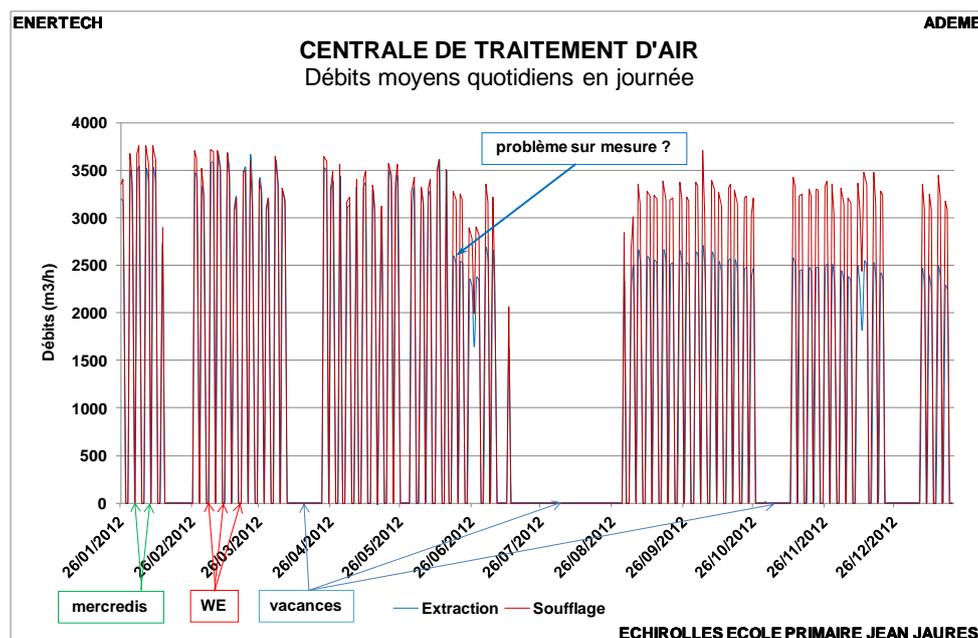


Figure 5.2 : Débits moyens quotidiens

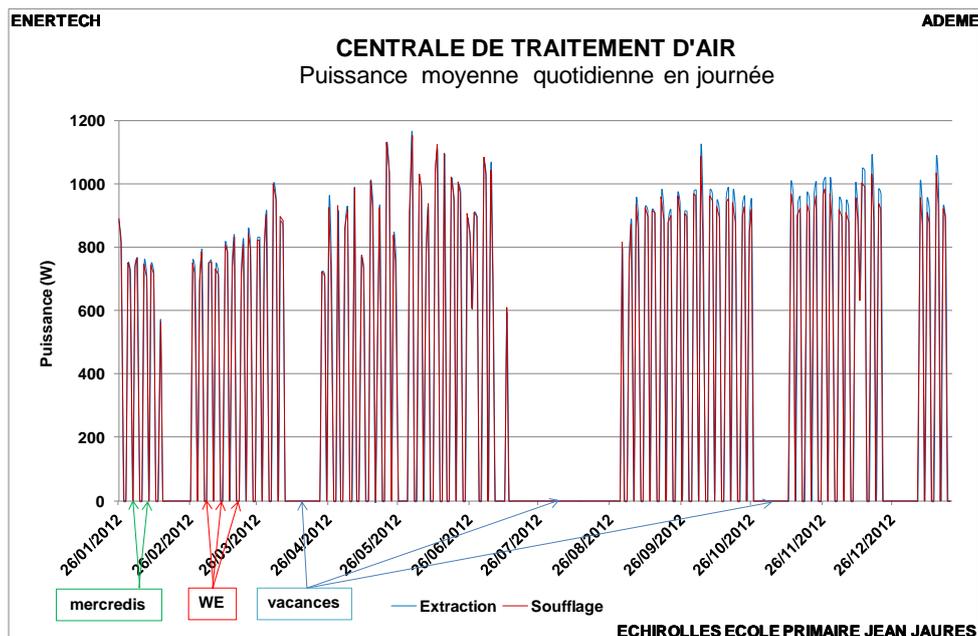


Figure 5.3 : Puissances moyennes quotidiennes

Si on observe les débits minimaux journaliers (figure 5.4), on note une modification aux environs du 13/03/2012. Avant cette date, les débits minimaux restent supérieurs au débit minimum égal à 30 % du débit maximal, soit 2250 m³/h. Le bypass placé à la sortie de la CTA et le caisson de mélange interne jouent leur rôle. Après le 13/03/2012, le débit minimum n'est plus maintenu. Il y aurait lieu de faire vérifier le fonctionnement du bypass et du caisson de mélange. A noter qu'un changement des 3 filtres a eu lieu le 12/03/2012. Mais nous n'avons pas pu savoir si d'autres modifications avaient été apportées à l'installation.

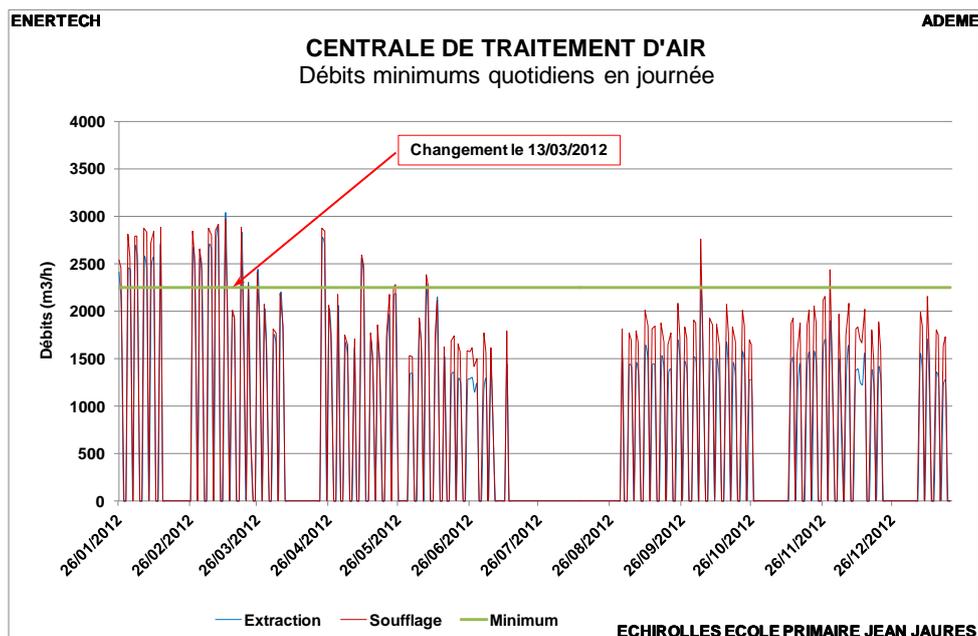


Figure 5.4 : Débits minimaux quotidiens

Les graphiques de la figure 5.5 montrent le profil moyen journalier des débits d'air et des puissances appelées par les ventilateurs pendant les journées de fonctionnement de la CTA. Sur le deuxième graphique, le problème sur la mesure de débit apparaît bien.

On remarque que la plage de fonctionnement autorisée est passée de 8 h 00/18 h 00 à 7 h 30/18 h 00 pendant l'été. Cette dernière correspond bien à celle qui nous a été communiquée par la Compagnie de Chauffage.

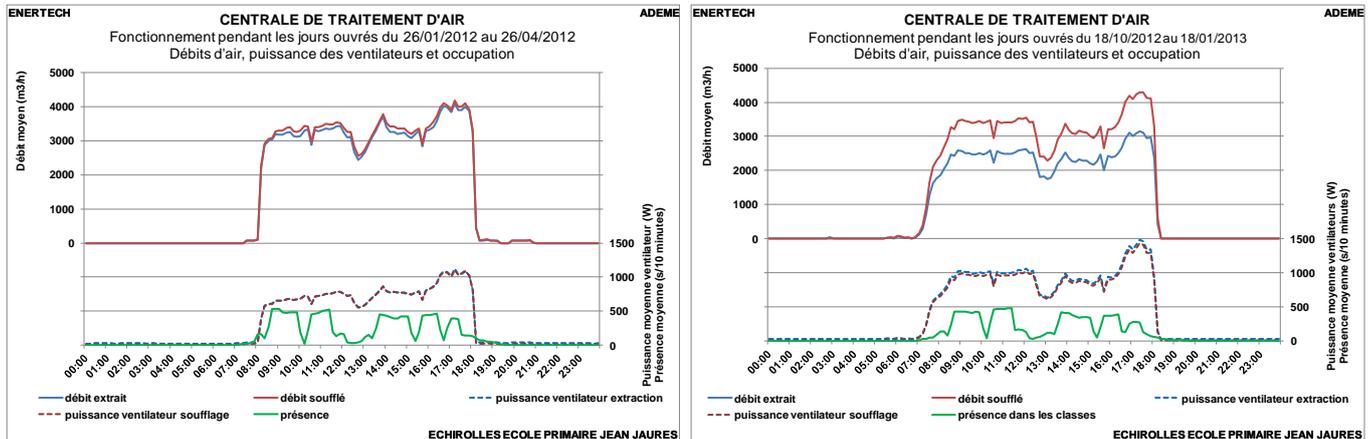


Figure 5.5 : Evolution des débits au cours de deux semaines

Les mesures sont des mesures moyennées sur 10 minutes.

- Entrée des élèves dans les classes à 8 h 30 (les maîtres sont présents avant) et 13 h 30
- Sortie à 11 h 30 et 16 h 30
- Récréation à 10 h 00 et 15 h 00
- Temporisation d'environ 20 minutes sur l'arrêt de la ventilation. Le débit moyen chute légèrement en fin de récréation, puis réaugmente lorsque les élèves reviennent en classe.
- Entre 11 h 30 et 13 h 30, les classes ne sont pratiquement plus occupées, sauf par quelques maîtres : chute plus sensible des débits moyens.
- En fin de journée, de 16 h à 18 h, augmentation des débits, alors que les salles de classe sont pour la plupart quittées par les élèves vers 16 h 30, sauf celles utilisées par l'étude du soir : une explication pourrait résider dans la présence du personnel d'entretien, qui arrive après le départ des élèves, mais qui peut passer régulièrement dans plusieurs classes, mais également dans les autres locaux (salle des maîtres, bureau du directeur, etc...). Ainsi les détecteurs de présence ouvrent les registres motorisés des salles, et les temporisations peuvent laisser ces équipements en service en l'absence d'occupation réelle.
- La puissance électrique consommée par les ventilateurs est bien corrélée avec les variations de débits.

5.1.2 Etude de la ventilation nocturne

Nous avons isolé les séquences de ventilation nocturne. Celle-ci est activée entre 2 h 00 et 6 h 00.

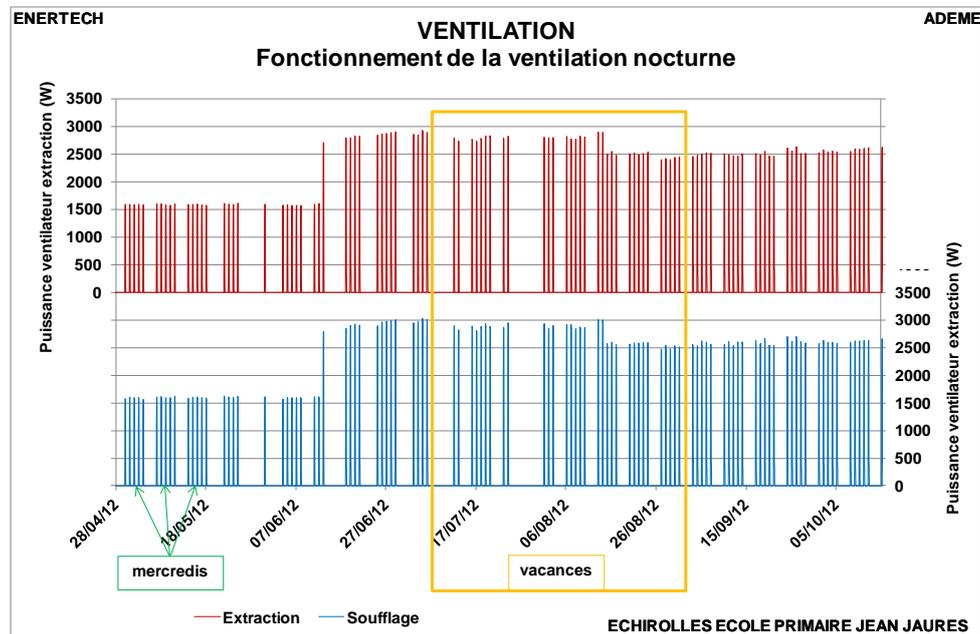


Figure 5.6 : Ventilation nocturne : fonctionnement pendant l'année

On note :

- Un fonctionnement pendant presque 6 mois, du 27/04/2012 au 15/10/2012. On peut se demander ce qui justifie une période si importante. Le graphique suivant montre d'ailleurs que la ventilation nocturne est activée dès que le chauffage est arrêté :

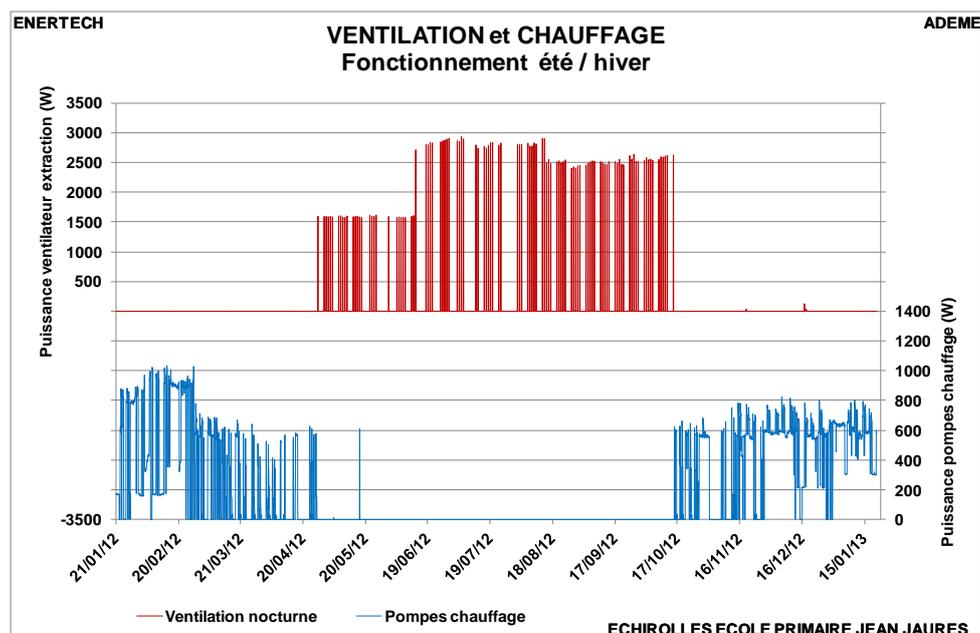


Figure 5.7 : Ventilation nocturne : fonctionnement de la ventilation nocturne et du chauffage

- La surventilation fonctionne les mercredis, et également en période de vacances, ce qui ne sert à rien.
- Il y a eu visiblement un changement de consigne le 12/06/2012 et le 14/08/2012

Sur les graphiques de la figure 5.8, on observe :

- Graphique de gauche : l'évolution de la température moyenne intérieure observée pendant les nuits où la surventilation est activée, et pendant les nuits où elle ne fonctionne pas (week-ends et certaines périodes de vacances) : la ventilation ne permet de "gagner" que 0,38 °C de plus par rapport à la baisse de température naturelle du bâtiment (0,55 °C lorsque la ventilation fonctionne, à comparer avec 0,17 °C lorsqu'elle est arrêtée)
- Graphique de droite : le rafraîchissement est évidemment plus important lorsque la température de l'air extérieur est plus basse, et que donc l'écart température intérieure – température extérieure est plus élevé.

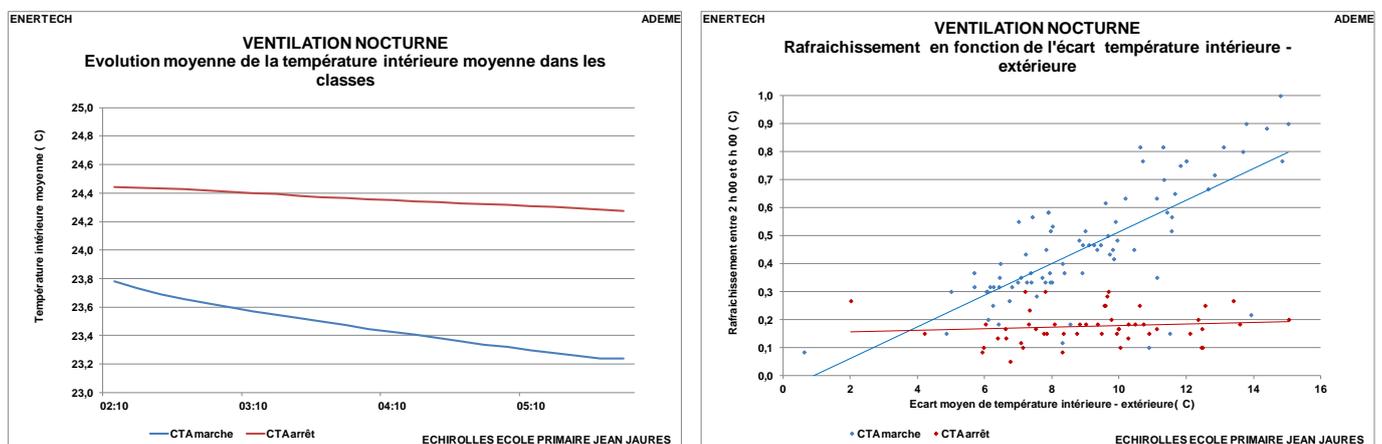


Figure 5.8 : Rafrachissement du bâtiment dû à la ventilation nocturne

La consommation des ventilateurs pour la ventilation nocturne a atteint un total de 1932 kWh, soit 32 % de la consommation totale de ce poste (960 kWh pour l'extraction et 972 kWh pour le soufflage), dont l'essentiel correspond à des séquences où la température intérieure n'est pas inconfortable.

Nous allons déterminer la consommation d'électricité qui aurait été nécessaire si le système n'avait fonctionné que lorsque les températures intérieures le justifient réellement. Si on considère que la surventilation permet d'abaisser en moyenne la température de 0,4 °C, et si on se fixe 26 °C comme seuil d'enclenchement de la ventilation nocturne, on peut déterminer les occurrences où la température moyenne journalière (ou la température maximale journalière) dans les salles de classes dépasse 25,6 °C avec fonctionnement de la surventilation pendant les périodes d'occupation (8 h 30 – 16 h 30).

En sommant les consommations correspondantes d'électricité des ventilateurs, on arrive à 173 kWh consommés si on retient comme critère la température moyenne intérieure, et 237 kWh en prenant comme critère la température maximale. Ainsi, entre 88 % et 91 % des consommations électriques du rafraîchissement sont inutiles.

Il est également intéressant de chiffrer l'énergie thermique évacuée du bâtiment lorsque la surventilation fonctionne, et de la comparer à la consommation d'électricité correspondante pour obtenir ce résultat. La figure 5.9 illustre le fonctionnement de la surventilation pour la journée du 29/06/2012, qui est celle où les températures intérieures les plus élevées ont été observées.

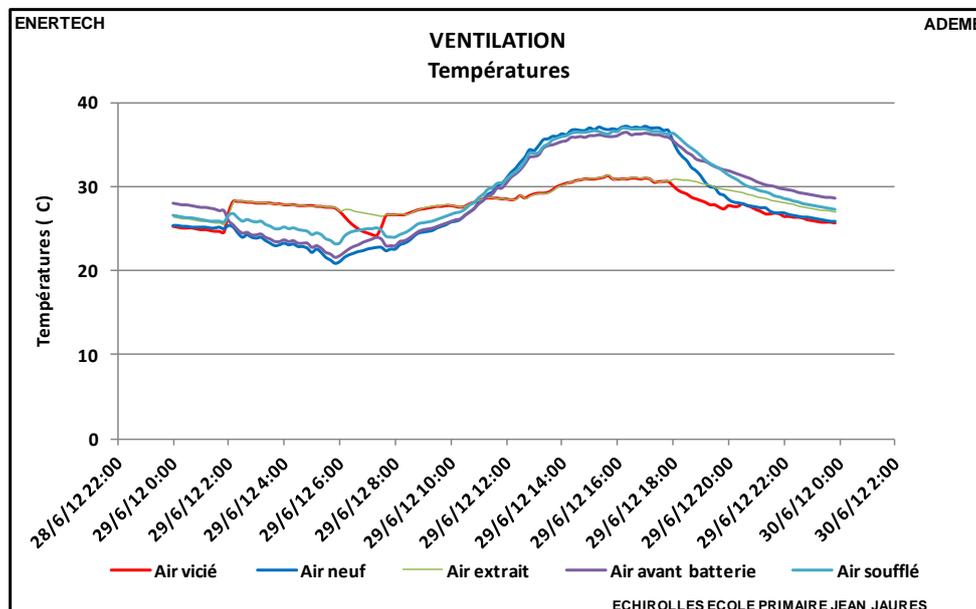


Figure 5.9 : Fonctionnement de la ventilation nocturne le 29 juin 2012

Nous n'avons pas pu déterminer précisément les débits d'air correspondant à la surventilation, parce que nos capteurs ont saturé (les ΔP mesurés sur les organes déprimogènes des ventilateurs dépassaient la valeur maximale tolérée par nos capteurs). Nous allons faire notre estimation sur la base d'un débit théorique de $7500 \text{ m}^3/\text{h}$.

De 2 h 00 à 6 h 00, l'écart moyen de température entre l'air extrait des classes et l'air soufflé est de 2,9 K. L'énergie correspondante extraite en 4 heures vaut donc :

$$7500 \times 0,34 \times 2,9 \times 4 / 1000 = 29,6 \text{ kWh}$$

La consommation correspondant du ventilateur de soufflage est pendant cette même période de 11,3 kWh, et celle du ventilateur d'extraction est de 11,6 kWh, soit un total de 22,9 kWh.

Le bilan énergétique est donc à peine favorable, l'énergie extraite n'étant que très légèrement supérieure à l'énergie électrique consommée ! On remarque au passage que l'air traversant le ventilateur subit une élévation de température de 1,6 K en moyenne pendant la durée de la surventilation : ainsi le ventilateur de soufflage contribue à réchauffer l'air plus frais introduit dans le bâtiment, et réduit ainsi son pouvoir rafraichissant. Ceci est notamment dû à la position du moteur directement dans le caisson de ventilation. Toutes les pertes du moteur et du ventilateur sont ainsi dégradées en chaleur directement dans l'air soufflé.

Par analogie avec une climatisation par compression classique, on peut calculer un EER défini comme le rapport entre l'énergie extraite par la surventilation à l'énergie électrique consommée par les ventilateurs.

Pour la période où la surventilation est réellement justifiée, compte tenu des températures moyennes ou maximales atteintes dans les classes, et où les consommations d'électricité des ventilateurs ont atteint respectivement 173 et 237 kWh, l'énergie extraite par la surventilation, évaluée selon la méthode décrite précédemment, atteint respectivement 222 et 305 kWh, ce qui conduit à un EER de 1,3.

5.1.3 Fonctionnement de l'échangeur de chaleur

La figure 5.10 montre les valeurs moyennes journalières de l'efficacité de l'échangeur de chaleur, calculée à partir des températures d'air, pendant la saison de chauffe. Deux observations peuvent être faites :

- Pendant la première partie de l'année, l'efficacité est très élevée. Elle diminue lorsque la température moyenne journalière augmente
- Pendant la deuxième partie de l'année, l'efficacité est un peu plus basse, sans que nous ayons pu déterminer l'origine de cette légère diminution

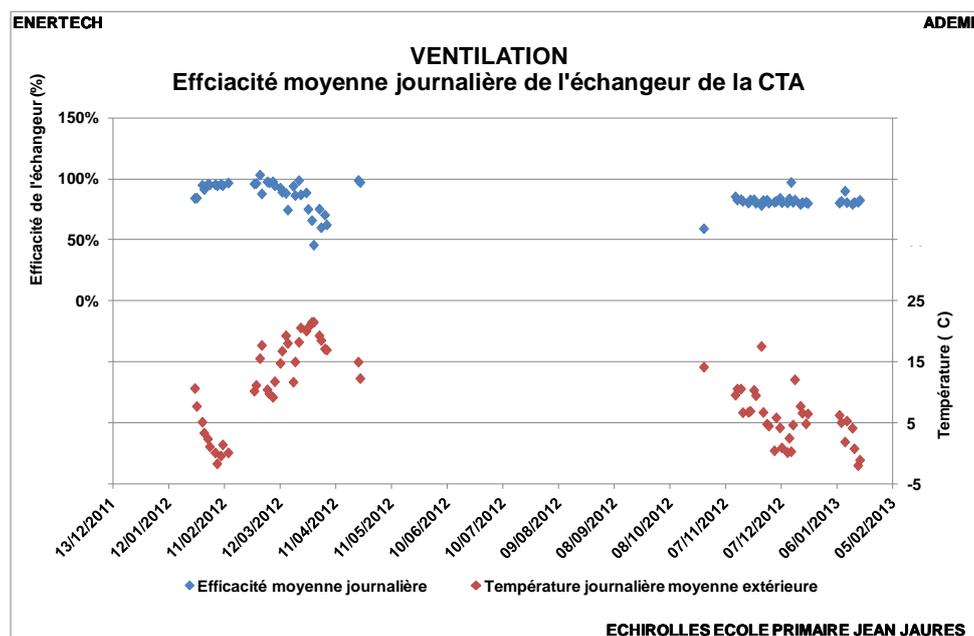


Figure 5.10 : Fonctionnement de l'échangeur de chaleur

Au total, ce sont 7642 kWh de chaleur sensible qui sont récupérés pendant la saison de chauffe, auxquels s'ajoutent 2666 kWh de chaleur latente, avec une efficacité moyenne de l'échangeur égale à 82 %. Cette dernière valeur est supérieure à la valeur nominale de 70 % apparaissant dans la fiche technique fournie par le constructeur. L'énergie totale récupérée par l'échangeur de chaleur permet d'économiser 11 560 kWh d'énergie finale à l'entrée de l'échangeur de chauffage urbain.

5.1.4 Fonctionnement de la batterie de préchauffage

La CTA est équipée d'une batterie hydraulique alimentée à partir de la sous-station, qui élève le niveau de température de l'air soufflé dans les classes. La température de consigne de cet air soufflé est de 22 °C, c'est-à-dire une température qui est quasiment tout le temps supérieure à la température de l'air dans les classes. Nous verrons par la suite que ce réglage nuit à la bonne diffusion de l'air dans les classes. Il y a lieu de baisser cette consigne, en opérant progressivement pour vérifier que les conditions de confort ressenties ne sont pas dégradées par un soufflage d'air plus froid.

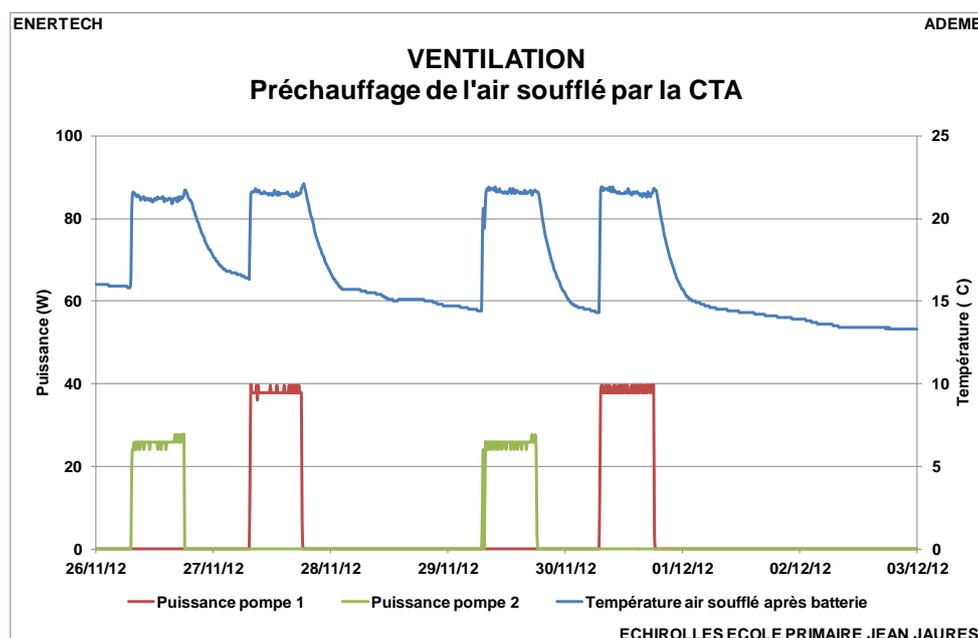


Figure 5.11 : Fonctionnement de la batterie de préchauffage d'air soufflé

5.1.5 Débits aux grilles de ventilation et diffusion de l'air

Nous avons relevé les débits aux grilles de ventilation dans les classes. Les mesures ont été effectuées avec différents appareils :

- Dans un premier temps, nous avons mesuré les débits d'une part avec un cône à fil chaud donnant une lecture directe du débit, d'autre part par balayage de la surface de la grille de soufflage avec un anémomètre. Ces mesures conduisent aux plages représentées sur la figure 5.13.
- Dans un deuxième temps, nous avons voulu conforter les premières mesures par une mesure directe de ΔP sur les organes déprimogènes situés dans les caissons en amont des grilles (figure 5.12). Malheureusement, suite à un problème technique sur notre appareil de mesure, nous n'avons pu réaliser qu'une seule mesure. Elle conforte cependant celles effectuées à l'aide de l'anémomètre, qui conduisent aux valeurs hautes des plages de mesure.



Figure 5.12 : Mesures des débits aux grilles de ventilation

La figure 5.13 compare les valeurs mesurées avec les valeurs théoriques : sauf dans la salle des maîtres, les valeurs mesurées encadrent les valeurs théoriques. Celles mesurées à l'anémomètre sont souvent largement supérieures aux valeurs théoriques.

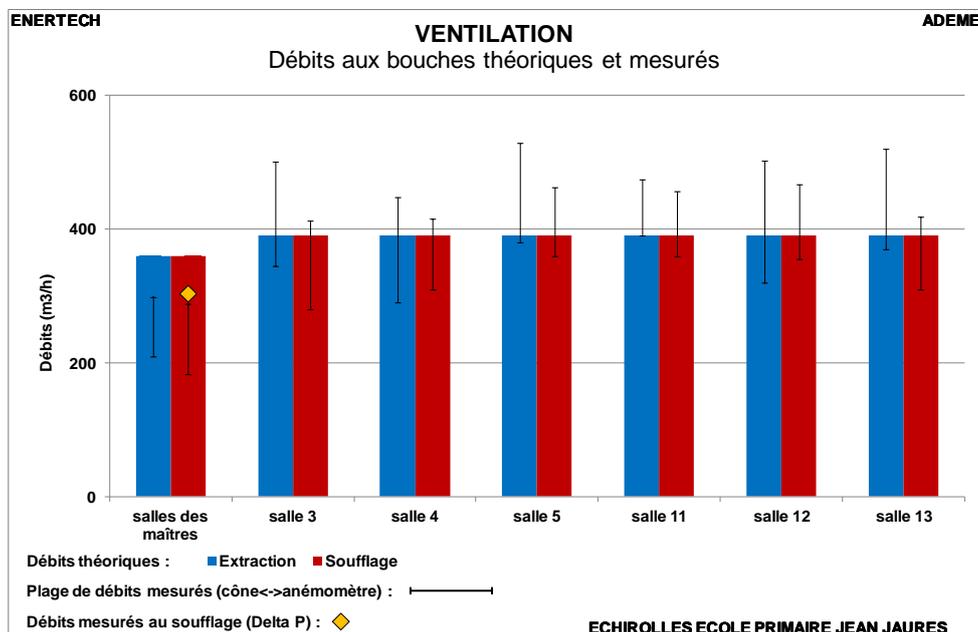


Figure 5.13 : Débits théoriques et mesurés aux bouches de ventilation

Dans la salle des maîtres, il ne semble pas que le sous-débit mesuré soit problématique, dans la mesure où le débit théorique correspond à une occupation de 12 personnes, très rarement atteinte dans la pratique.

Les graphiques de la figure 5.14 montrent l'évolution de la concentration en CO₂ en fonction du fonctionnement de la CTA, ainsi que les températures d'air soufflé et moyennes dans les classes. Nous avons recherché une séquence de fonctionnement où on trouve successivement des séquences de ventilations en occupation et en inoccupation nocturne, afin de voir comment évolue la concentration en CO₂ lorsque la ventilation fonctionne dans des classes inoccupées. On observe :

- Que même en surventilation nocturne, la température de soufflage est supérieure à la température dans les classes. Ainsi les conditions de diffusion sont assez similaires avec ce qui est observé en hiver.
- Que lorsque la ventilation nocturne s'enclenche, il y a un décroché dans l'évolution de la concentration en CO₂ (1^{er} mai et de manière beaucoup moins marquée le 2 mai, parce que la concentration initiale est beaucoup plus faible)
- Mais que la concentration ne chute que de 140 ppm alors que la ventilation a fonctionné pendant 4 heures à fort débit, avec un taux de renouvellement d'air supérieur à 3 V/h.

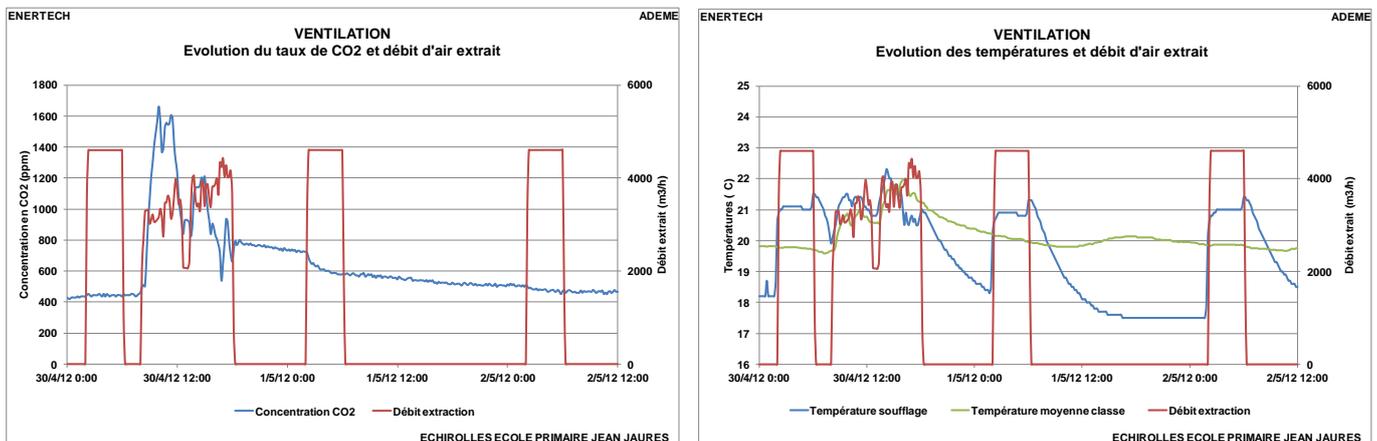


Figure 5.14 : Concentration en CO₂, températures dans les classes et débits de ventilation (attention, les débits réels de surventilation nocturne sont en réalité supérieurs aux 4600 m³/h apparaissant sur les graphiques. Ce chiffre est dû à une saturation de nos mesureurs)

Il semble donc que la diffusion de l'air dans les salles ne se fasse pas dans de bonnes conditions : les bouches de soufflage et de reprise sont placées toutes les deux dans la paroi verticale d'un caisson filant sur la longueur des classes côté couloir, à une hauteur d'environ 2,80 m. La portée du jet sortant de la grille de soufflage est comprise selon le fabricant entre 3,8 et 5,9 m. Il doit donc en principe arriver quasiment jusqu'à la façade opposée, située à 5,3 m de la grille. Par contre, la température de soufflage plus élevée que l'ambiance conduit vraisemblablement à la constitution d'une "couche" chaude au-dessus d'une couche plus froide dans laquelle les élèves sont assis et où l'air n'est que peu renouvelé.

Par ailleurs, le mode de diffusion est un mode à recyclage ou mélange : l'air neuf qui arrive se mélange à l'air ambiant, et l'air extrait est en fait issu d'un mélange air ambiant + air neuf. Cela expliquerait à la fois les concentrations anormalement élevées de CO₂ et le faible effet de refroidissement de la surventilation nocturne.

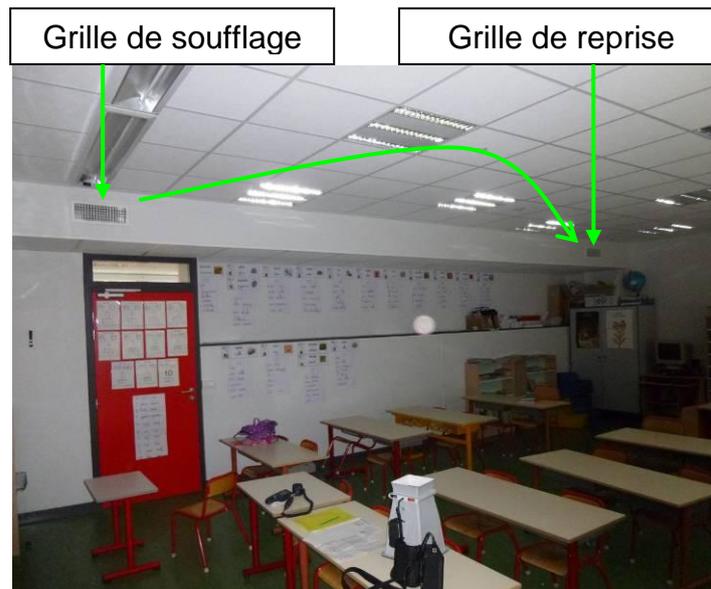


Figure 5.15 : Position des grilles de soufflage et de reprise

Nous préconisons les mesures suivantes :

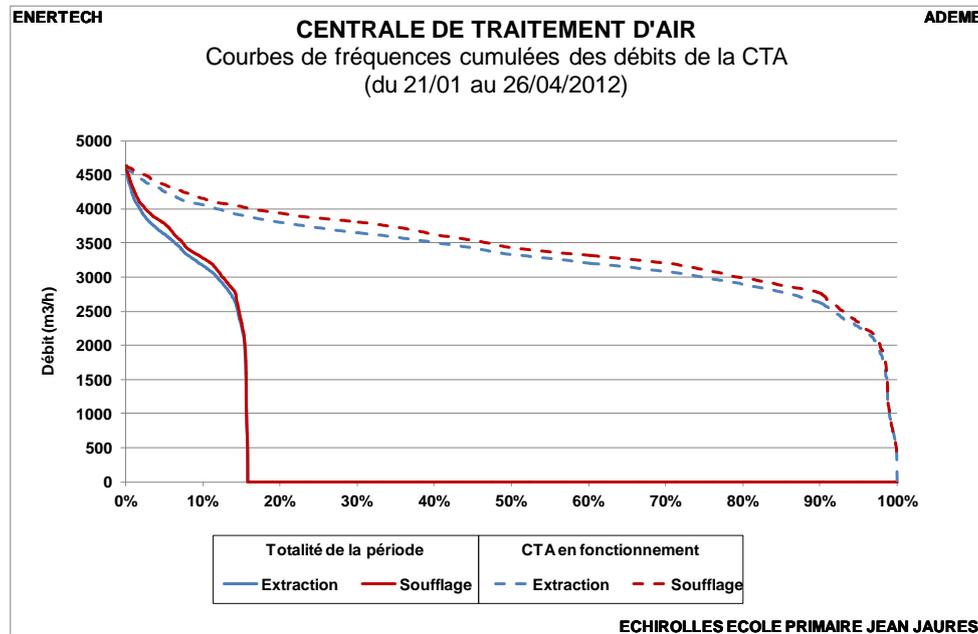
1. Visualiser la circulation de l'air dans les classes à l'aide d'un fumigène, pour valider l'analyse faite ci-dessus.
2. Faire un test avec une bouche à grande portée à induction (type APL de Halton), en vérifiant au préalable que la pression disponible en amont de la bouche est suffisante (plus de 60 Pa) et que le niveau sonore induit reste acceptable.
3. Si cela s'avère possible, faire une modification pour créer une diffusion d'air par déplacement où l'air neuf est introduit à très basse vitesse (0,3m/s) en partie basse de la pièce, à une température inférieure de (-1 à -3°C) à la température ambiante, et est extrait en partie haute. Dans ces conditions, l'air extrait est de l'air vicié à quasiment 100%. Pour cela, il faudrait supprimer la grille de soufflage, et prolonger la gaine de soufflage pour descendre dans un caisson vertical qui serait placé dans le coin gauche de la classe derrière la porte d'accès, puis cheminer dans un caisson horizontal placé au sol le long du mur où se trouve le tableau, avec grilles de diffusion à basse vitesse.

5.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs

5.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse

Les figures 5.16 représentent les courbes de fréquences cumulées des débits de ventilation. Compte tenu de l'occupation du bâtiment, la CTA ne fonctionne que 20 % du temps. Les débits d'air sont modulés entre 4500 et environ 2000 m³/h. Rappelons que les débits minimaux assurés au niveau des ventilateurs sont de 30 % du débit maximum, à savoir 7500 m³/h.

Par ailleurs, nos mesures étant effectuées sur des pas de temps de 10 minutes, si un ventilateur se met en marche ou s'arrête à l'intérieur de ce pas de temps, le débit moyen sur 10 minutes apparaîtra plus faible qu'il n'est en réalité. Ceci explique les débits inférieurs à 2250 m³/h observés pendant 5 % du temps.



Figures 5.16 : Courbes de fréquences cumulées des débits observés sur toute la période et uniquement aux heures de fonctionnement

5.2.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume

La figure 5.17 montre deux régimes de fonctionnement, caractérisés par deux courbes puissance/débit différentes. Ceci peut provenir d'une modification de la courbe caractéristique du réseau vue par chaque ventilateur. Or le point de fonctionnement des ventilateurs dépend d'une part de ce qui se passe sur le réseau principal, donc du nombre de registres ouverts vers les différentes classes, mais aussi du réseau de by-pass et recyclage permettant normalement de maintenir un débit minimum, et donc de la position du registre de réglage du by-pass et de l'ouverture du caisson de recyclage interne à la CTA.

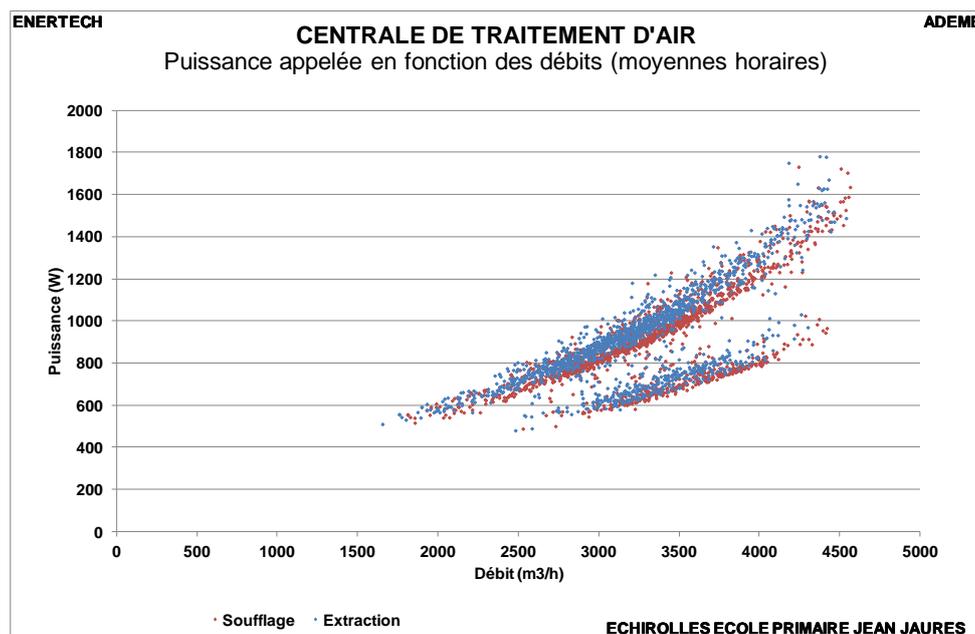


Figure 5.17 : Puissance appelée en fonction du débit

Nous suspectons fortement un mauvais fonctionnement de cet ensemble by-pass et caisson de recyclage, déjà évoqué précédemment au paragraphe 5.1.1.

Le graphique 5.18 montre deux évolutions dans le fonctionnement de la CTA, le premier le 13 mars 2012 et le deuxième le 11 juin 2012. Avant le 13 mars 2012, la CTA fonctionne avec des puissances volumiques de l'ordre de 0,2 à 0,22 W/m³/h, après le 11 juin 2012 avec des puissances volumiques de l'ordre de 0,27 à 0,3 W/m³/h, et entre ces deux dates en oscillant d'un régime à l'autre. Nous n'avons pas pu établir ce qui a provoqué ces changements de fonctionnement.

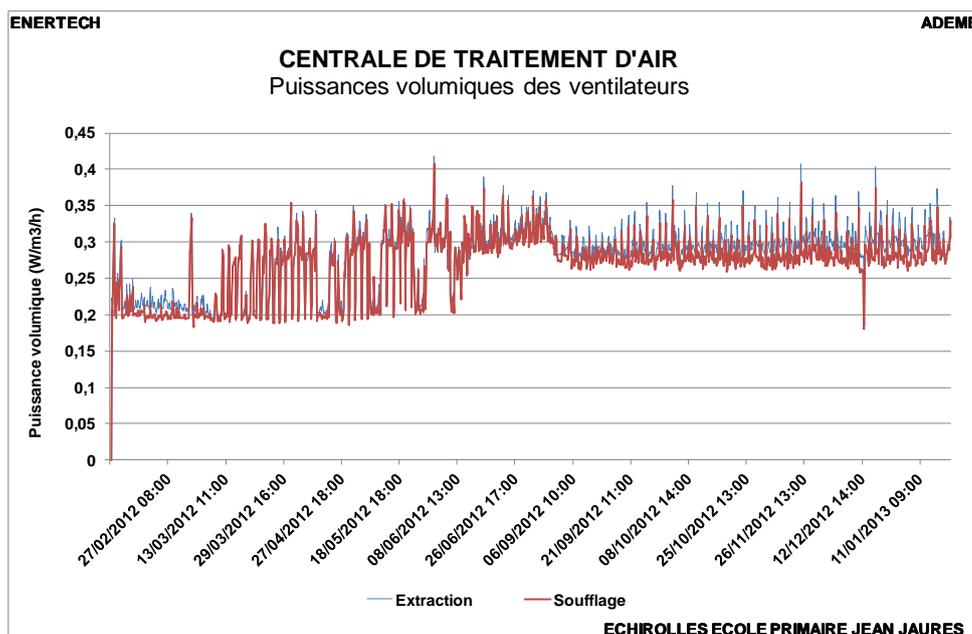


Figure 5.18 : Evolution des puissances volumiques pendant l'année

Le tableau suivant donne les valeurs minimales, moyennes et maximales de la consommation (soufflage et extraction) rapportée aux débits d'air.

	Année			du 21/01 au 13/03/2012			du 12/06/2012 au 20/01/2013		
	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum
Extraction	0,19	0,28	0,42	0,19	0,22	0,34	0,19	0,30	0,41
Soufflage	0,18	0,27	0,41	0,18	0,21	0,33	0,18	0,29	0,38

Figure 5.19 : Puissances volumiques

Les valeurs moyennes des puissances volumiques sont très semblables pour les deux ventilateurs, 0,27 à 0,28 W/m³/h, ce qui n'est pas vraiment étonnant car les deux réseaux aérauliques de soufflage et d'extraction sont complètement identiques. Ces valeurs sont correctes, même si nous en avons observé de bien plus faibles (0,15 W/m³.h dans le bâtiment le Monolithe à Lyon Confluence).

CHAPITRE 6 : ETUDE DU CHAUFFAGE

6.1 Consommation annuelle

6.1.1 Température extérieure

Comme indiqué au paragraphe 2.1, l'année entière a été légèrement plus chaude que les normales trentenaires de 1981 à 2010, mais pendant la saison de chauffe, elle a été légèrement plus froide.

Les degrés jours unifiés (pour l'année de chauffage normalisée allant du 01/10 au 20/05) s'élevaient pour l'année considérée à 2 499. Ils valent 2388 pour la saison de chauffe, définie comme la période où la pompe de distribution chauffage fonctionne (du 21/01/2012 au 26/04/2012 et du 15/10/2012 au 20/01/2013), qui dure 195 jours.

On peut aussi calculer la saison de chauffage « réelle ». Pour cela, on calcule la température moyenne sur la saison de chauffage (ici 19,2°C). On lui soustrait l'abscisse pour une ordonnée de 0 de la droite « Consommation journalière surfacique d'énergie utile mesurée et théorique » (ici 3,9°C). Ceci nous donne une température de non chauffage du bâtiment, ici 15,3°C. Les dates de la saison de chauffage « réelle » sont alors celles auxquelles la température extérieure croise la température de non chauffage. Dans notre cas, la saison de chauffage « réelle » s'étend du 1^{er} janvier 2012 au 07 mai 2012 et du 24 septembre 2012 au 31 décembre 2012, soit une durée de 227 jours.

6.1.2 Energie finale

Rappel : Le chauffage est assuré par un échangeur de chaleur alimenté par le réseau de chauffage urbain, situé en sous station au sous-sol de l'école primaire. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par le réseau de chaleur de l'agglomération grenobloise. L'échangeur fournit également la chaleur utilisée pour le chauffage de l'école maternelle, ainsi que pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire du restaurant. Il alimentait également précédemment un immeuble de logements situé à proximité, qui a été équipé d'une chaufferie autonome lors de sa réhabilitation. On dispose du comptage de chaleur (énergie utile) livré par la Compagnie de Chauffage côté primaire de l'échangeur côté école. Cette consommation inclut donc les pertes de l'échangeur.

Pour les mois complets communs au relevé de facturation fournie par les Services techniques et à nos mesures (février à décembre 2012), l'énergie facturée par le Chauffage Urbain se monte à 93 MWh. Le total de l'énergie mesurée par les compteurs de chaleur en aval de l'échangeur vaut 81,9 MWh. Le rendement annuel de l'ensemble "échangeur + équipements en amont des compteurs de chaleur" atteint donc 88,1 %. Ce rendement n'est évidemment pas constant, il varie selon la quantité d'énergie transitant par l'échangeur (figure 6.1). A partir de la courbe de tendance, on peut en déduire le rendement, puis la consommation primaire pour les mois incomplets de janvier 2012 et janvier 2013.

On arrive ainsi à une consommation finale totale de 117,4 MWh pour une énergie totale au secondaire de 104,7 MWh, ce qui correspond à un rendement annuel de 89,1 %.

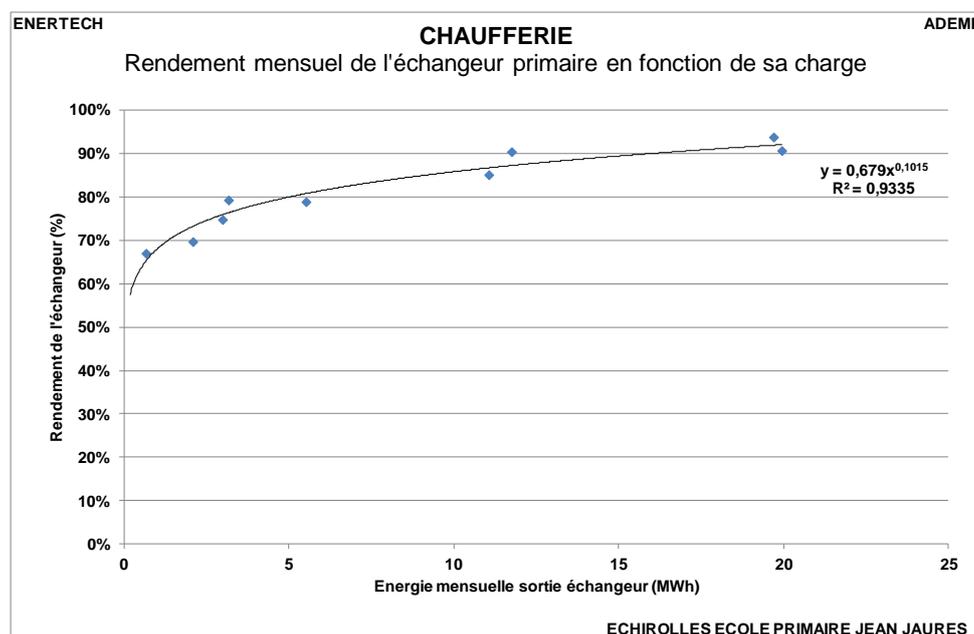


Figure 6.1 : Rendement de l'échangeur de chaleur en fonction de sa charge

Pendant l'année de mesure, le compteur de chaleur de l'école primaire a enregistré un total de 39 650 kWh, ce qui correspond à une consommation finale à l'entrée de l'échangeur de 44 484 kWh, soit une consommation surfacique de **35,7 kWh_{finale}/an/m²_{SU}**.

6.1.3 Energie primaire

L'école est alimentée à partir du réseau de chaleur urbain de la CCIAG. L'énergie primaire sera donc évaluée en retenant le coefficient de conversion énergie finale → énergie primaire donnée de manière conventionnelle dans la Réglementation Thermique, à savoir 1.

6.2 Puissances utiles appelées (thermique)

Le graphique de la figure 6.2 a été obtenu à partir des données horaires issues des compteurs de chaleur. Elle représente donc la puissance moyenne horaire observée sur la période de chauffe, pour l'école primaire seule et pour le total des 3 bâtiments raccordés à la sous-station.

La puissance maximale moyenne horaire atteinte pour l'école primaire est de 90 kW (72 W/m²_{SU}), 80 kW pour l'école maternelle et 30 kW pour le restaurant. La puissance totale pour l'ensemble des 3 bâtiments n'atteint que 140 kW au secondaire de l'échangeur principal de la sous station, soit 60 kW de moins que le total des trois puissances maximales appelées. Cette réduction provient du foisonnement, avec notamment un décalage de la puissance nécessaire au restaurant compte tenu de ses horaires d'utilisation.

La puissance nominale de l'échangeur du chauffage urbain valant 650 kW, on voit donc que celui-ci est surdimensionné d'un facteur de près de 4,6. Cette situation résulte de l'abaissement très important des puissances nécessaires pour l'école primaire, du fait de la rénovation thermique. Mais il est vraisemblable que déjà auparavant, l'échangeur était surdimensionné. Les pertes thermiques de ce dernier (12,7 MWh pour la période de mesures) pourraient sans doute être très notablement réduites par un remplacement par un échangeur plus moderne, mieux isolé, et de puissance adaptée.

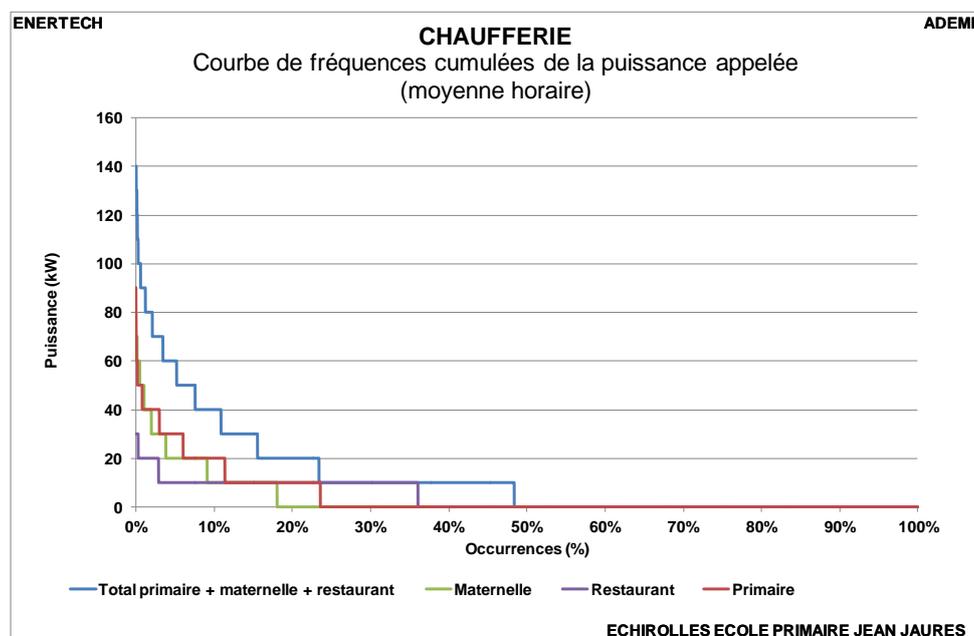


Figure 6.2 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le bâtiment pendant la période de chauffe

6.3 Paramètres influant sur la consommation

6.3.1 Fonctionnement réel de la régulation

6.3.1.1 Régulation de température des réseaux radiateurs

La figure 6.3 représente les lois d'eau mesurées en chaufferie (température de départ en fonction de la température extérieure).

Plusieurs observations peuvent être faites :

- Les deux circuits présentent des lois d'eau similaires
- Trois régimes apparaissent clairement :
 - Le régime normal, qui correspond aux périodes d'occupation. Les lois d'eau sont conformes à celles programmées dans la GTB, avec une température de départ légèrement plus élevée dans le circuit Nord
 - Un régime réduit pour les périodes d'inoccupation, avec un décalage parallèle d'environ - 20 °C

- Un régime pour les relances matinales, avant l'occupation, avec un décalage parallèle d'environ + 10 °C

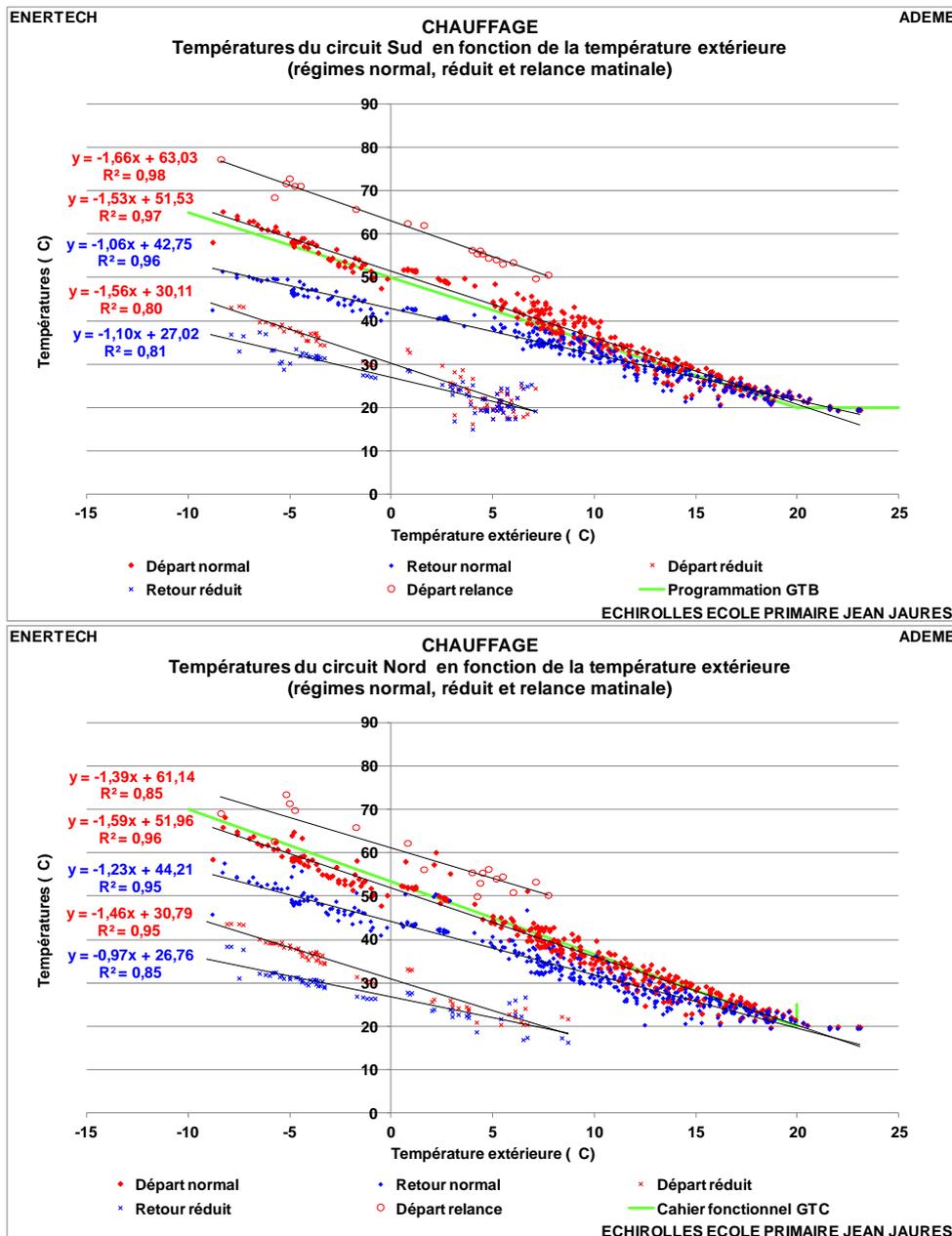


Figure 6.3 : Température de départ en fonction de la température extérieure pour les circuits Sud et Nord

6.3.1.2 Régulation de température de l'air soufflé

La batterie chaude de la CTA, montée en décharge inversée, est réglée de manière à maintenir une température de soufflage constante. C'est ce que confirment les figures 6.5 et 6.6 , où l'on observe une température de soufflage maintenue constante à environ 22 °C, les points au-delà de 22 °C se produisant quand la température extérieure dépasse elle-même 20 °C.

Il est vraisemblable que la température réelle au niveau des bouches est légèrement inférieure, parce que les réseaux aérauliques cheminent dans un caisson extérieur au bâtiment avant de rejoindre les couloirs des 2 niveaux desservis (figure 6.4).



Figure 6.4 : Caisson de passage des gaines de soufflage et reprise d'air sur la façade Nord de l'école

Baisser la consigne de température de soufflage permettrait sans doute de valoriser un peu mieux les apports internes, mais cela ne doit pas se faire au détriment du confort, le corps humain étant sensible à la fois aux températures et aux vitesses d'air. Plus la température d'air est basse, plus la vitesse du flux d'air est ressentie comme gênante.

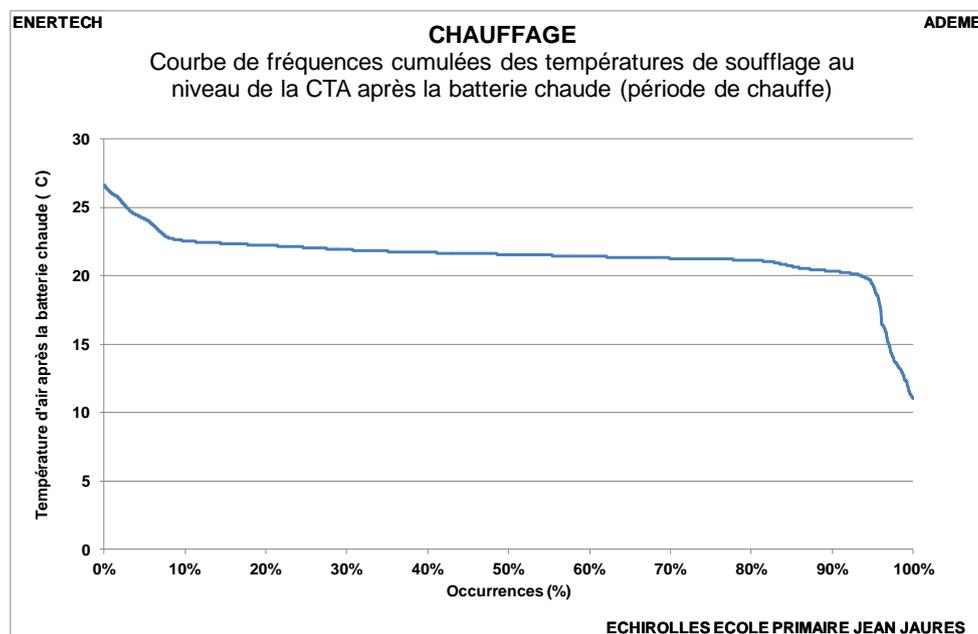


Figure 6.5 : Courbe de fréquences cumulées de la température de soufflage

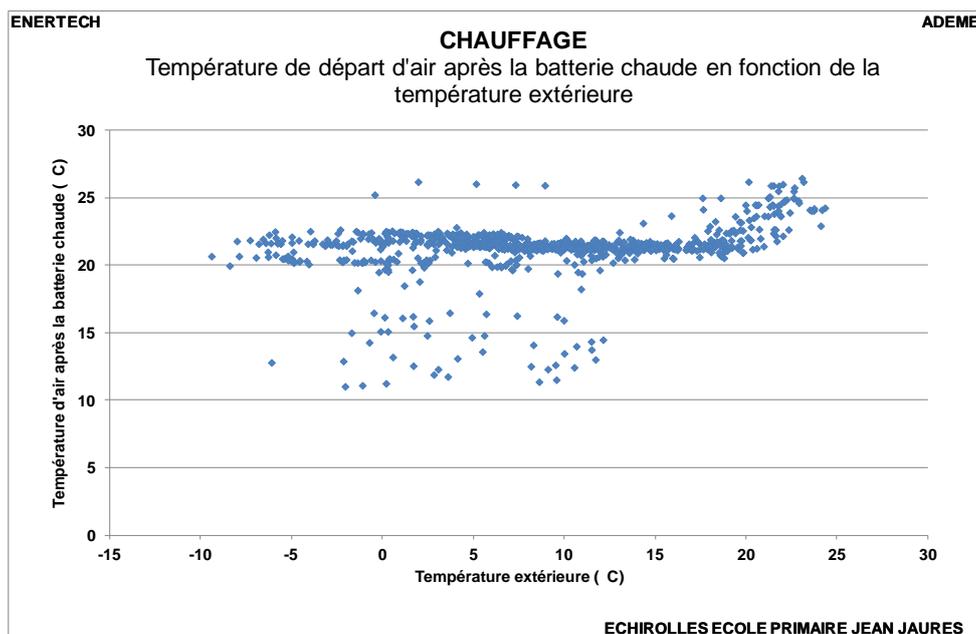


Figure 6.6 : Température de soufflage en fonction de la température extérieure

6.3.1.3 Régulation terminale dans les salles de classe (circuit Sud)

La régulation terminale est assurée dans chaque classe par une vanne 2 voies de zone placée dans le faux-plafond, avec micromoteur commandé par un thermostat d'ambiance. Les radiateurs sont équipés de simples robinets d'arrêt (figure 6.7). Le thermostat possède trois régimes de fonctionnement (confort, stand-by et réduit) dont les niveaux de température et les plages horaires de fonctionnement sont réglables par la GTC.



Figure 6.7 : Vanne de zone avec son micromoteur, thermostat d'ambiance avec modulation de température et radiateur avec robinet simple.

Le thermostat d'ambiance comporte un bouton de correction de la température ambiante. De ce fait, il est difficile de connaître précisément la température de consigne dans chaque classe.

La figure 6.8 montre le fonctionnement de cette régulation :

- A 8 h 00, le circuit de chauffage passe du mode réduit nocturne au mode normal : la puissance consommée par la pompe, donc le débit dans le circuit de chauffage Sud augmente.
- Il en est de même pour la température de départ du circuit de chauffage Sud, qui passe d'environ 50 °C à 60 °C.
- Nous avons équipé les radiateurs d'un sonde de température de contact qui permet de savoir si le radiateur est irrigué : jusqu'à 8 h 00, la vanne de zone est fermée et la température du radiateur est identique à la température de la salle de classe.
- A 8 h 00, la vanne de zone s'ouvre, et le radiateur est irrigué. La température ambiante commence à augmenter
- Vers 15 h, elle atteint 20,1 °C, température qui doit correspondre à la consigne (notre température d'ambiante n'est pas mesurée à l'endroit exact où se trouve le thermostat d'ambiante, il peut donc y avoir un écart de quelques dixièmes de degrés). La vanne de zone se ferme, le radiateur se refroidit naturellement
- A 17 h 40, la température ambiante atteint 19,7 °C, seuil bas de la régulation qui rouvre la vanne de zone.
- A 19 h 00, l'installation repasse en régime nocturne : baisse de la vitesse de la pompe, baisse de la température d'eau du réseau de chauffage, fermeture de la vanne de zone.

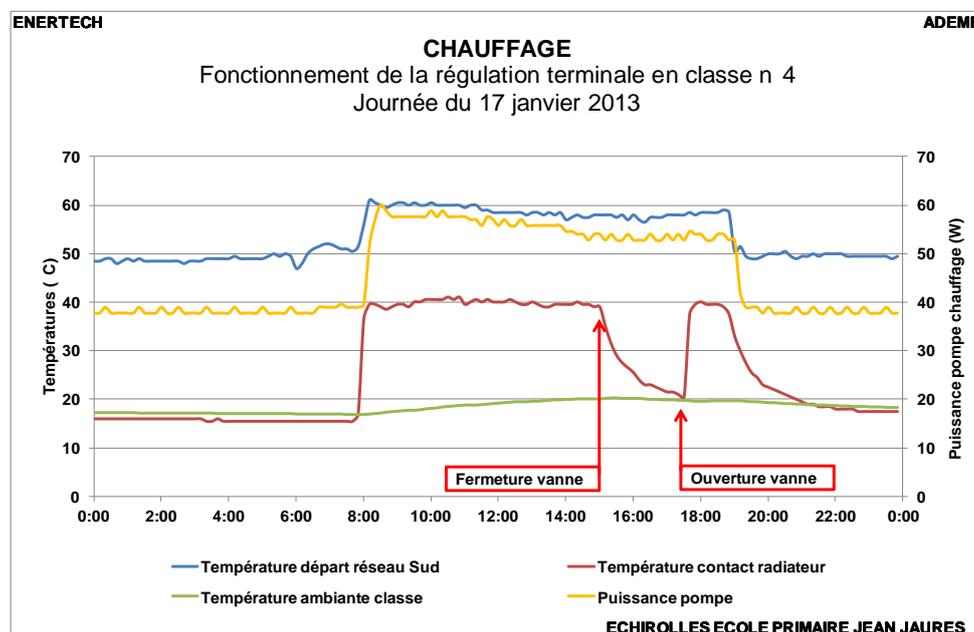


Figure 6.8 : Fonctionnement de la régulation par zone

Remarque : nos mesures donnent des valeurs décalées d'une heure par rapport à la programmation de la GTC. Nous n'avons pu en établir la cause, mais il est possible qu'il y ait eu des modifications de la programmation entre nos mesures et les indications données par la CCIAG.

Sur le graphique de la figure 6.9 sont comparés les comportements de 2 classes.

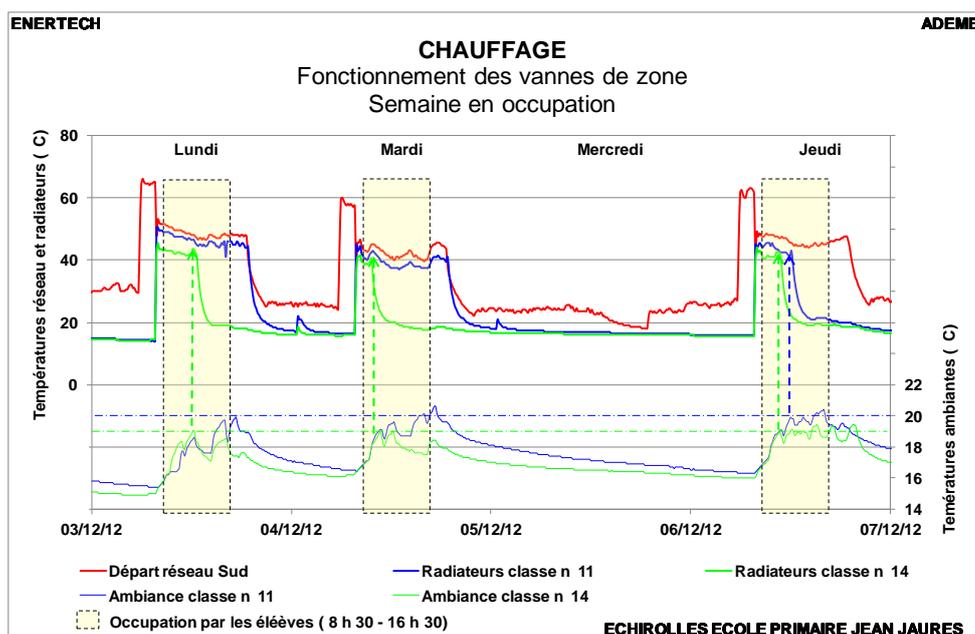


Figure 6.9 : Fonctionnement de la régulation par zone (comparaison de 2 classes)

On y voit que les choix de consigne sont vraisemblablement différents :

- dans la classe n° 11, la consigne est d'environ 20 °C, conduisant à un fonctionnement continu pendant les deux premiers jours. Le jeudi, la vanne de zone est fermée en cours de journée.
- dans la classe n° 14, quand la température ambiante atteint 19 °C, la vanne de zone se ferme et ne se rouvre plus pendant le reste de la journée. C'est assez étonnant dans la mesure où la température ambiante redescend parfois pendant la période d'occupation jusqu'à 17 °C. Précisons cependant que ces analyses sont juste indicatives, dans la mesure où, contrairement aux préconisations du fabricant, les boîtiers de régulation sont placés à proximité de la porte d'entrée des classes, donc soumis à la température du couloir, et ceci plus ou moins selon que les professeurs ferment ou non la porte (les 2 comportements existent...). Par ailleurs, nos sondes d'ambiance sont placées en fond de la classe, donc complètement à l'opposé des boîtiers.... Il peut donc, exister un écart sensible entre les 2 sondes...

La figure 6.10 représente les fréquences cumulées, pendant les jours occupés de la saison de chauffe, des températures observées sur les radiateurs des salles de classe par nos sondes de contact, comparées à la courbe des fréquences cumulées de la température de départ du circuit de chauffage Sud. On observe une cassure assez nette, mais différente selon les salles de classe, des profils de température aux environs de 22 °C, traduisant la fermeture des vannes de zone. La proportion de durée d'ouverture des vannes de régulation est donnée par l'abscisse correspondant à cette température seuil de 22 °C. Si on trace les températures moyennes à l'entrée des radiateurs et les températures moyennes dans les classes en fonction de cette proportion de durée d'ouverture des vannes de zones, on observe que les valeurs plus importantes des durées d'ouverture, résultant du choix des consignes par les occupants, conduisent effectivement à des températures moyennes plus

élevées à l'entrée des radiateurs et à des températures moyennes dans les classes également plus élevées.

Ces corrélations, certes imparfaites à cause de la précision des mesures et des faibles variations étudiées, mettent néanmoins en évidence le fait que les régulations terminales fonctionnent correctement, et permettent aux occupants de moduler les températures intérieures dans les classes, dans la limite de ce qu'autorise la température du réseau hydraulique sud piloté par sa propre régulation en fonction de la température extérieure, comme cela a été montré au paragraphe précédent.

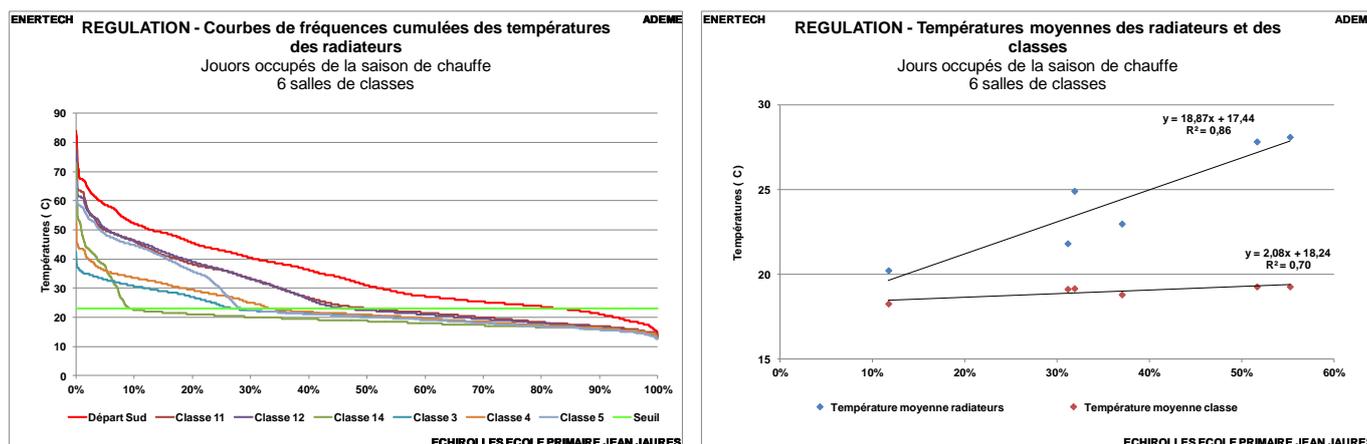


Figure 6.10 : Courbe des fréquences cumulées des températures mesurées à l'entrée des radiateurs des salles de classes, et températures moyennes des radiateurs et des classes

6.3.1.4 Régulation terminale des radiateurs du circuit Nord

La régulation terminale dans les couloirs est assurée par des robinets thermostatiques (figures 6.11 et 6.12). Là non plus, nous ne connaissons pas ni la température de consigne, ni la température ambiante dans le couloir, mais on constate que le robinet thermostatique s'ouvre et se ferme à plusieurs reprises, ce qui signifie que la température ambiante oscille autour de la température de consigne.



Figure 6.11 : Radiateur dans un couloir avec son robinet thermostatique

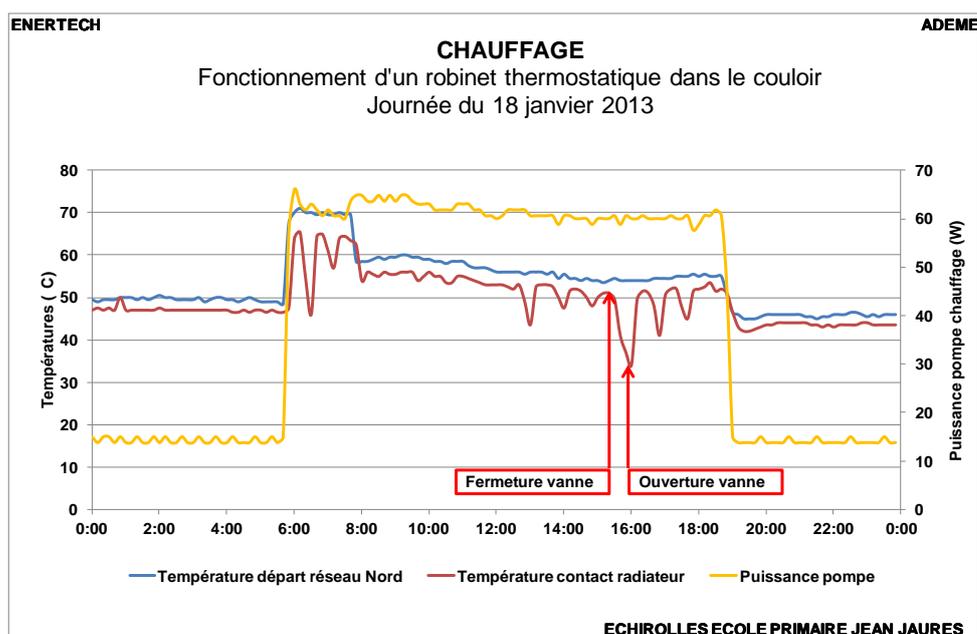


Figure 6.12 : Fonctionnement d'un robinet thermostatique

6.3.1.5 Gestion de l'intermittence

La GTB pilote les pompes, les vannes de zone, et les températures de départ des circuits de chauffage en fonction de la température extérieure et des consignes définies dans les plages horaires programmées. Les graphiques suivants illustrent le fonctionnement pendant une semaine scolaire, pour les circuits Sud et Nord. On y voit :

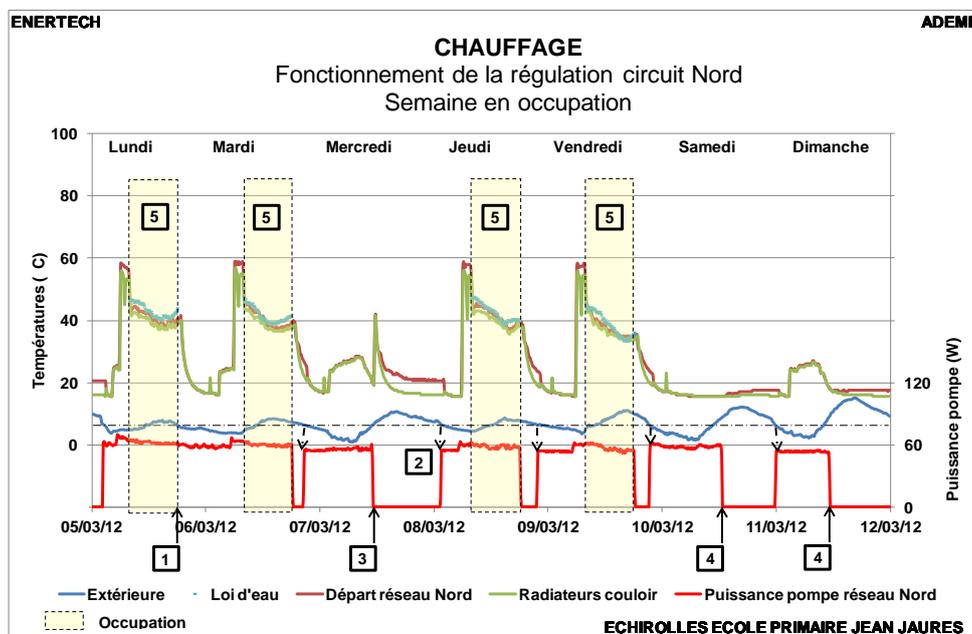
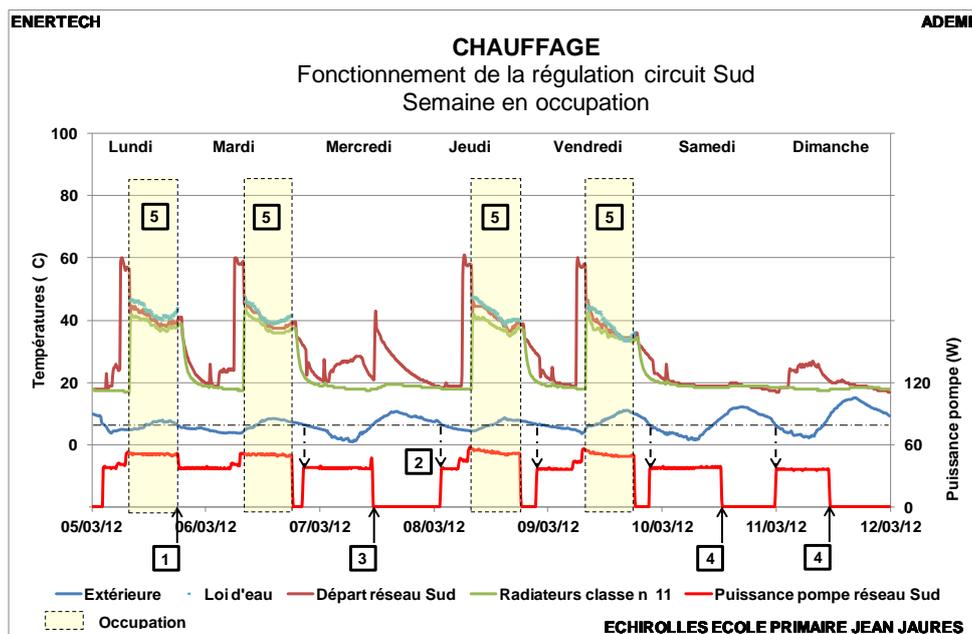


Figure 6.13 : Gestion de l'intermittence

- Un fonctionnement similaire des pompes des 2 circuits : les pompes sont en service si la programmation horaire de l'occupation l'autorise ou si la température extérieure descend en-dessous de 8 °C :
 - en 1, la pompe devrait s'arrêter (fin de la période d'occupation), mais reste en service du fait d'une température extérieure inférieure à 8 °C.
 - en 2, on voit une relance des pompes hors de la plage temporelle d'occupation du fait de la baisse de la température extérieure sous ce seuil de 8 °C.
 - en 3 (mercredi) et 4 (samedi), les pompes s'arrêtent en milieu de journée dès que la température extérieure l'autorise.

- Les jours d'occupation, de 6 heures à 8 heures, la température d'eau passe sur la courbe relance, avec des températures élevées. Sur le circuit Nord, où les radiateurs sont équipés de simples robinets thermostatiques, ceux-ci sont immédiatement alimentés en eau chaude. Par contre, sur le circuit Sud, les régulations terminales dans les classes restent fermées jusqu'à ce que la programmation de l'occupation autorise leur ouverture. Ceci explique la remontée tardive en température observée dans les classes (paragraphe 4.2.1)
- Les jours d'occupation, entre 8 heures et 18 heures, la température de départ et des radiateurs irrigués suit la courbe de chauffe en fonction de la température extérieure : en effet, la température réelle mesurée (courbe marron) est quasiment superposée à la température théorique obtenue à partir de cette loi de chauffe (courbe bleu clair)
- Les matins des jours d'inoccupation où la température extérieure est inférieure à 8 °C (mercredi, samedi), l'installation fonctionne en régime réduit : la température de départ est plus basse, selon les observations du paragraphe 7.3.1.1. Mais seuls les radiateurs de la zone Nord sont irrigués, alors que les classes, les radiateurs restent froids parce que la température ambiante est supérieure à la consigne inoccupation.
- On observe une augmentation de la consommation de la pompe du circuit Sud quand les vannes de voies des classes s'ouvrent : le débit augmente, et il en est de même pour la vitesse de la pompe et la puissance appelée. Pour le circuit Nord, la puissance appelée est beaucoup plus stable, du fait de l'absence de modulation du débit.

6.3.1.6 Synthèse

Une école est un bâtiment à occupation très intermittente. Comme le montre les figures 6.14 et 6.15, l'ensemble des dispositions explicitées dans les paragraphes précédents conduisent effectivement à une double modulation hebdomadaire et journalière des consommations et des puissances appelées :

- Les jours les plus consommateurs sont les jours occupés (lundi, mardi, jeudi et vendredi)
- Ceux qui suivent un jour inoccupé (lundi et jeudi) ont des consommations plus élevées
- Ceux qui suivent un jour occupé (mardi et vendredi) ont des consommations plus faibles que celles du jour précédent, à cause de l'accumulation de chaleur dans la structure du bâtiment, du fait de l'isolation extérieure.
- Le samedi est un jour d'inoccupation qui suit le jour où les températures moyennes sont les plus élevées. Il est donc logique que la consommation spécifique de ce jour est la plus basse, l'énergie accumulée dans la structure du bâtiment venant réduire la consommation de chauffage.

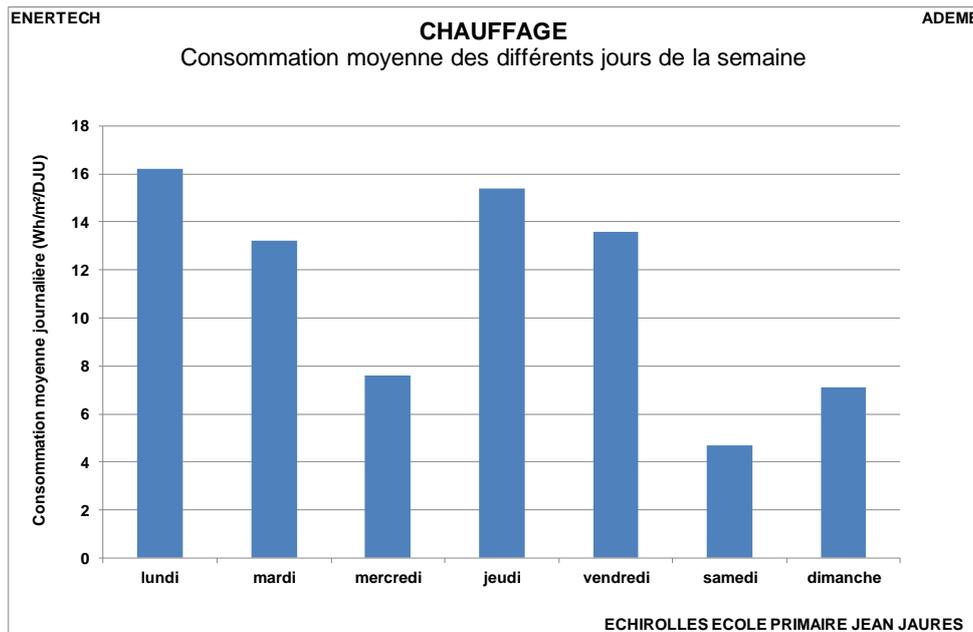


Figure 6.14 : Consommation moyenne des différents jours de la semaine

La courbe de charge journalière de la consommation d'énergie utile (circuits de chauffage Sud et Nord, ainsi que le circuit d'alimentation de la CTA), donnée sur le graphique de la figure 6.15, montre l'effet de la programmation de l'occupation, et de l'optimisation permise par la régulation, sur les puissances appelées. Pour tracer ce graphique, seuls sont considérés les états d'occupation ou d'inoccupation de l'école, indépendamment du jour de la semaine (par exemple un lundi ou un jeudi peut être inoccupé s'il tombe en période de vacances) :

- Pour les jours ouvrés, on observe un appel de puissance vers 6 h 00, quand la GTC bascule sur la loi de chauffe relance, qui s'accroît encore entre 8 h 00 et 9 h 00, quand les vannes des radiateurs s'ouvrent. Ensuite, la puissance appelée diminue pendant les périodes d'occupation. Enfin, on note une légère remontée en fin de journée quand il n'y a plus d'élèves dans les classes, avant la coupure à 18 h00.
- Pour les jours non ouvrés, la puissance est globalement stable, avec une légère baisse dans la journée, qui peut correspondre à une remontée de la température extérieure, ainsi qu'aux apports passifs par les vitrages Sud.

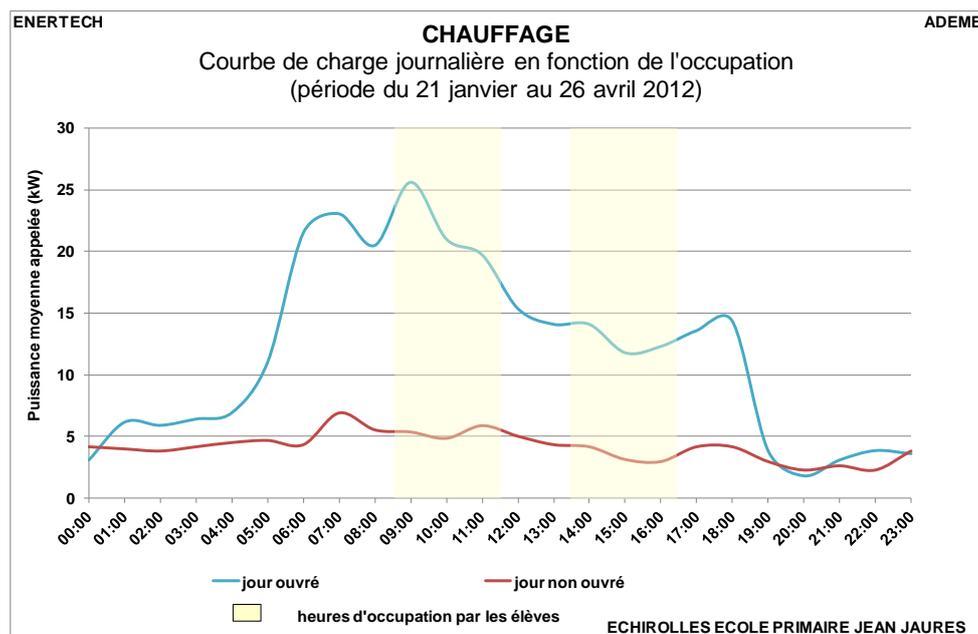


Figure 6.15 : CHAUFFAGE

Courbe de charge journalière de la consommation de chauffage en période de chauffe

Conclusion :

Les fonctionnalités du système de régulation prévues lors de la conception conduisent à une bonne maîtrise des consommations de chauffage, même si toutes ne sont pas réellement opérationnelles. Certains réglages pourraient sans doute être optimisés, notamment pour améliorer le confort :

- Le fonctionnement des vannes de zone doit être asservi au fonctionnement de la pompe Sud, afin que les radiateurs des salles puissent être irrigués lorsqu'elle fonctionne.
- La fonction d'optimisation au démarrage et à l'arrêt des pompes pourra alors jouer son rôle.
- La température de consigne confort pourrait sans doute être ramenée à 19 °C, puisque la température réelle dans les classes atteindra plus tôt cette valeur.
- Les pompes s'arrêteraient ainsi plus tôt en fin de journée.

Nous proposons qu'une réunion soit organisée sur ce point avec les Services Techniques de la Ville, la CCIAG et le fournisseur de la GTB (Siemens).

6.3.2 Déperditions réelles du bâtiment

Le graphique de la figure 6.16 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur.

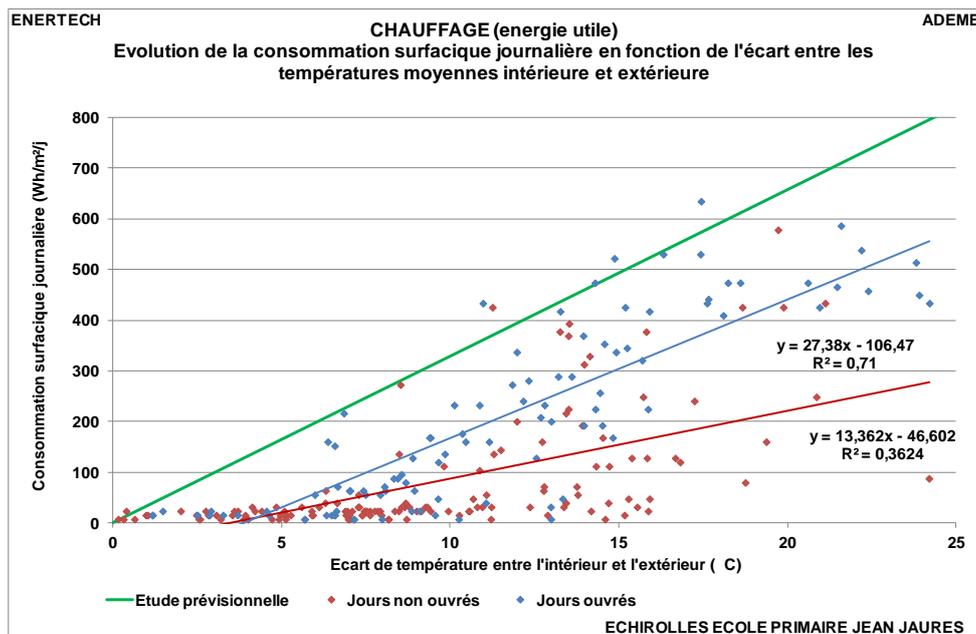


Figure 6.16 : Consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur

On observe ainsi que la température de non chauffage est inférieure de 3,9 °C à la température intérieure les jours ouvrés et 3,5 °C les jours non ouvrés. La différence entre les deux courbes s'explique par les apports internes inexistantes lors de l'inoccupation du bâtiment, et aussi par le non fonctionnement de la ventilation en inoccupation.

La relation fournissant la consommation réelle en occupation s'écrit :

$$C = 27,4 \times \Delta T - 106,5 \quad [\text{Wh/m}^2_{\text{utile}}/\text{j}/^\circ\text{C}]$$

La pente de cette droite permet d'obtenir le coefficient de déperditions moyen réel du bâtiment : **1 420 W/K**. Cette valeur représente les déperditions réelles du bâtiment qui sont inférieures à la valeur obtenue par le calcul RT THCex, à savoir **1704 W/K** (17 % de moins). Cette différence peut s'expliquer d'une part par un débit moyen réel de ventilation en occupation, variant entre 3200 et 3600 m³/h alors que le débit pris en compte pour le calcul de déperditions est de 5500 m³/h, et d'autre part par une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe.

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE

7.1 Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque

86,4 m² de membrane photovoltaïque EVALON Solar 408 ont été installés sur la toiture du restaurant voisin, soit une puissance crête de 4,08 kWc. Un onduleur FRONIUS IG 40 de 3500 W transforme le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif.

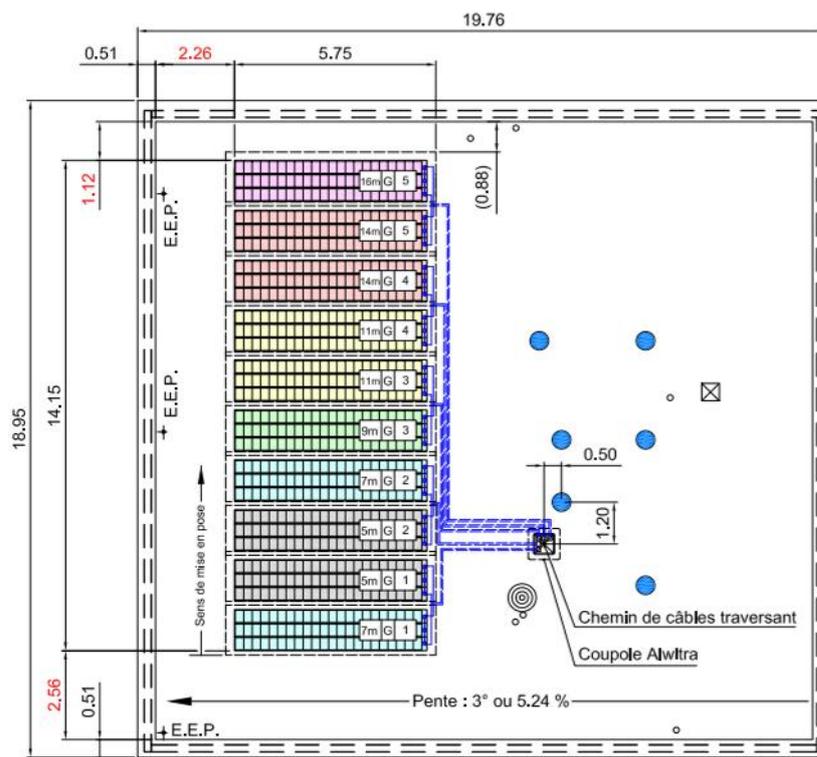


Figure 7.1 : Schéma des capteurs souples intégrés dans la membrane d'étanchéité de toiture

Compte tenu des délais de raccordement au réseau, les mesures n'ont réellement commencé que le 06 avril 2012. 1 846 kWh_{él} ont été produits jusqu'au 20 janvier 2013. La production photovoltaïque doit être rapportée à la surface utile totale du projet (école primaire + restaurant), soit 1504 m². La production atteint ainsi 1,23 kWh_{él}/m²_{SU}/an

Si on extrapole à la période complète de mesure (21 janvier 2012 – 20 janvier 2013), la production aurait dû atteindre 2224 kWh, soit 1,48 kWh_{él}/m²_{SU}/an ou 1,40 kWh_{él}/m²_{SHON}/an. Cette dernière valeur est nettement plus basse que la valeur objectif de l'étude prévisionnelle (2,08 kWh_{SHON}/m²_{SU}/an), qui a été obtenue avec un champ PV de caractéristiques différentes (60 m², 3,5 kWc, production annuelle prévue 3300 kWh)

Le système a fonctionné pendant 95% du temps, avec un rendement système moyen journalier variant entre 1,3 et 2,2 %.

Le graphique de la figure 7.2 donne la production moyenne journalière pour chaque mois de la période de suivi. En moyenne, ce sont 6,4 kWh qui sont produits chaque jour.

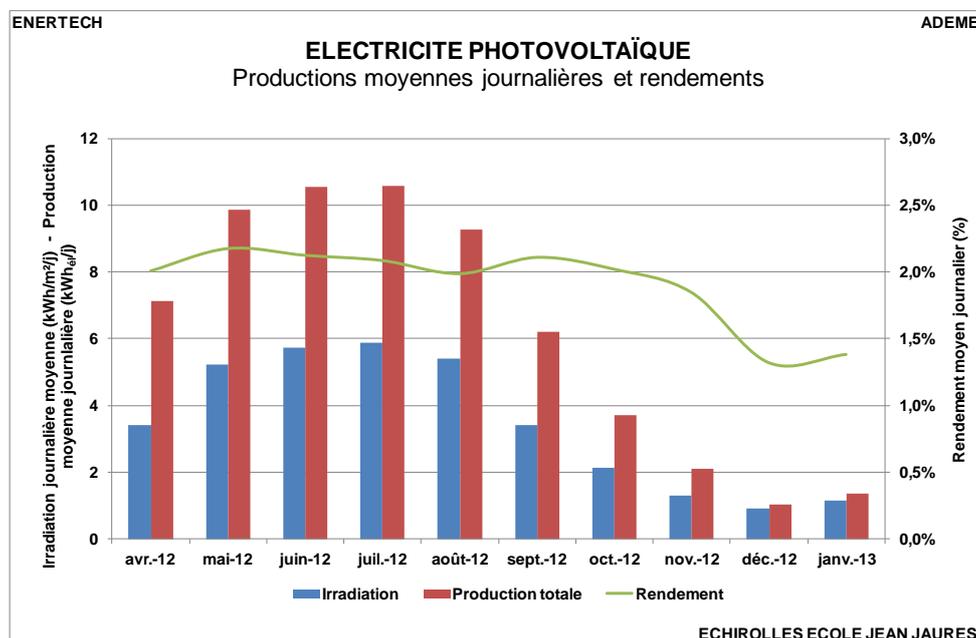


Figure 7.2 : Production photovoltaïque – Evolution de la production moyenne journalière

7.2 Consommation globale

7.2.1 Analyse de la facture d'électricité

Le bâtiment possède un abonnement tarif jaune de 48 kVA, qui dessert également l'école maternelle et le restaurant.

La puissance active maximale appelée au niveau de ce tarif jaune a été de 39 kW le 3 février 2012 à 12 h 20. Elle se répartit en :

- Ecole primaire : 9,2 kW
- Ecole maternelle : 18,5 kW
- Restaurant : 11,2 kW

La puissance apparente maximale apparaissant sur les factures est de 44 kVA entre le 14 novembre 2011 et le 08 février 2012, cohérente avec nos mesures, moyennant un $\cos \phi$ de l'ordre de 0,9.

Le contrat souscrit paraît donc bien ajusté.

Si on considère uniquement l'école primaire, la puissance maximale (moyennée sur 10 minutes) appelée est de 16,3 kW, et la puissance maximale sur les 10 plus importants appels de puissance est de 15,0 kW.

La consommation brute annuelle d'électricité de l'école primaire est de 26 170 kWh_{el}/an. Cette consommation prend en compte la consommation électrique de la sous-station qui alimente également en chaleur l'école maternelle et le restaurant (1757 kWh). Si on retranche la part de cette consommation qui est à affecter à ces deux derniers bâtiments, répartie au prorata des consommations en chaleur des 3 bâtiments, la consommation nette de l'école est de 25 000 kWh_{el}/an, soit **20,1 kWh_{el}/m²_{SU}/an** ou encore **164 kWh_{el}/personne.an**.

Avec un coefficient de conversion de 3,2, la consommation en énergie primaire est de **64,3 kWh_{ep}/m²_{SU}/an**.

7.2.2 Evolution de la consommation au cours du temps

La consommation du bâtiment est très stable, que ce soit pendant les jours ouvrés ou non ouvrés. Pour les jours ouvrés, il y a ainsi un facteur d'environ 1,3 entre les extremums mensuels (décembre et mars). Pour les jours non ouvrés, ce facteur atteint 1,39 (juin et janvier 2013). La différence entre la consommation les jours ouvrés et les jours non ouvrés est assez marquée, puisqu'un jour non ouvré moyen consomme 2,5 fois moins qu'un jour ouvré.

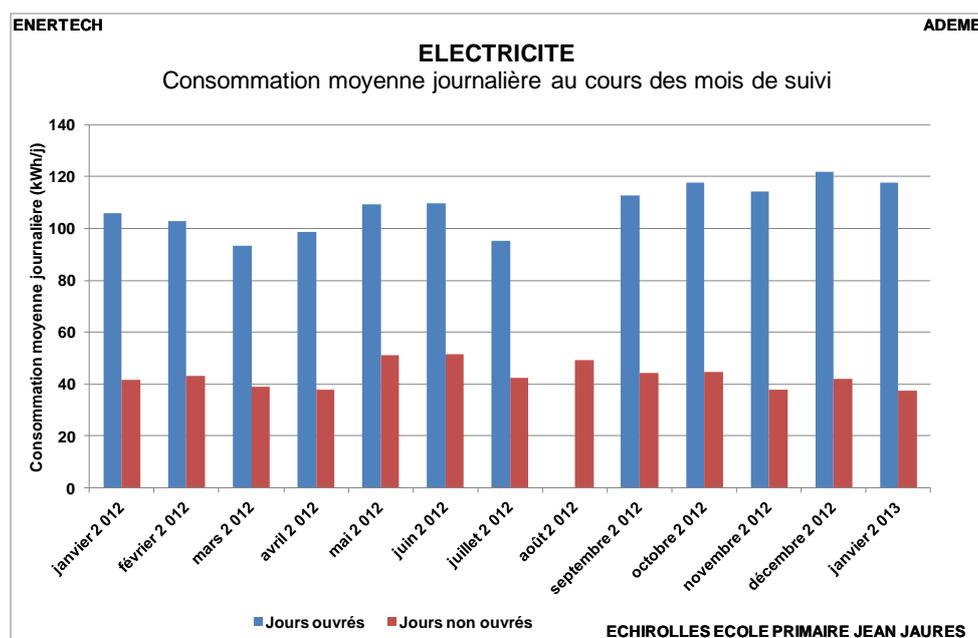


Figure 7.3 : ELECTRICITE - GENERAL ECOLE
Consommation moyenne journalière au cours des mois de suivi

Le graphique de la figure 7.4 donne la courbe de charge moyenne pour les jours ouvrés et non ouvrés, en distinguant deux périodes :

- Hiver : du 21/01/2012 au 26/04/2012 et du 16/10/2012 au 20/01/2013 : le chauffage fonctionne, la ventilation fonctionne en journée
- Été : du 27/04/2012 au 15/10/2012 : le chauffage est arrêté, la ventilation fonctionne le jour, mais également en surventilation la nuit de 2 h 00 à 6 h 00

Pendant la journée, les courbes des jours ouvrés été ou hiver présentent un profil similaire, celle de l'hiver se situant au-dessus de celle de l'été du fait de la consommation des pompes de chauffage et de l'éclairage. On retrouve également une légère différence pour les courbes des jours non ouvrés, l'écart étant lié au fonctionnement du chauffage.

Pendant la nuit, les courbes hiver des jours ouvrés ou non ouvrés sont quasiment identiques, celle des jours ouvrés étant située très légèrement au-dessus de celle des jours non ouvrés. Celle des jours non ouvrés donne une bonne indication des consommations de veille de l'ensemble des équipements présents dans l'école, qui correspondent à une puissance permanente d'environ 1,5 kW.

En été la nuit, la surventilation est activée. La différence de niveau de puissance moyenne entre les jours ouvrés et les jours non ouvrés tient au fait que cette surventilation est autorisée du lundi au vendredi, et ne fonctionne jamais les samedis et dimanche. Donc pendant tous les jours ouvrés, elle est en service, alors que pour les jours non ouvrés, elle n'est en service qu'un jour sur trois, ce qui conduit à une puissance moyenne plus basse.

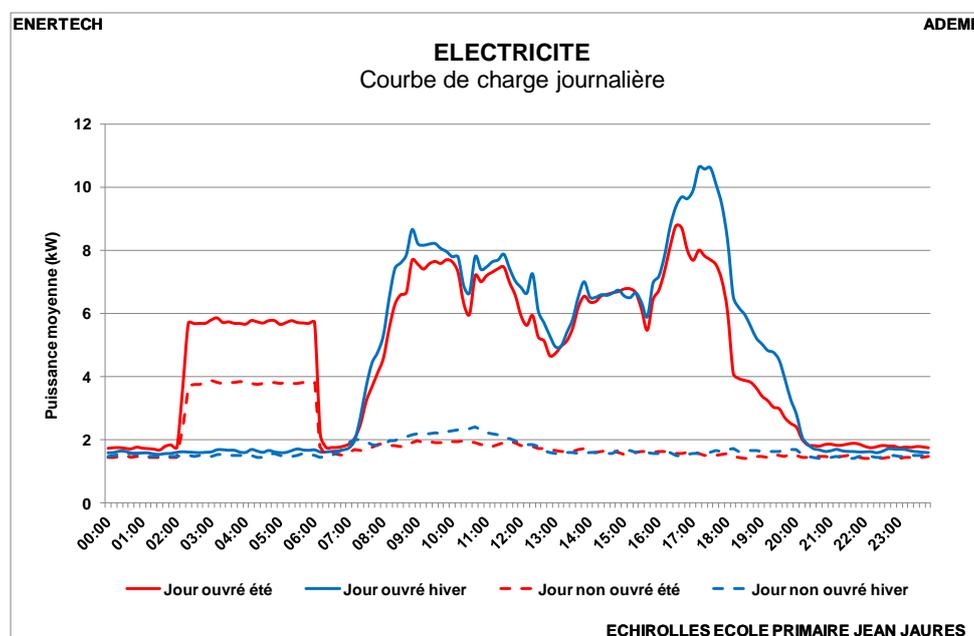


Figure 7.4 : ELECTRICITE - GENERAL ECOLE
Courbe de charge journalière

7.3 Structure par usage de la consommation électrique

7.3.1 Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages

La consommation totale d'électricité se répartit selon le graphe 7.5. On constate que :

- C'est le poste éclairage qui représente la consommation majoritaire (35 %)
- Vient ensuite la CTA avec 26 %
- L'ensemble des postes informatiques regroupés sur le réseau spécifique VDI représente 15 % des consommations
- Les volets roulants représentent un poste non négligeable : plus de 6 %. A la consommation du bus informatique permettant leur commande, qui est en fonctionnement permanent et qui représente 6 %, s'ajoute la consommation des moteurs qui n'a pas été mesurée séparément et qui est incluse dans le poste divers.

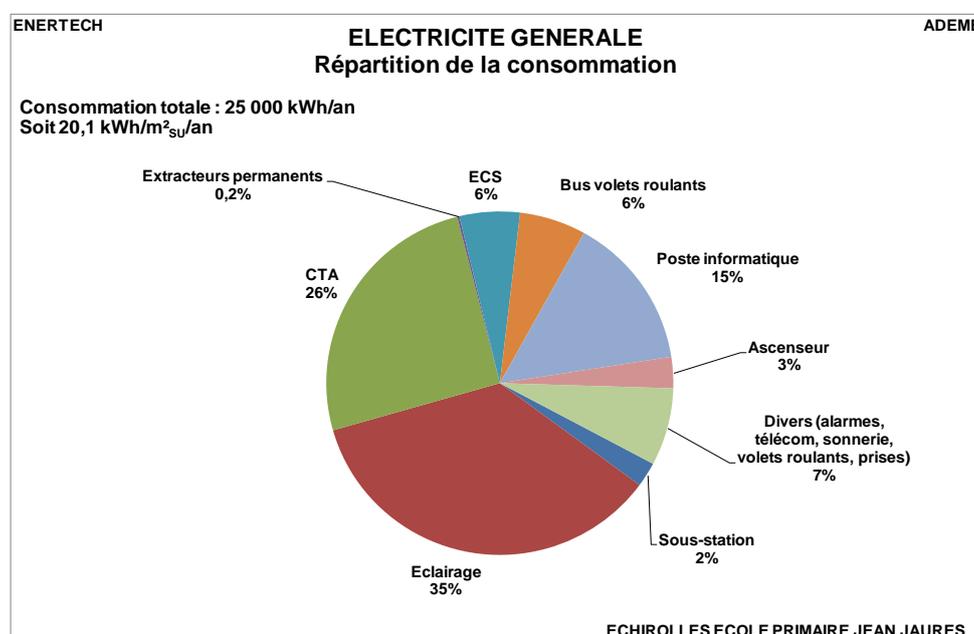


Figure 7.5 : ELECTRICITE : Répartition de la consommation

7.3.2 Répartition de la consommation annuelle entre les périodes d'occupation et d'inoccupation

Nous avons retenu comme période d'occupation les plages horaires 7 h 00 → 19 h 00 pour les journées de classe. Le graphique de la figure 7.6 met en évidence que la consommation du bâtiment est supérieure en période d'inoccupation. Cette conclusion qui peut paraître étonnante doit être tempérée par le fait que la durée totale d'occupation ne représente que 16 % de la durée totale de l'année.

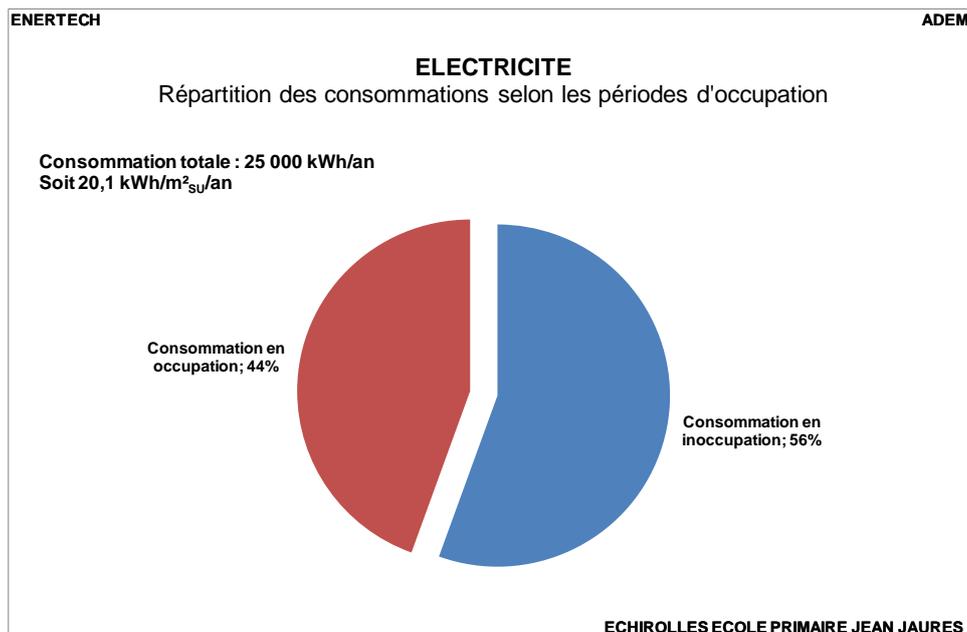


Figure 7.6 : ELECTRICITE : Répartition de la consommation entre périodes d'occupation et d'inoccupation

En période d'occupation, presque deux tiers de la consommation totale correspond aux usages en classes (éclairage, informatique, prises de courant).

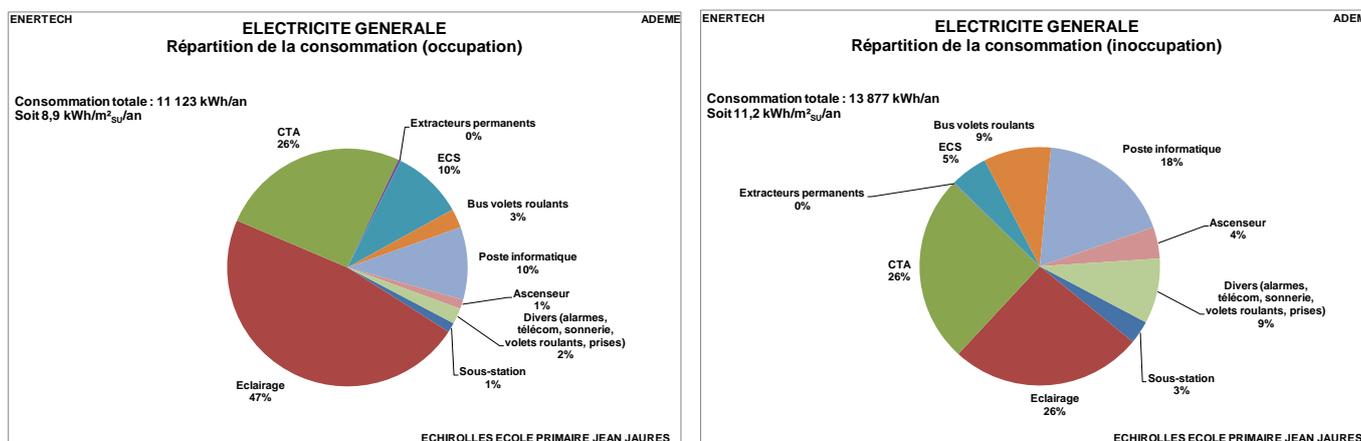


Figure 7.7 : ELECTRICITE - GENERAL ECOLE Répartition de la consommation en période d'occupation et inoccupation

En période d'inoccupation, les postes de consommation importantes sont l'éclairage (extérieur, BAES), la CTA et l'informatique.

Sur le graphique de la figure 7.8 est représentée la répartition des différents postes selon la période d'occupation. On y voit l'influence de l'occupation sur certaines consommations (éclairage, ventilation, extracteurs permanents des sanitaires qui sont arrêtés en inoccupation). Le fait que la proportion pour l'éclairage n'atteigne pas 100 % est liée aux consommations de veille (blocs BAES pour l'éclairage) ou à certains dysfonctionnements (l'éclairage de la gaine de l'ascenseur est resté allumé 64 jours en continu, occasionnant une surconsommation d'environ 800 kWh).

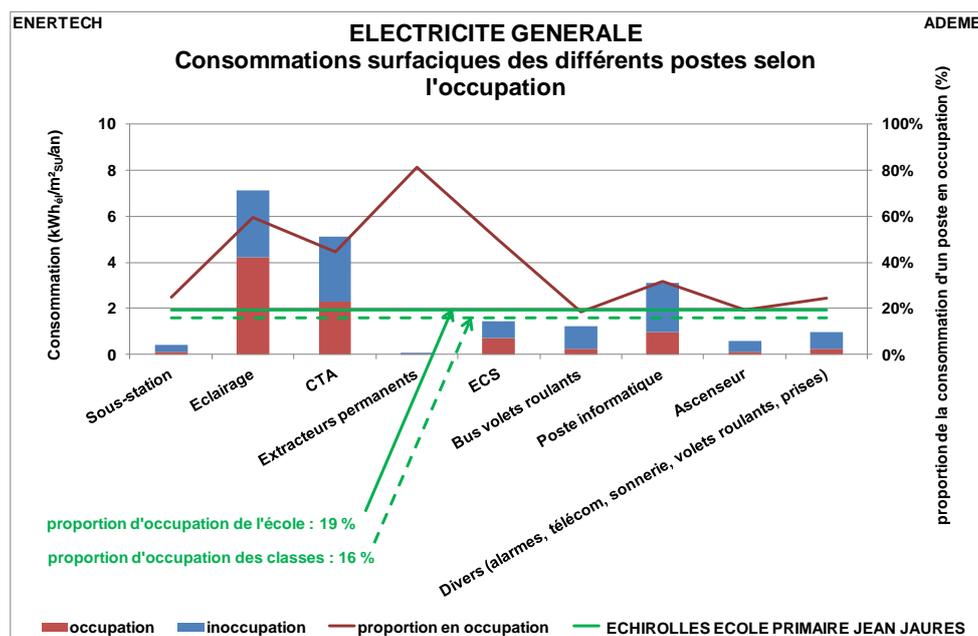


Figure 7.8 : ELECTRICITE - GENERAL ECOLE
Répartition de la consommation en période d'inoccupation

Inversement, certains postes ont une proportion de consommation en occupation égale au taux d'occupation de l'école (bus volets roulants, ascenseur) ou peu supérieure (sous-station).

7.4 Structure par usage de la puissance de pointe

La courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée au niveau du tarif jaune fait apparaître que la puissance active maximale appelée est de 39 kW. Cependant, la puissance est inférieure à 20 kW plus de 95% du temps.

Si on considère uniquement l'école primaire, la puissance maximale (moyennée sur 10 minutes) appelée est de 16,3 kW, et la puissance est inférieure à 5 kW plus de 80% du temps.

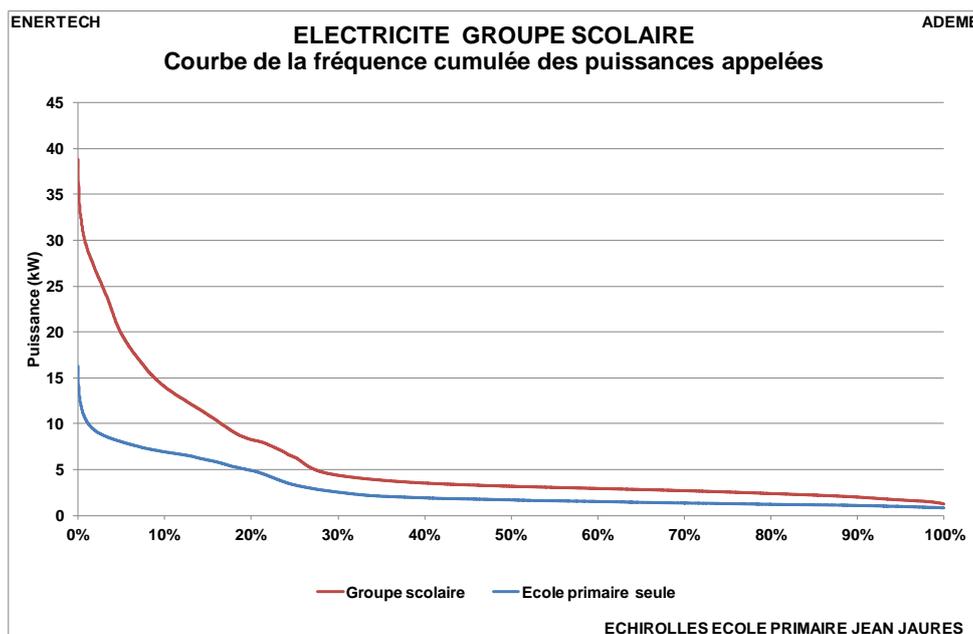


Figure 7.9 : ELECTRICITE
Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le groupe scolaire au niveau du comptage tarif jaune et par l'école primaire seule

Pour la seule école primaire, le graphique de la figure 7.10 présente la structure par usage au moment des 10 appels de puissance maximaux, à savoir :

11/12/12 17:10	11/1/13 17:10
14/12/12 17:10	6/12/12 17:50
17/12/12 16:50	29/11/12 17:10
23/11/12 17:20	16/11/12 17:10
18/12/12 17:30	27/11/12 17:00

C'est l'éclairage qui représente le poste le plus consommateur lors de ces pointes avec 34 % de la puissance de pointe.

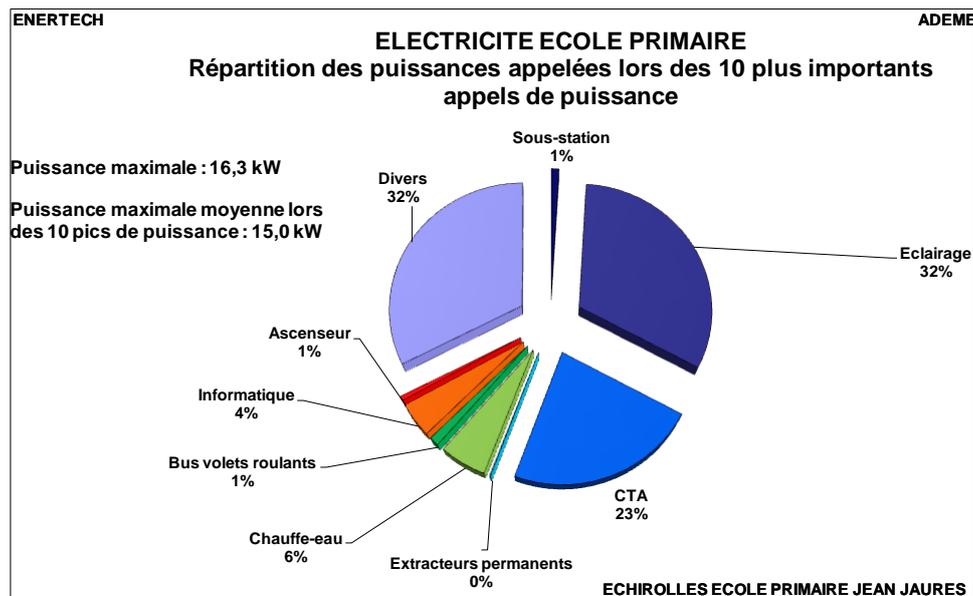


Figure 7.10 : ELECTRICITE – ECOLE PRIMAIRE
Répartition des puissances appelées lors des 10 plus importants appels de puissance

7.5 Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage

7.5.1 Bureautique et audiovisuel

Le poste informatique comprend :

- En salle informatique :
 - La baie informatique, comportant un routeur CISCO 877 et plusieurs baies de brassage,
 - Un serveur FUJITSU Primergy TX 100
 - Une imprimante laser HP LaserJet P2050



Figure 7.11 : ELECTRICITE – ECOLE PRIMAIRE
Baie de brassage avec routeur et serveur informatique

- les 12 postes informatiques (4 d'entre eux ont été instrumentés)
- Un poste vidéo, comprenant une télévision CRT avec lecteur de cassette intégré. Sa consommation a été marginale, puisqu'elle vaut moins de 0,3 kWh dans l'année.
- Dans les salles de classes
 - 5 postes informatiques (unité centrale, moniteur) et 2 imprimantes (une laser, une jet d'encre). 4 postes ont été instrumentés, mais les mesures ne sont exploitables que sur 3 d'entre eux, parce que notre appareil de mesure a été débranché sur l'un d'entre eux.
 - Les mini-chaînes utilisées de manière occasionnelles dans les classes, et qui n'apparaissent pas dans le bilan suivant, mais sont comptabilisées dans le poste "divers" au paragraphe 7.4.
- Dans le bureau du directeur
 - Un poste informatique du directeur (unité centrale, moniteur) et une imprimante laser (poste instrumenté)
- Dans la salle des maîtres
 - La photocopieuse (instrumentée)

L'ensemble de ces équipements est alimenté à partir d'un réseau spécifique nommé VDI ("Voix, données, Image"), relié à un coffret électrique situé dans la salle informatique. Ce coffret est lui-même alimenté à partir d'un départ spécifique dans le TGBT.

Le graphique de la figure 7.12 montre le profil annuel de consommation du circuit VDI, avec des creux correspondant aux périodes de vacances.

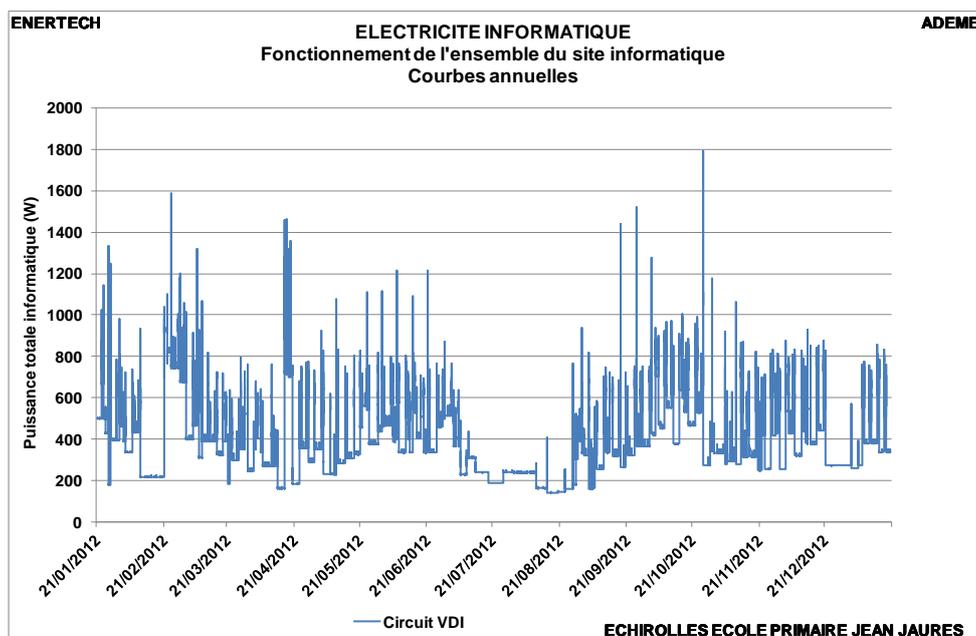


Figure 7.12 : ELECTRICITE - INFORMATIQUE
Profil annuel de la totalité du poste bureautique et informatique

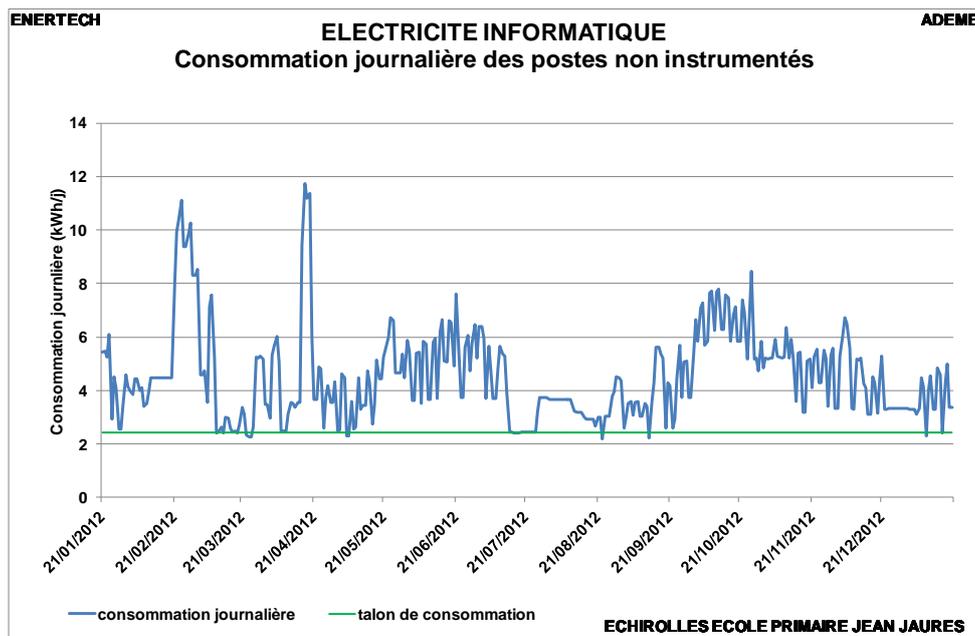


Figure 7.14 : ELECTRICITE - INFORMATIQUE ET AUDIOVISUEL
Consommation journalière des postes non instrumentés

Pendant la période du 14/07/2012 au 25/07/2012, aucune utilisation des postes informatiques n'a été observée. Il apparaît ainsi un talon de puissance de 102 W, correspondant au routeur, au serveur et son imprimante, à la baie de brassage et aux veilles des postes informatiques et imprimantes non mesurés.

Il est difficile de faire une décomposition de cette puissance assez conséquente, dans la mesure où tous les postes n'ont pas été mesurés en détails. Cependant, on peut donner les indications suivantes :

- Pour les postes informatiques instrumentés dans les salles de classe et la salle informatique, la puissance de veille moyenne vaut 2,2 W. Pour les 10 postes informatiques non instrumentés, on arriverait ainsi à environ 20 W
- L'imprimante de la salle informatique consomme également en veille.
- Enfin la puissance annoncée pour le routeur est de 26 W
- La puissance minimale indiquée dans la notice du serveur est de 22 W. Ce serveur ne peut pas être arrêté parce qu'il est utilisé pour la GTC de l'école, ce qui conduit à une consommation incompressible annuelle de 193 kWh.

Si on considère que les deux derniers éléments doivent rester en fonctionnement permanent, il apparaît une économie possible sur l'ensemble des veilles des différents postes informatiques et imprimante d'environ 54 W, ce qui conduit à un total de 400 kWh économisables pendant les heures d'inoccupation de l'école.

7.5.1.2 Les postes informatiques

Un certain nombre des postes informatiques ont été instrumentés, à l'aide de wattmètres série branchés directement sur les équipements (60 % des postes des salles de classe, et 33 % des postes de la salle informatique, soit 41 % du total des postes). Par ailleurs, la consommation globale du réseau VDI a été suivie depuis le tableau électrique.

La consommation de l'ensemble de ce poste vaut 3 620 kWh/an dont 27 % seulement a lieu pendant les périodes d'occupation du bâtiment. La consommation en période d'inoccupation correspond aux veilles des ordinateurs et également à celle de la baie de brassage, ainsi qu'à d'éventuels oublis d'extinction des postes.

Cette consommation semble est très importante, au vu de l'utilisation réelle des postes informatiques dans une école primaire. Le graphique de la figure 7.15 montre le profil moyen des puissances appelées pour les jours ouvrés et non ouvrés. On y remarque immédiatement un niveau de puissance moyen très élevé pendant les périodes d'inoccupation (tous les jours non ouvrés) et les nuits en période d'occupation. Comme nous le verrons par la suite, ce niveau ne correspond pas seulement aux veilles, mais également à l'oubli de l'extinction de certains postes.

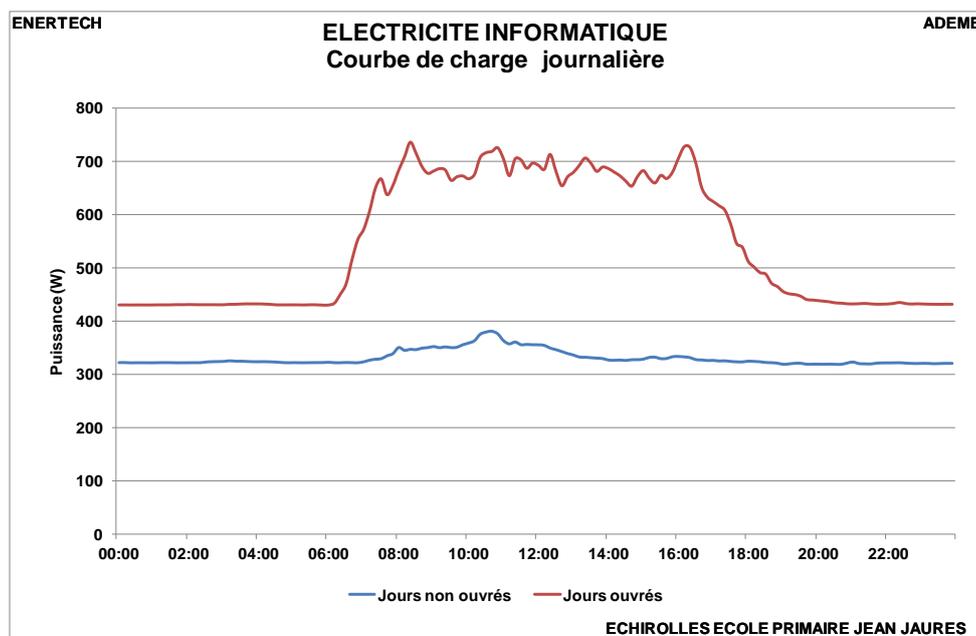


Figure 7.15 : ELECTRICITE - POSTES INFORMATIQUES
Courbe de charge journalière

Le graphique de la figure 7.16 montre que pour les postes instrumentés, 62 à 86 % des consommations ont lieu en dehors des périodes d'occupation. On voit donc que l'arrêt de tous les ordinateurs en période d'inoccupation conduirait immédiatement à des économies très importantes. Pour les postes suivis, cela représente 74 % d'économie possible.

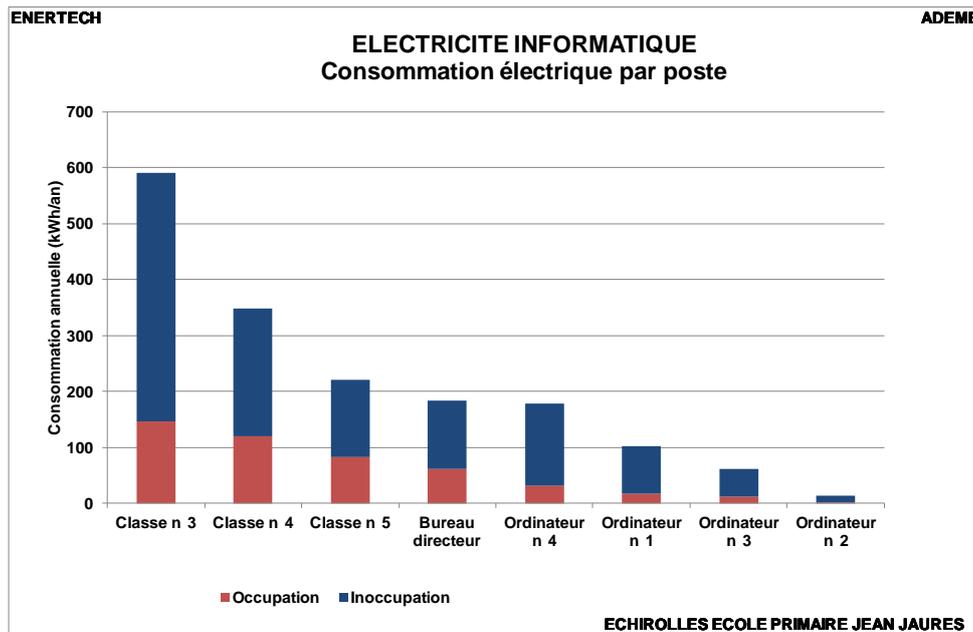


Figure 7.16 : ELECTRICITE - POSTES INFORMATIQUES
Consommation électrique par poste

Les mesures effectuées sur les postes permettent de mieux comprendre l'origine de ces consommations élevées.

Le graphique de la figure 7.17 montre les profils annuels des consommations dans deux des salles instrumentées (classes n°4 et n°5), dans lesquelles le total annuel a atteint respectivement 347 kWh et 221 kWh. Plusieurs régimes bien différents peuvent être distingués :

1. Arrêt complet du poste, vraisemblablement complètement débranché : aucune consommation
2. Consommation en veille, correspondant à une puissance de 3,5 W
3. Utilisation normale en période scolaire : le poste est allumé en journée et éteint la nuit
4. Utilisation anormale en période scolaire : le poste reste allumé en permanence
5. Poste "oublié" en marche pendant les vacances.

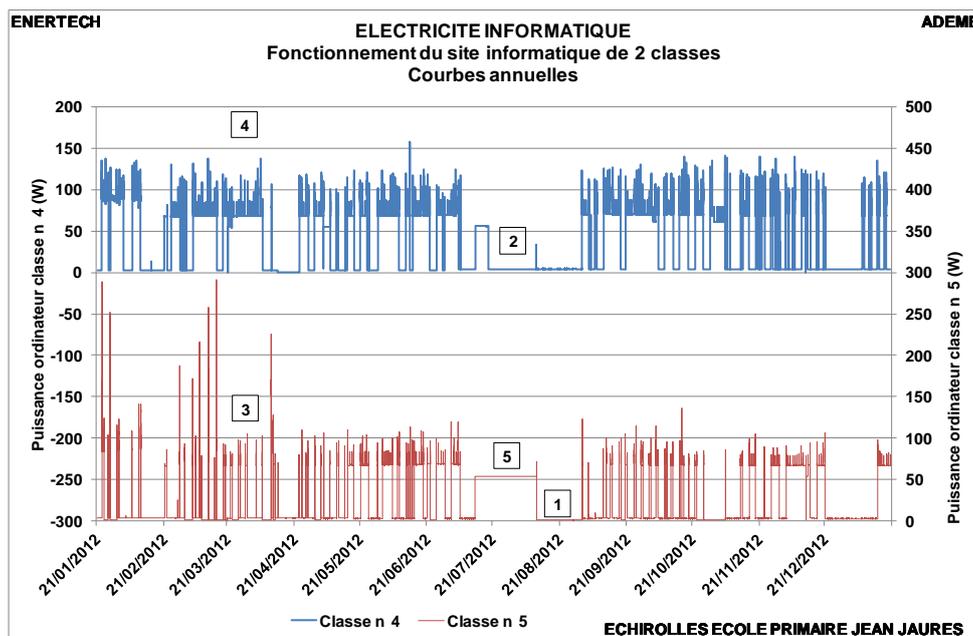


Figure 7.17 : ELECTRICITE - INFORMATIQUE
Profil annuel dans 2 salles de classe

Le graphique de la figure 7.18 fait un zoom pendant la même semaine pour les périodes 3 et 4. On y voit bien les consommations liées aux utilisations les lundi, mardi, jeudi et vendredi, et aussi l'oubli de l'arrêt nocturne en classe n°4 du lundi au vendredi. Pour ce dernier poste, l'écran passe en veille la nuit, mais pas l'unité centrale qui consomme une puissance de l'ordre de 70 W.

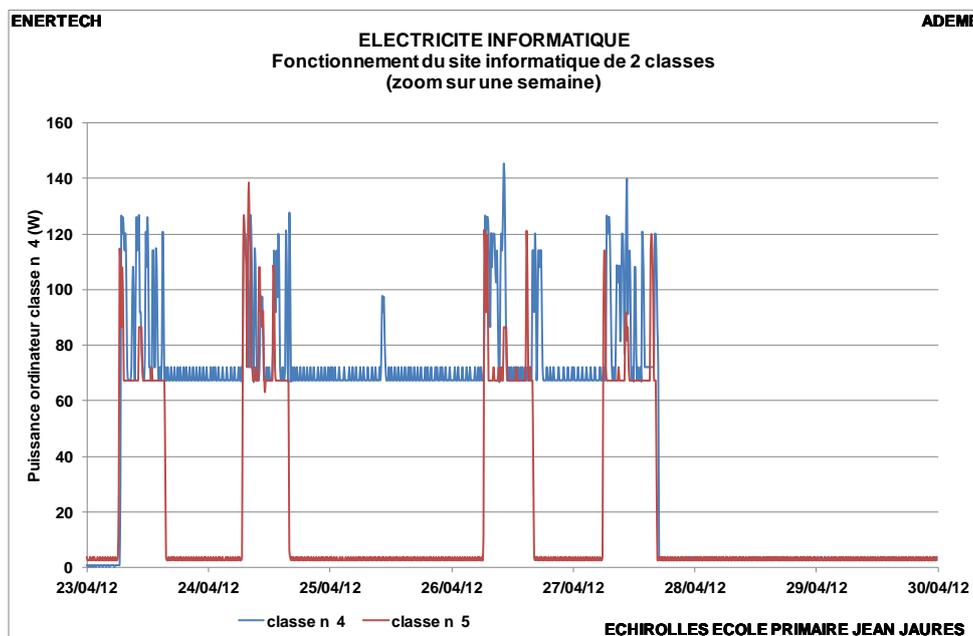


Figure 7.18 : ELECTRICITE - INFORMATIQUE
Profil hebdomadaire dans 2 salles de classe

L'utilisation de la salle informatique est plus irrégulière, des groupes d'élèves venant pendant des périodes courtes pour des activités spécifiques. Sur la figure 7.19, on remarque à nouveau des périodes où les ordinateurs ont été laissé allumés en l'absence d'utilisation (repères 1 à 3), alors que d'autres séquences montrent une utilisation rationnelle, avec extinction après utilisation (repères 4 et 5). Si les fonctionnalités de veille étaient activées sur ces postes, on n'observerait pas de fonctionnement aussi prolongé. Cela permettrait d'importantes économies.

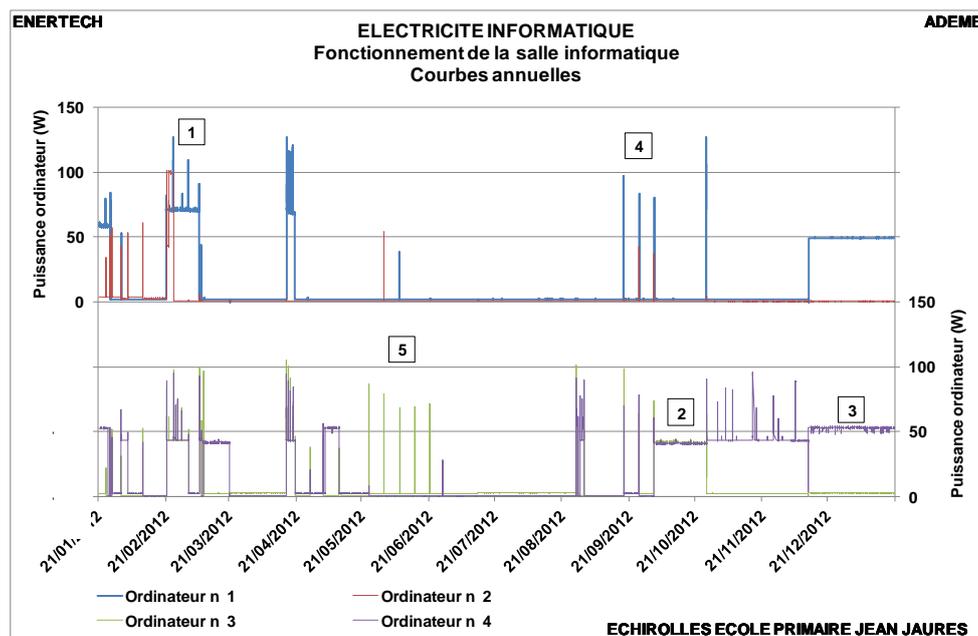


Figure 7.19 : ELECTRICITE - INFORMATIQUE
Profil annuel dans la salle informatique

Nous avons cherché à instrumenter les postes informatiques en installant sur les machines un programme qui permet de savoir quelle est la durée réelle d'utilisation, en comptabilisant le temps d'utilisation du clavier et de la souris. Mais il n'a pas été possible de procéder à cette installation, vraisemblablement à cause d'une question de droit d'accès, malgré l'aide d'un responsable informatique des Services Techniques de la Ville. Ces mesures auraient permis de quantifier les économies liées à la mise en veille des disques durs et processeurs. On peut en effet penser que pendant la plupart du temps, les maîtres sont plutôt devant les élèves que devant les postes informatiques.

Le graphique de la figure 7.20 montre que les durées de marche des unités centrales, correspondant à une puissance d'environ 70 W, varie entre 3004 et 4269 heures, alors que la durée d'occupation (entre 8 h et 18 heures 144 jours dans l'année) n'atteint que 1440 heures. La différence entre les 2 valeurs (1440 heures et 3000 à 4000 heures) illustre le potentiel d'économie lié à une meilleure vigilance des maîtres, sans parler des économies possibles si les maîtres n'allument leur ordinateur que quand ils en ont réellement besoin, sans le laisser fonctionner toute la journée.

On voit aussi que les puissances deviennent plus importantes de 4 % du temps (classe n°5) à 13 % du temps (classe n°4). Cette durée correspond vraisemblablement aux périodes où l'ordinateur est véritablement sollicité et où l'écran n'est pas en mode veille.

On constate au passage que, soit l'utilisation réelle des ordinateurs est assez différentes entre les deux classes, soit plus vraisemblablement les temporisations de passage en veille des écrans ne sont pas paramétrées à l'identique.

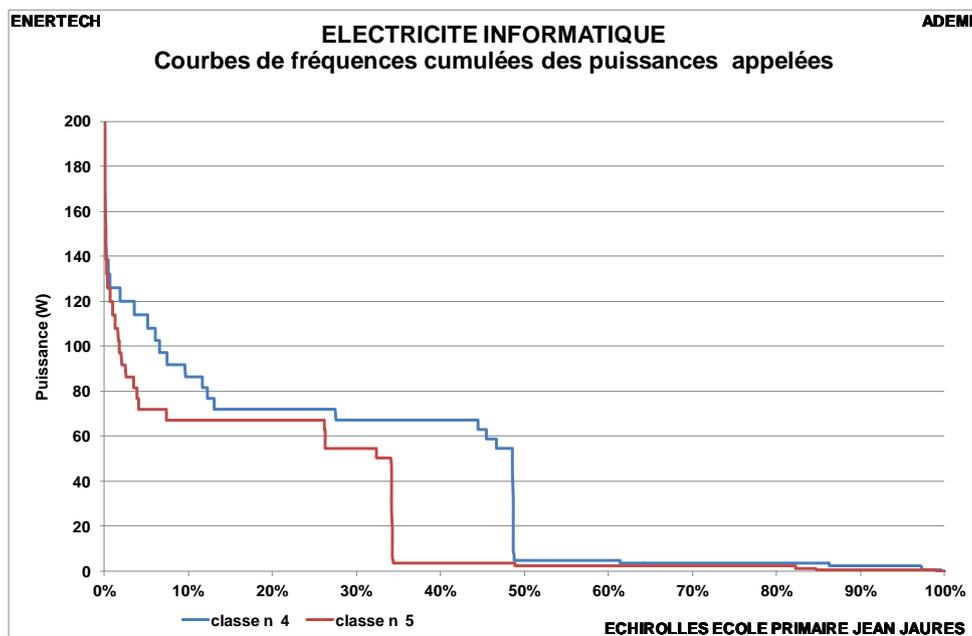


Figure 7.20 : ELECTRICITE – Courbe des fréquences cumulées des puissances appelées par 2 postes informatiques

On pourrait donc diminuer très fortement les consommations des postes informatiques en jouant sur plusieurs tableaux :

- Arrêt complet des ordinateurs en inoccupation, amenant une économie annuelle de 1946 kWh, représentant 54% de la consommation totale de ce poste.
- Activation des veilles des unités centrales et des écrans et réduction des temporisations. Il est plus difficile de chiffrer l'économie potentielle, mais il est vraisemblable qu'une proportion majoritaire des 810 kWh consommés actuellement en période d'occupation par les ordinateurs des classes et de la salle informatique peut également être économisée
- Enfin, le remplacement progressif des ordinateurs actuels par des portables permettrait également de diminuer encore les consommations.

7.5.1.3 La photocopieuse

La salle des professeurs est équipée d'une photocopieuse. Sa consommation annuelle est de 260 kWh. 52 % des consommations ont lieu pendant les périodes d'occupation (8h à 18 h pendant les jours ouvrés). Si la photocopieuse était complètement arrêtée en dehors de ces périodes d'occupation, l'économie serait de 124 kWh.

Cette photocopieuse est équipée d'un dispositif d'économie d'énergie permettant le passage en veille au delà d'un certain temps sans utilisation. Cette veille a une puissance de 13 W. L'économie déjà réalisée, due au passage en veille pendant les heures d'occupation, est de l'ordre de 480 kWh.

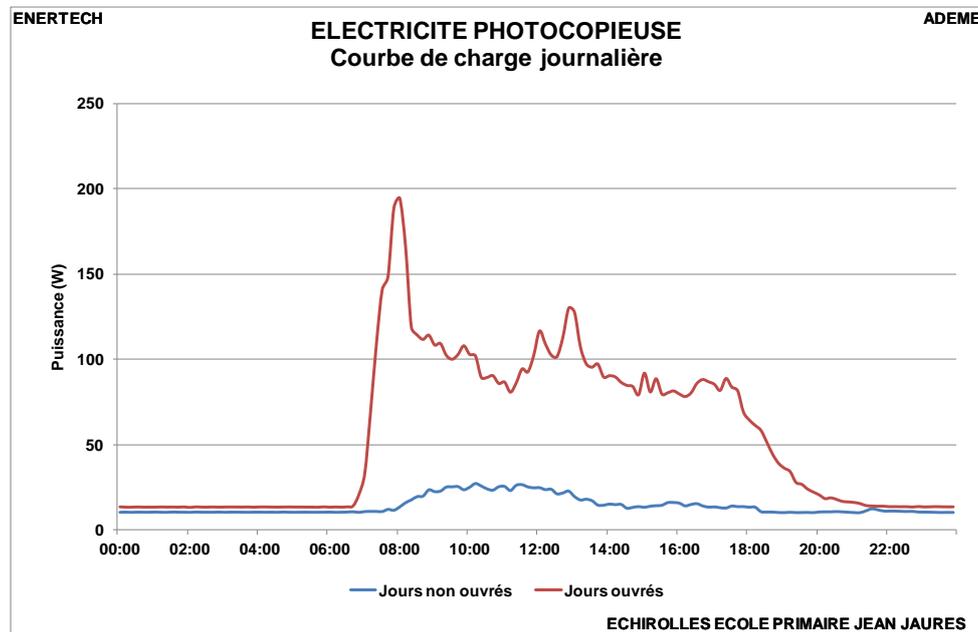


Figure 7.21 : ELECTRICITE - PHOTOCOPIEUSE
Courbe de charge journalière

En résumé, si l'ensemble des mesures d'économie étaient mises en œuvre, on peut estimer que la consommation totale du poste informatique pourrait ainsi être divisée par un facteur 6 à 8.

7.5.2 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. Afin de séparer les circuits, nous avons complété l'instrumentation en tableaux par des mesures directes sur un échantillon représentatif de foyers lumineux non gradables.

Le tableau de la figure 7.22 récapitule les caractéristiques de l'ensemble des luminaires installés.

Localisation	Circuits	Type de luminaires	Lampes	Puissance	nombre	commandes
Salles de classe	côté fenêtre	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	4	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	côté mur	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	6	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	tableau	Thorn Punch II T5	tubes fluo T5	1x35 W	2	Interrupteur SA
Salle des maîtres	côté fenêtre	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	2	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	côté mur	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	4	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	tableau	Thorn Punch II T5	tubes fluo T5	1x35 W	2	Interrupteur SA
Salle informatique	côté fenêtre	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	4	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	côté mur	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	8	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
Salle arts plastiques	côté fenêtre	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	4	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	côté mur	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	8	DDP avec tempo, arrêt forcé possible
	tableau	Thorn Punch II T5	tubes fluo T5	1x35 W	2	Interrupteur SA
Bureau du directeur		Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	3x14 W	3	DDP avec tempo
Couloirs	rdc Est	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	10	DDP avec tempo
	rdc Ouest	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	10	DDP avec tempo
	étage Est	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	9	DDP avec tempo
	étage centre	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	6	DDP avec tempo
	étage Ouest	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	9	DDP avec tempo
	devant direction	Switch Star	leds	3x3 W	2	DDP avec tempo
Halls	rdc Est	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	6	DDP avec tempo
	rdc Ouest	Thorn Gameo LEGDP	tubes fluo T5	1x28 W	6	DDP avec tempo
Excaliers	est	Thorn Jupiter II	tubes fluo T5	2x28 W	2	DDP avec tempo
	ouest	Thorn Jupiter II	tubes fluo T5	2x28 W	2	DDP avec tempo
Préaux	est	Thorn Aquaforce II	tubes fluo T5	2x35 W	7	DDP avec tempo
	ouest	Thorn Aquaforce II	tubes fluo T5	2x35 W	7	DDP avec tempo
Sanitaires	rdc Ouest	Switch Star	leds	3x3 W	9	DDP avec tempo
	étage Est	Switch Star	leds	3x3 W	3	DDP avec tempo
	étage Ouest	Switch Star	leds	3x3 W	3	DDP avec tempo
	extérieur	Thorn Aquaforce II	tubes fluo T5	1x35 W	6	Interrupteur SA
Extérieur	circulation nord	SG Lightning Primo	fluocompacte	18 W	6	DDP et sonde luminosité
	façade sud	Gewiss Horus	iodure métallique	250 W	3	horloge

Figure 7.22 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE

Caractéristiques des luminaires (DDP = détecteur de présence, SA = simple appel)

La consommation totale d'éclairage vaut 8 866 kWh_{el}/an, soit 7,1 kWh_{el}/m²_{SU}.an ou encore 35,5 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment. Un peu plus de la moitié (58 %) de cette consommation a lieu en période d'occupation. La période d'occupation utilisée dans ce paragraphe (1794 heures) va de 7 h 00 à 20 h 00 uniquement pendant les jours ouvrés : elle englobe ainsi non seulement la période de présence des élèves, mais aussi celle des maîtres et du personnel d'entretien présents dans l'école avant l'arrivée des élèves et entre la fin des cours et 20 h 00. Mais le bâtiment est parfois également occupé en dehors de ces plages horaires, notamment certains mercredis matins.

Le graphique 7.23 donne la répartition de la consommation entre les différents postes d'éclairage du bâtiment.

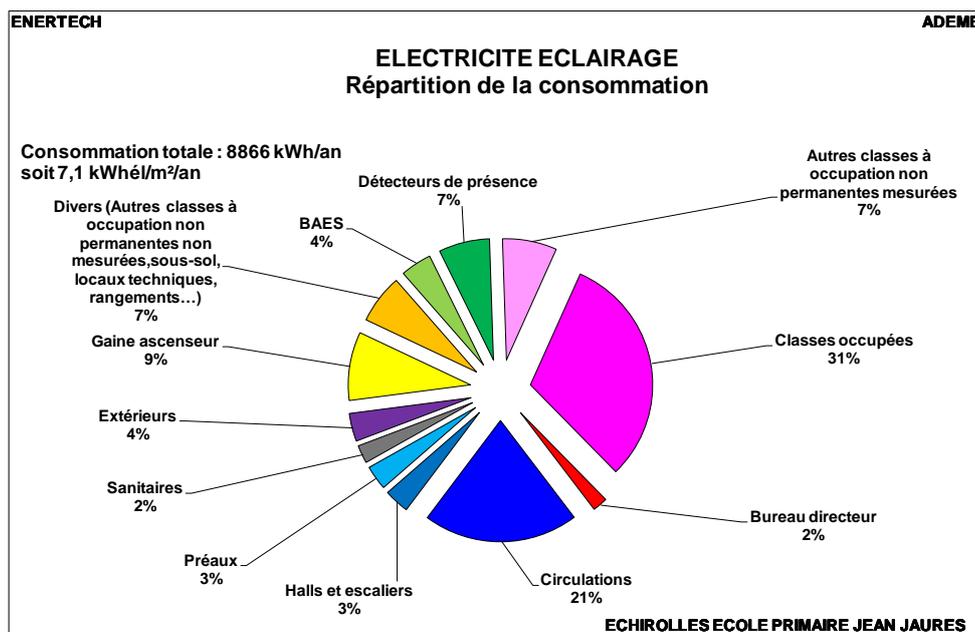


Figure 7.23 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE
Répartition de la consommation

Il était impossible de séparer le suivi des BAES, détecteurs de présence et système de gradation du fait de l'architecture du réseau électrique (alimentation de plusieurs salles et sanitaires sur un même disjoncteur). On a donc calculé la consommation théorique des BAES et des détecteurs de présence avec leur référence et leur nombre.

Ce sont les salles de classes occupées en permanence qui consomment le plus avec 31 % de la consommation du poste éclairage (hors détecteurs de présence). Viennent ensuite les classes non occupées en permanence (salle informatique, musique, arts plastiques, RASED). Certaines consommations sont inutiles (gaine de l'ascenseur, circulations en inoccupation). Les économies possibles sur ces deux seuls postes représentent environ 1300 kWh, soit 15 % de la consommation totale. Il est vraisemblable qu'il existe un potentiel supplémentaire d'économies, par exemple par un meilleur ajustement des temporisations à l'extinction des éclairages.

7.5.2.1 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur est réalisé d'une part par 6 hublots en façade, équipés d'une ampoule fluocompacte de 18 W et d'un détecteur de présence avec sonde de luminosité, et d'autre part par 3 projecteurs équipés d'une ampoule halogène de 250 W asservis à une horloge et un détecteur crépusculaire.



Figure 7.24 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE EXTERIEUR
Hublots sur la façade nord et projecteurs sur la façade sud

Le premier éclairage a consommé 88 kWh. Les courbes de la figure 7.25 montrent que l'essentiel des consommations est celle des détecteurs de présences (69 kWh pour la détection de présence) alors que l'éclairage effectif ne représente que 19 kWh. Les détecteurs de présence fonctionnent donc de manière satisfaisante, même si on peut se demander pourquoi il y a des consommations au milieu de la nuit...

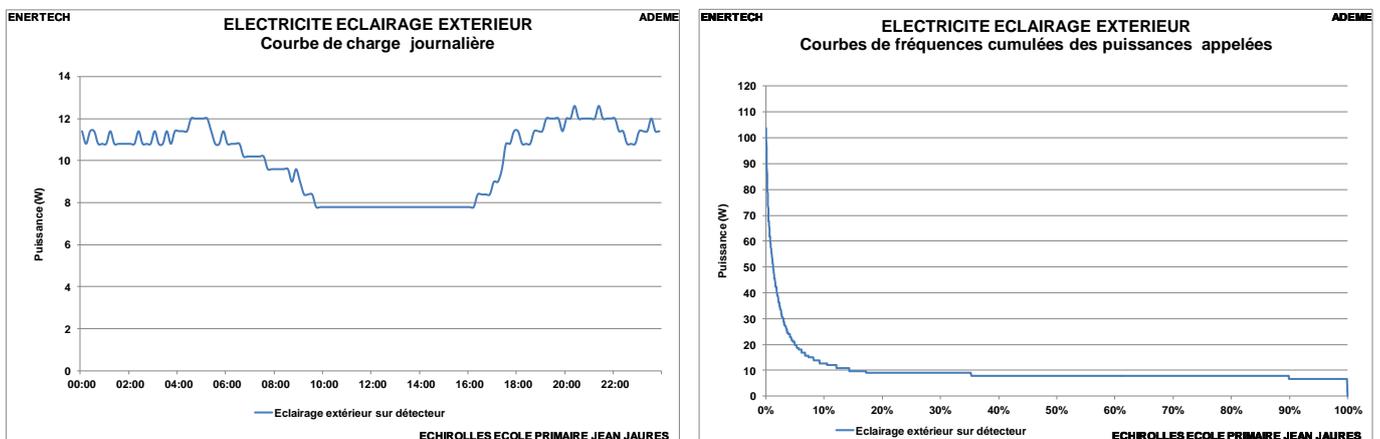


Figure 7.25 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE EXTERIEUR
Fonctionnement des hublots

Le deuxième éclairage extérieur a été instrumenté conjointement à d'autres circuits d'éclairages, qui alimentent également :

- L'éclairage des sanitaires extérieurs (6 blocs de 1 x 35 W) et leurs BAES
- L'éclairage du préau Ouest (7 blocs de 2 x 35 W)

La consommation totale reconstituée de ce circuit vaut 522 kWh. Elle se décompose en :

- Préau Ouest : 179 kWh
- Sanitaires extérieurs Ouest : 101 kWh dont 24 kWh pour les BAES
- Projecteurs extérieurs : 242 kWh dont 21 kWh pour l'horloge de programmation hebdomadaire.

On peut noter plusieurs éléments intéressants :

- Les projecteurs extérieurs sont mis en route par le détecteur crépusculaire et coupés à 20 heures (figure 7.26, à gauche). Sur cette figure qui isole 3 jours pendant les vacances de Noël, d'hiver et de printemps, on voit que l'heure de démarrage recule quand les jours rallongent, et on voit de plus nettement l'effet du changement d'heure de fin mars, qui ajoute une heure de jour en plus.
- Pendant les journées scolaires (figure 7.26, à droite), les sanitaires sont éclairés entre grosso modo 8 heures et 16 h 30 (puissance d'environ 220 W correspondant aux 6 luminaires). La commande de cet éclairage est manuelle, ce qui conduit à des oublis d'extinction (courbe du 21/02/2012). Sur la courbe annuelle, nous avons observés également quelques oublis nocturnes. La consommation annuelle des sanitaires hors BAES vaut 77 kWh.

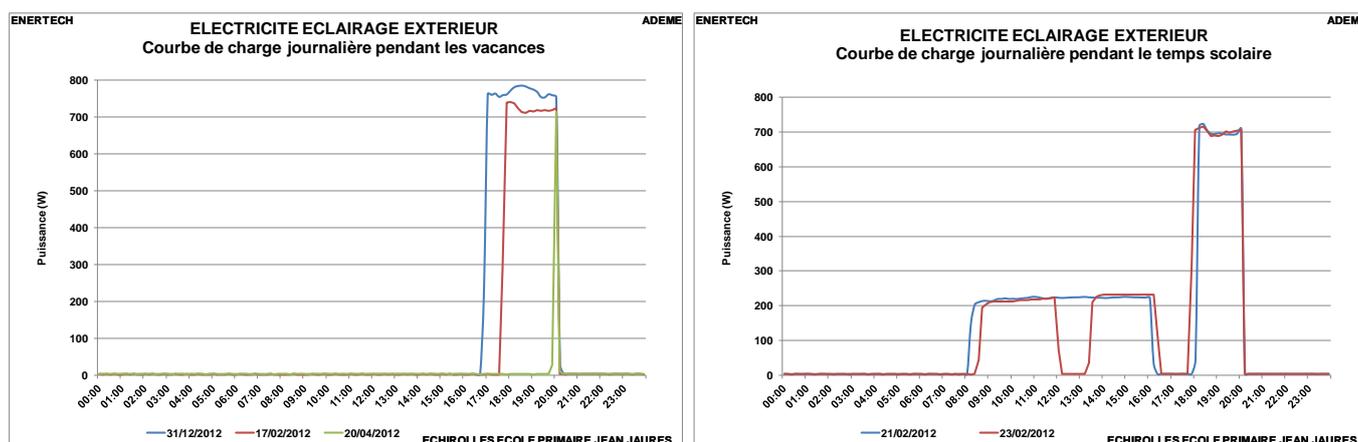


Figure 7.26 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE EXTERIEUR + PREAU + SANITAIRES Ouest
Profil de puissance pour des journées-type

Le graphique de la figure 7.27 montre une courbe de fonctionnement hebdomadaire. On observe :

- que les consommations n'ont lieu que pendant les jours scolaires.
- que pendant la journée, le préau est allumé, ce qui semble superflu. (puissance d'environ 470 W, qui ne peut être celle des sanitaires, mais qui correspond à la puissance des luminaires du préau)

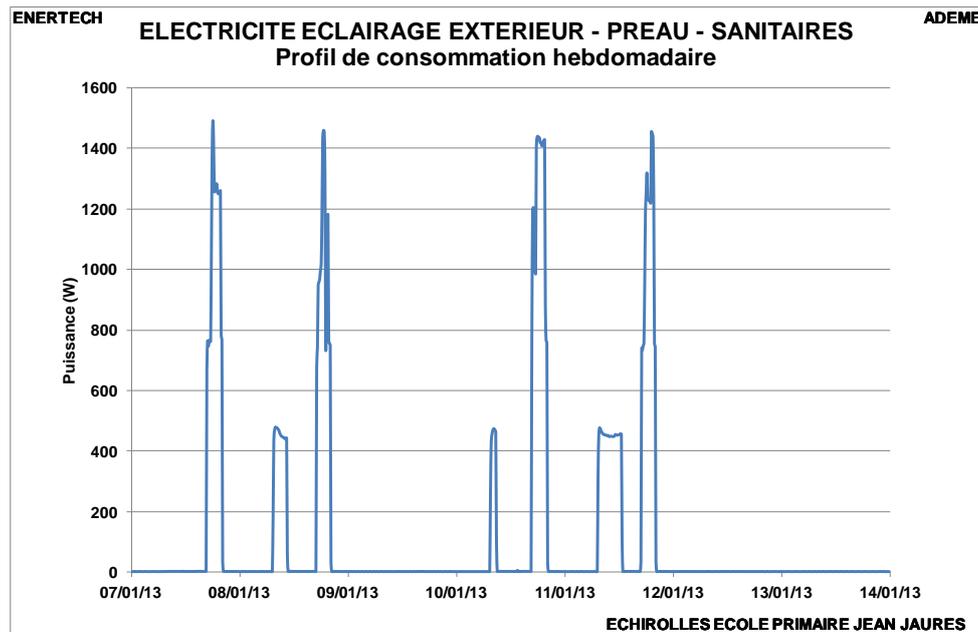


Figure 7.27 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE EXTERIEUR + PREAU + SANITAIRES Ouest
Profil typique hebdomadaire de puissance appelée

- qu'en fin de journée, une puissance supplémentaire vient s'ajouter à celle des projecteurs, qui est vraisemblablement liée à la présence du personnel chargé du nettoyage.

Le graphique 7.30 montre les consommations journalières des projecteurs extérieurs. Ceux-ci sont commandés par une horloge hebdomadaire, et ne fonctionnent que les lundis, mardis, jeudis et vendredis, et ce même pendant les vacances scolaires. La consommation totale mesurée atteint 129 kWh.

Nous avons estimé les consommations correspondant aux jours où notre mesureur a été défaillant à partir des consommations des jours de durée analogues du début de la période de mesure. La consommation supplémentaire estimée atteint 92 kWh, ce qui porte le total à 221 kWh. S'y ajoute la consommation de l'horloge, pour une valeur de l'ordre de 20 kWh.

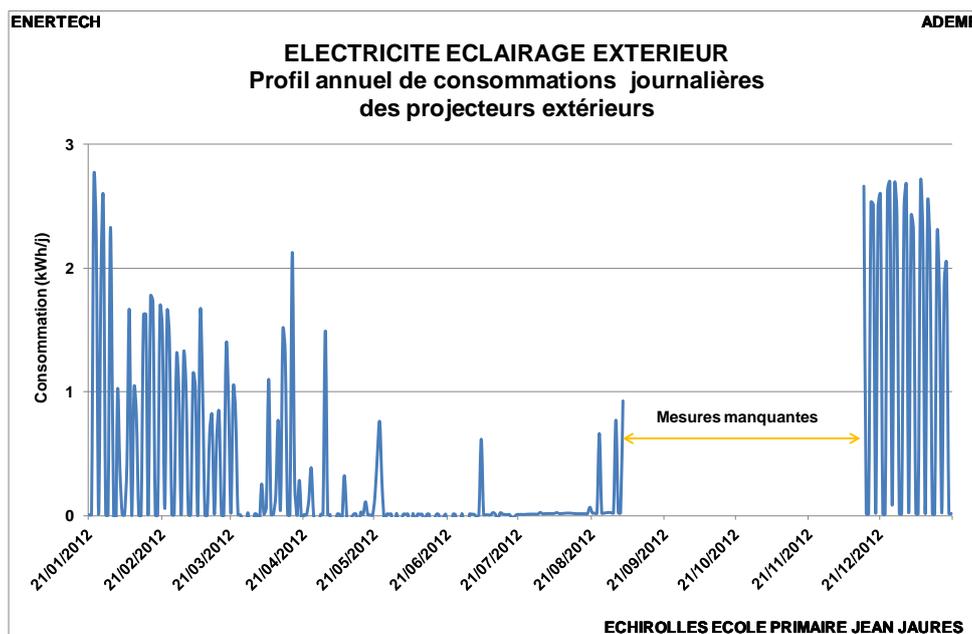


Figure 7.30 : ELECTRICITE - ECLAIRAGE EXTERIEUR
Profil typique hebdomadaire de puissance appelée

En conclusion, l'éclairage extérieur fonctionne correctement, aussi bien en ce qui concerne les hublots que les projecteurs sur la cour. Celui apporté par les hublots procure un vrai service en éclairant le passage à l'arrière du bâtiment. C'est moins certain pour celui apporté par les projecteurs, qui sont certainement souvent allumés à des moments où la cour n'est pas occupée (c'est forcément le cas pendant les vacances scolaires).

7.5.2.2 Eclairage des salles de classes à occupation permanente

Les salles de classes sont équipées de pavés 60x60 cm munis de 3 tubes fluorescents T5 de 14 W et de 2 luminaires munis de tubes fluorescents T5 de 35 W pour l'éclairage des tableaux (figure 7.31).

L'éclairage de chaque salle est réparti en deux circuits de luminaires non gradables (côté couloir : 6 luminaires, et côté fenêtre : 4 luminaires) commandés séparément : le système de pilotage est entièrement automatique avec 1 détecteur de présence par circuit, réglable en luminosité et temporisation à l'extinction.

Une commande manuelle est également installée à l'entrée des salles permettant à l'utilisateur d'éteindre les luminaires en cas de besoin (projection de films ou diapositives).

La commande de l'éclairage des tableaux se fait par simple interrupteur. L'asservir également à un des détecteurs de présence permettrait d'éviter les oublis d'extinction.

Pour les bâtiments d'enseignement, il est conseillé de mettre en œuvre des systèmes de pilotage semi-automatique : c'est l'utilisateur qui décide d'allumer la pièce, le système ne gérant que la gradation éventuelle et l'extinction.

La puissance surfacique installée hors éclairage du tableau est de $7,8 \text{ W/m}^2_{\text{SU}}$. Cette valeur est moyenne par rapport à d'autres valeurs que nous avons observées dans des locaux similaires. La norme NF EN 12464-1 préconise un niveau d'éclairage de 300 lux sur le plan de travail, analogue à celle des bureaux. Cette recommandation n'est pas une obligation. Nous avons réalisé une enquête auprès d'occupants de bureaux qui a révélé que dans la tranche de valeurs 200 à 300 lux, il n'y avait que des personnes satisfaites alors que des insatisfaits pour excès d'éclairage apparaissaient dans la tranche 300 à 400 lux. Il est tout à fait possible de fournir un éclairage de qualité (250 à 300 lux) pour des salles de classe avec seulement $5 \text{ W/m}^2_{\text{SU}}$.

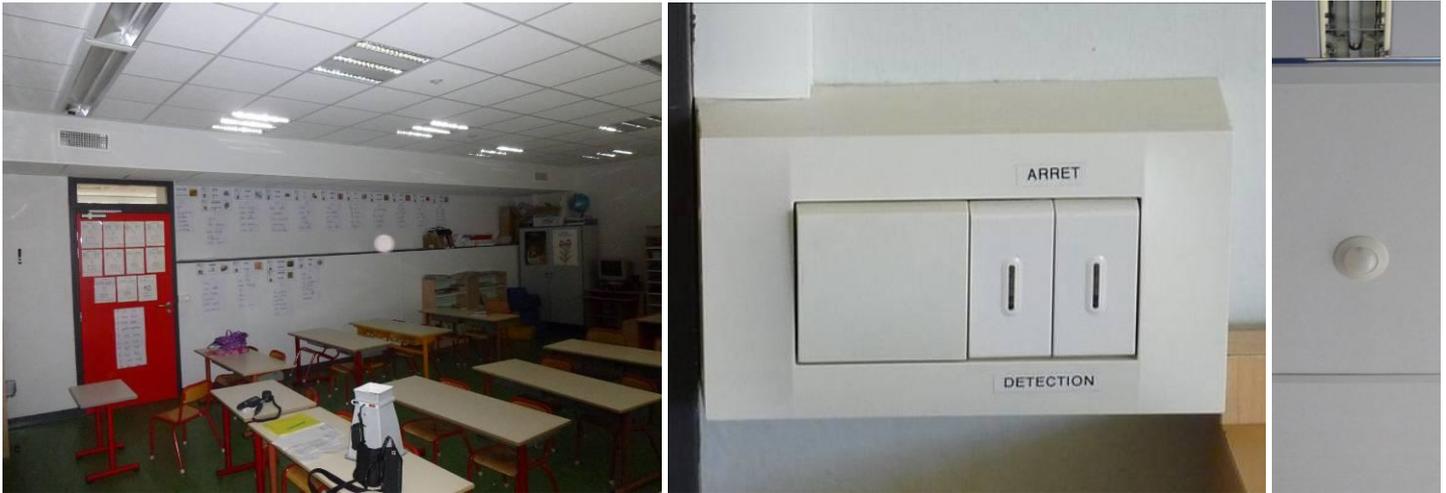


Figure 7.31 : Photographies d'une salle de l'école élémentaire, de l'interrupteur éclairage (tableau et 2 circuits plafonniers côté couloir et côté fenêtre) et d'un détecteur de présence

Les figures 7.32 représente l'évolution des puissances appelées en hiver et au printemps.

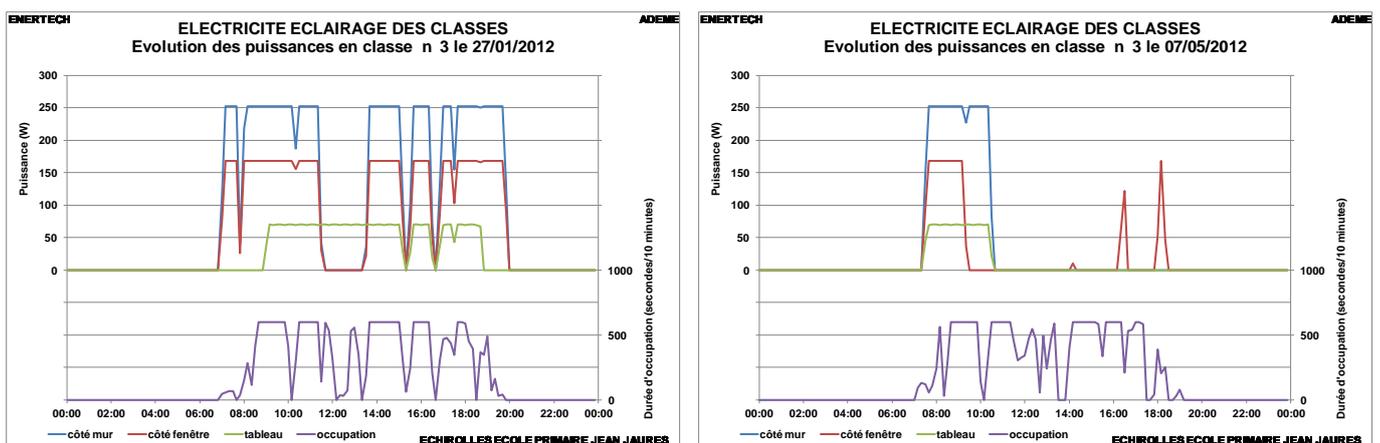


Figure 7.32 : Profil-type des puissances appelées journalières en hiver et au printemps

Pour la journée d'hiver, on observe les fonctionnements suivants :

- Arrivée du maître entre 7 h et 8 h : allumage automatique des luminaires mur et fenêtre
- Arrivée des élèves à 8h30 : allumage des luminaires mur et fenêtre
- Allumage manuel du luminaire tableau vers 9h. Oubli d'extinction entre 11 h 30 et 13 h 30
- Vers 10 h et 15 h, récréations : arrêt automatique des luminaires mur et fenêtre
- 16 h 30 : fin de la classe
- Entre 16 h 30 et 20 h, nouvelle occupation (temps post scolaire ou ménage)
- Arrêt définitif vers 20 h

La journée de printemps présente un profil d'occupation très similaire au précédent. On voit par contre que l'éclairage est coupé automatiquement pendant la matinée, d'abord côté fenêtre puis côté mur. A ce moment, le maître arrête également l'éclairage du tableau. En fin de journée et en période post scolaire, l'éclairage est rallumé brièvement côté fenêtre. Ainsi, l'éclairage naturel suffisant permet de se passer d'éclairage artificiel, et les dispositifs de commande automatique jouent bien leur rôle.

Dans certaines salles de classe, on voit apparaître des dysfonctionnements des détecteurs de présence, qui mettent en route les luminaires même en période d'inoccupation. La figure 7.33 en montre 2 exemples : dans une des salles, c'est le circuit d'éclairage côté mur qui reste allumé la nuit, dans l'autre c'est le circuit côté fenêtre.

Il arrive également que les luminaires du tableau restent allumés en inoccupation suite à un oubli. Il faudrait asservir leur extinction à un des détecteurs de présence de l'éclairage.

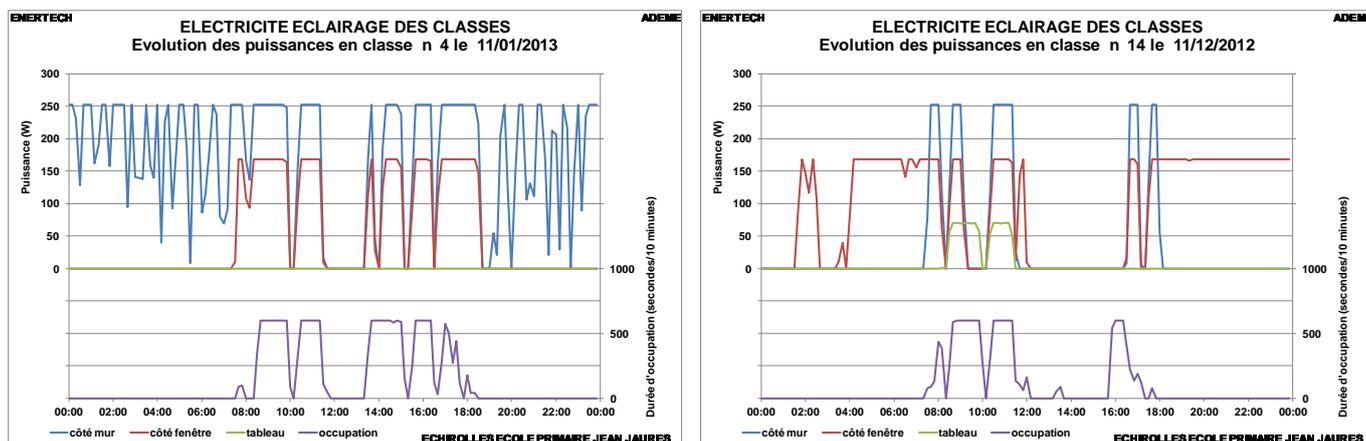


Figure 7.33 : Profil-type des puissances appelées journalières avec dysfonctionnements

Si on trace les courbes de fréquences cumulées d'utilisation des luminaires dans les salles de classe, on peut faire la distinction entre les salles à fonction normal (à gauche sur la figure 7.34) et celles où les durées d'allumage sont excessives (à droite).

L'éclairage fonctionne à pleine puissance pendant 10,3 % du temps, et à puissance intermédiaire pendant 3,4 % du temps. (Rappelons que les puissances présentées ici sont des puissances moyennes sur 10 minutes. Une puissance inférieure à la puissance nominale ne signifie pas que seuls une partie des luminaires se sont allumées, mais que l'ensemble n'a fonctionné qu'une partie du temps pendant l'intervalle de 10 minutes considéré).

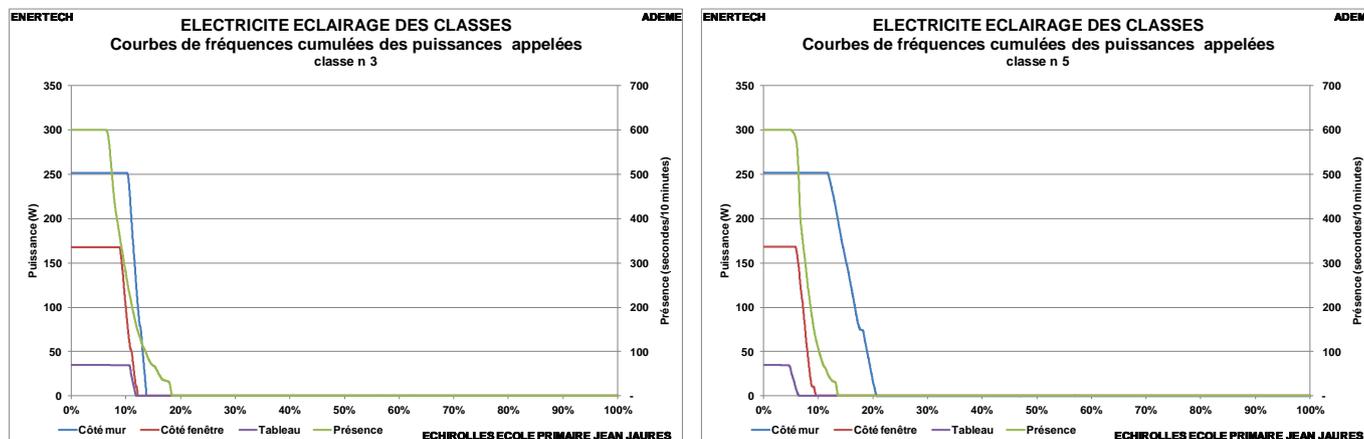


Figure 7.34 : Courbe de fréquences cumulées des puissances appelées journalières sans (à gauche) et avec allumage excessif (à droite)

Le tableau de la figure 7.35 donne pour chacun des circuits d'éclairage des salles de classes la durée de fonctionnement annuelle, la consommation qui en découle, mais aussi la durée des temporisations et des cycles les plus longs, ainsi que les surconsommations estimées.

Classe	Emplacement	Nombre de cycles	Temporisation		Cycle maximum h	Durée totale h	Puissance installée W	Consommation kWh/an	Surconsommation kWh/an
			min	h					
Classe n°5 CE1/CE2 Rdc	Côté couloir	3220	3	12,5	1414	252	356	7	
Classe n°3 CP Rdc	Côté couloir	1281	3	7,8	1052	252	265	0	
Classe n°11 CM2 R+1	Côté couloir	1085	3	5,1	950	252	239	0	
Classe n°4 CP/CE1 Rdc	Côté couloir	1113	3	4,3	854	252	215	0	
Classe n°12 CM1/CM2 r+1	Côté couloir	1094	3	4,3	758	252	191	0	
Classe n°14 CE2/CM1 R+1	Côté couloir	1045	3	3,0	660	252	166	0	
Classe n°14 CE2/CM1 R+1	Côté fenêtre	1424	3	84,4	1507	168	253	128	
Classe n°12 CM1/CM2 r+1	Côté fenêtre	1480	3	10,7	1286	168	216	5	
Classe n°3 CP Rdc	Côté fenêtre	1246	3	8,5	909	168	153	0	
Classe n°4 CP/CE1 Rdc	Côté fenêtre	1433	3	4,7	813	168	137	0	
Classe n°11 CM2 R+1	Côté fenêtre	1136	3	5,1	797	168	134	0	
Classe n°5 CE1/CE2 Rdc	Côté fenêtre	1341	3	3,6	658	168	111	0	
Classe n°3 CP Rdc	Tableau	333	-	67,9	985	70	69	19	
Classe n°11 CM2 R+1	Tableau	378	-	72,9	975	70	68	14	
Classe n°14 CE2/CM1 R+1	Tableau	601	-	196,1	829	70	58	19	
Classe n°4 CP/CE1 Rdc	Tableau	478	-	18,5	668	70	47	2	
Classe n°12 CM1/CM2 r+1	Tableau	552	-	3,1	567	70	40	0	
Classe n°5 CE1/CE2 Rdc	Tableau	509	-	13,9	485	70	34	1	

Figure 7.35 : Fonctionnement des luminaires des classes occupées

On observe des consommations qui varient d'un facteur supérieur à 2 entre les extrêmes pour un même circuit d'éclairage.

Sur la figure 7.36 sont représentées les consommations des différents circuits. On peut faire les observations suivantes :

- Pour les classes 3, 4 et 11, les circuits côté couloir ont des durées de fonctionnement logiquement plus élevées que les circuits côté fenêtre, puisque cette zone bénéficie d'un éclairage naturel plus important.
- Par contre, pour les classes 5, 12 et 14, le classement des consommations entre les différentes classes n'est pas le même selon les différents circuits. Une hypothèse est que les deux détecteurs de présence, qui commandent les circuits côté couloir et côté fenêtre, interagissent, comme si le premier circuit qui s'allume influençait le détecteur de l'autre et retardait en conséquence l'allumage de ce dernier. Ainsi, la durée moyenne d'allumage dans les classes vaut 970 heures, et les écarts à cette moyenne oscillent entre -12 % et + 14 %. Il y aurait lieu de contrôler les seuils d'enclenchement des détecteurs de présence.
- Certains détecteurs de présence ne fonctionnent manifestement pas correctement : il est anormal de trouver des durées de fonctionnement supérieures à environ 10 heures, soit 600 minutes. Or on trouve une durée nettement supérieure dans au moins une classe (3,5 jours en classe n° 14) et des durées qui s'en approchent dans quatre classes. Le réglage des temporisations devrait être vérifié. Ces dysfonctionnements occasionnent une surconsommation de presque 200 kWh (estimée pour chacun des circuits en multipliant la puissance installée par la durée totale correspondante des cycles supérieurs à 10 h, considérés comme anormaux).
- Les circuits des tableaux sont à commande manuelle, et des oublis d'extinction se produisent, pouvant atteindre 3 à 8 jours.

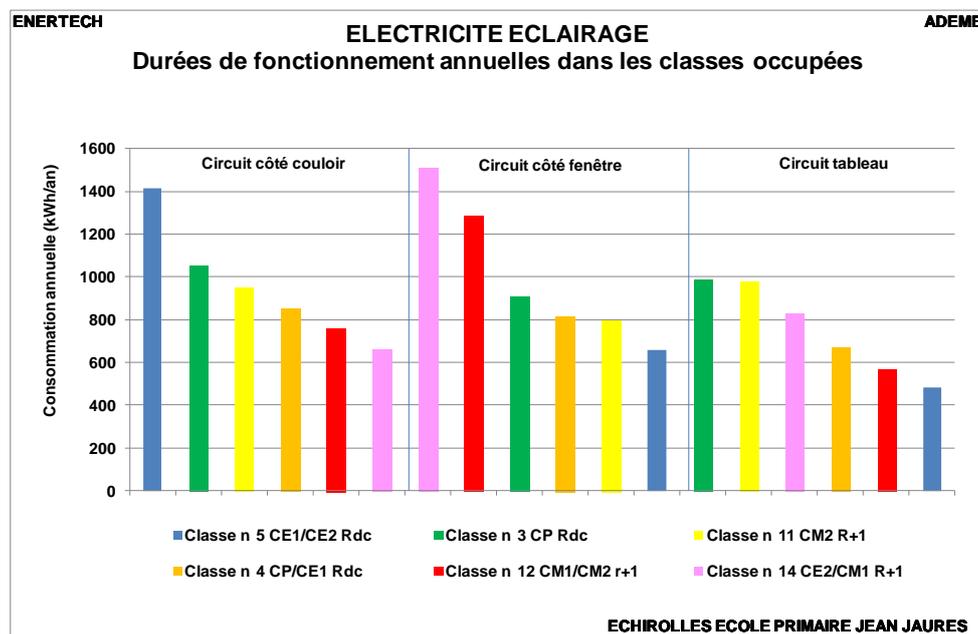


Figure 7.36 : Consommation des luminaires des classes occupées

Le graphique de la figure 7.37 synthétise la répartition des consommations des différentes classes. La période d'occupation retenue pour établir cette répartition est constituée des jours ouvrés (lundis, mardis, jeudis et vendredis), de 7 h 00 à 20 h 00. Pendant ces plages horaires, les sondes de présence indiquent si quelqu'un est présent dans la classe.

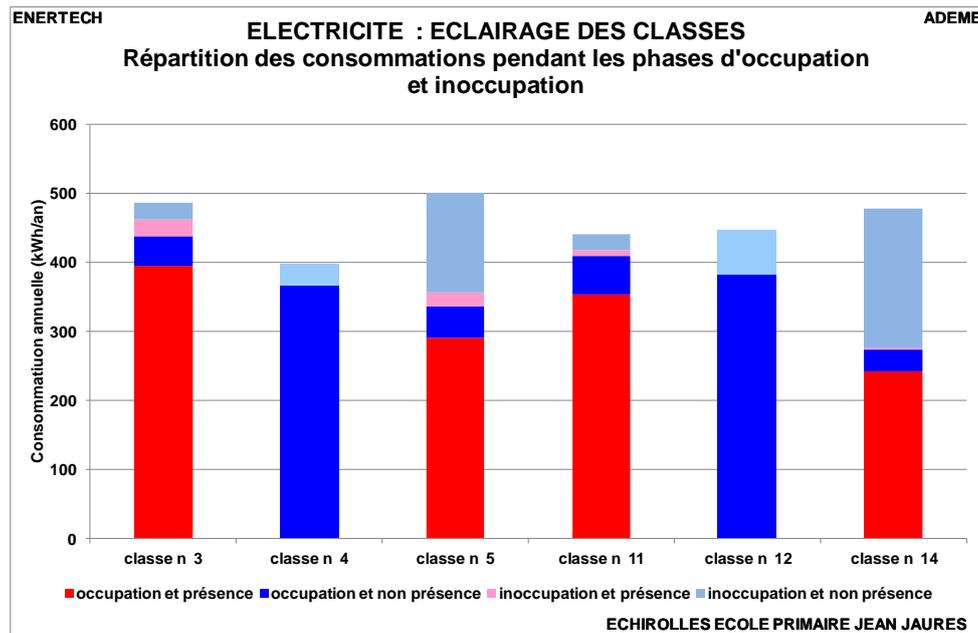


Figure 7.37 : Répartition des consommations en occupation et inoccupation

On observe :

- Que l'essentiel des consommations a bien lieu les jours ouvrés, en période d'occupation et quand quelqu'un est présent dans la classe (partie rouge vif)
- Qu'une petite fraction des consommations se produit pendant les mêmes plages horaires, mais classe vide (partie bleu vif). On voit là l'effet des temporisations à l'extinction des détecteurs de présence.
- Qu'en dehors des périodes d'occupation normales, les classes sont parfois quand même occupées : il s'agit principalement de certains mercredis matins (partie en rose)
- Que dans deux classes (classes 5 et 14), les détecteurs de présence défectueux ont causés des surconsommations non négligeables (100 à 150 kWh dans l'année). Le mode de calcul adopté ici conduit à des résultats différents et plus précis que ceux présentés sur le tableau de la figure 7.35, parce qu'ici, nous avons vraiment croisé occupation et présence. Ainsi, pour le circuit côté couloir de la classe n°5, il n'y a pas de cycles très longs, mais par contre on constate de nombreux fonctionnements la nuit (figure 7.38)

Notons qu'une classe n'a pas été équipée d'une sonde de présence (classe 12) et que dans l'autre, elle n'a fonctionné que 7 mois (classe 4), d'où la représentation avec des dégradés de couleur.

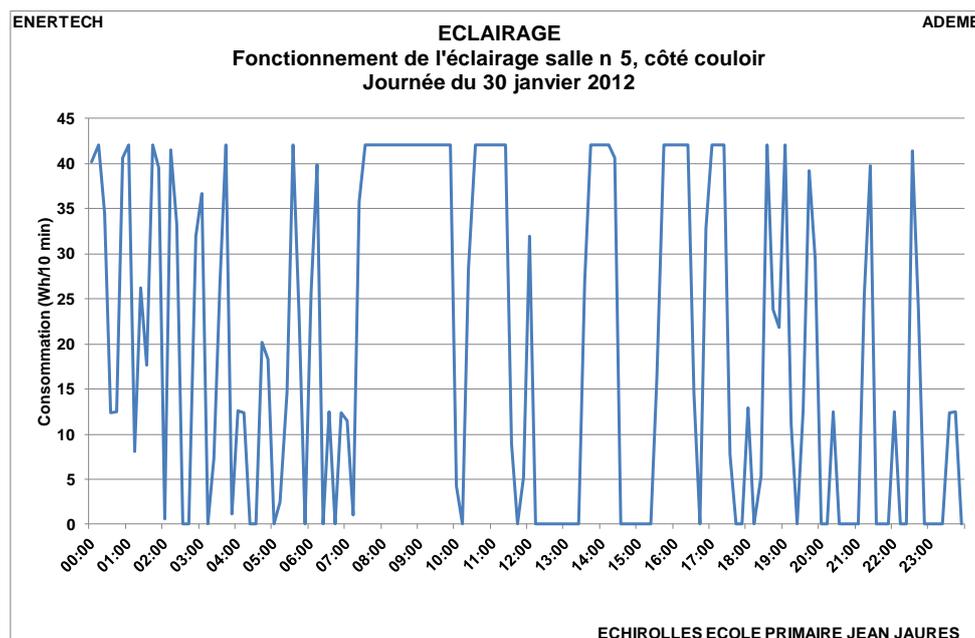


Figure 7.38 : Dysfonctionnement de l'éclairage en classe n°5

7.5.2.3 Eclairage des autres locaux

Dans cette catégorie, certaines salles ont été instrumentées (bureau du directeur, salle des maîtres, salle arts plastiques, salle informatique). Les autres ne l'ont pas été (salle de musique, salle vidéo, salle de motricité, bibliothèque, salle RASED).

7.5.2.3.1 Direction

Le bureau est équipé de 3 pavés (3 tubes T5 de 14W) commandés par un détecteur de présence. La puissance installée est de 7,9 W/m². Cette valeur est relativement élevée.

Le graphique 7.39 montre la répartition des cycles de fonctionnement de cet éclairage, et ne fait pas apparaître de dysfonctionnement notable, puisqu'on y voit clairement la temporisation de 3 minutes, et des occurrences de cycles qui diminuent quand la durée de ceux-ci augmente. La durée totale de fonctionnement est de 1480 heures/an, soit une consommation de 176 kWh/an. Une lampe de bureau à leds n'éclairant que le poste de travail pourrait permettre de diminuer très sensiblement cette consommation.

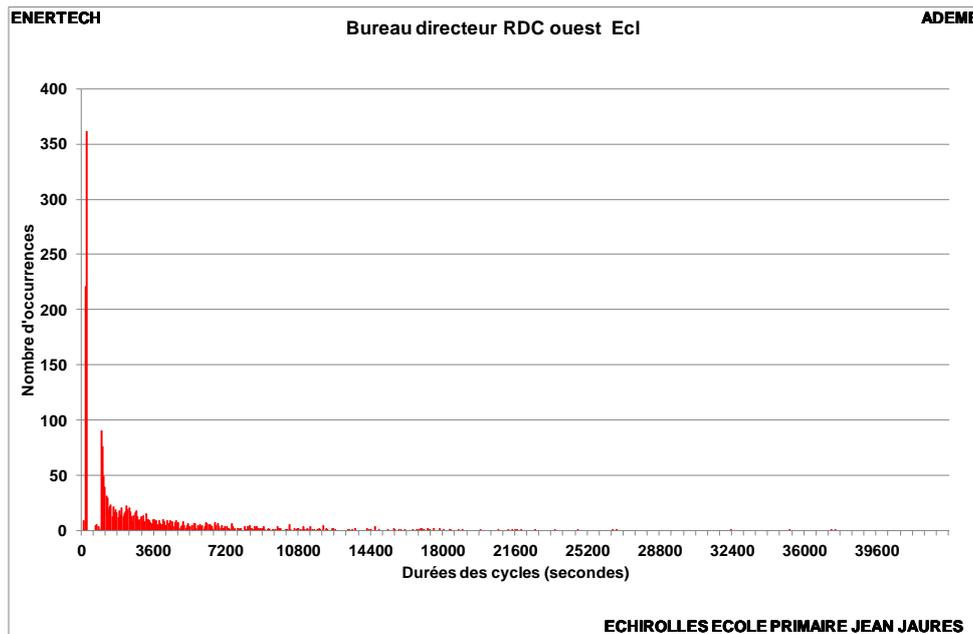


Figure 7.39 : Nombres d'occurrence des différents cycles de fonctionnement de l'éclairage du bureau de direction

7.5.2.3.2 Salle de restauration professeurs

La salle est équipée de 6 pavés 60x60 cm munis de 3 tubes fluorescents T5 de 14 W et de 2 luminaires munis de tubes fluorescents T5 de 35 W pour l'éclairage du tableau .

La puissance installée (hors éclairage du tableau) est de 7,7 W/m².

L'éclairage du tableau a été utilisé de manière très ponctuelle, moins de 24 heures au total sur l'année : la consommation est inférieure à 2 kWh.

Un des mesureurs n'a pas été retrouvé en fin de campagne. Aussi, nous ne pouvons pas donner la consommation totale de l'éclairage plafonnier.

Pour le circuit côté fenêtre, la consommation a été de 78 kWh pour une durée de fonctionnement de 952 heures (53 % de la durée d'occupation, ou presque 7 heures par jour ouvré). Comme pour le bureau du directeur, le graphique 7.40 montre la répartition des cycles de fonctionnement de cet éclairage, et ne fait pas apparaître de dysfonctionnement notoire, puisqu'on y voit clairement la temporisation de 3 minutes, et des occurrences de cycles qui diminuent quand la durée de ceux-ci augmente.

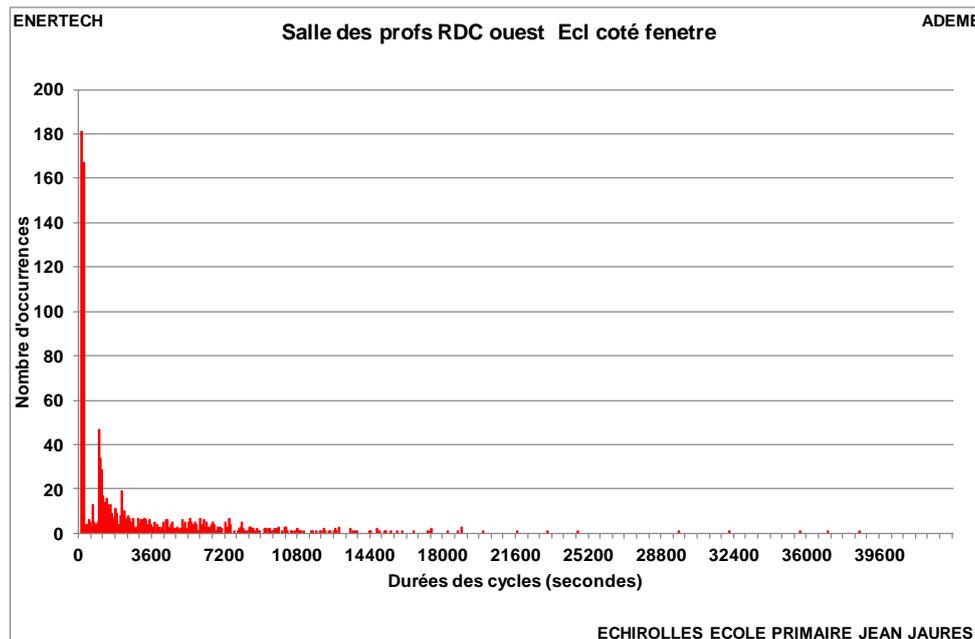


Figure 7.40 : Nombres d'occurrence des différents cycles de fonctionnement de l'éclairage de la salle des maîtres

7.5.2.3.3 Salle informatique

La salle est équipée de 12 pavés 60x60 cm munis de 3 tubes fluorescents T5 de 14 W, commandés par des détecteurs de présence.

La puissance installée est de 8,8 W/m². Comme pour les salles de classes, il est tout à fait possible de fournir un éclairage de qualité avec seulement 5 W/m²SU.

La consommation a été de 162 kWh. Les durées de fonctionnement des deux circuits d'éclairage sont très différentes :

- 838 heures pour le circuit fenêtre, sous lequel sont situés les postes informatiques
- 68 heures côté mur où il n'y a pas d'occupation

Comme dans de nombreux autres locaux, on observe des cycles anormalement longs (jusqu'à 12 jours), révélant un problème sur la temporisation à l'extinction. Ces dysfonctionnements ont occasionnés une surconsommation estimée à 131 kWh.

7.5.2.3.4 Salle arts plastiques

La salle est équipée de 12 pavés 60x60 cm munis de 3 tubes fluorescents T5 de 14 W.

La puissance installée (hors éclairage du tableau) est de 8,8 W/m². Comme pour les salles de classes, il est tout à fait possible de fournir un éclairage de qualité avec seulement 5 W/m²SU.

La consommation a été de 238 kWh pour une durée de fonctionnement de 484 heures.

Comme dans de nombreux autres locaux, on observe des cycles anormalement longs (jusqu'à 5 jours), révélant un problème sur la temporisation à l'extinction. Ces dysfonctionnements ont occasionnés une surconsommation estimée à 135 kWh.

7.5.2.3.5 Halls, circulations

Ce poste couvre trois entités du bâtiment :

- Les couloirs du rez-de-chaussée et de l'étage
- Les escaliers Est et Ouest
- Les halls Est et Ouest

L'éclairage est réalisé par des tubes fluorescents T5, commandés par des détecteurs de présences, sauf dans un petit hall de 5 m² devant le bureau du directeur, équipé de 2 luminaires comportant 3 leds de 3 W, commandés par un détecteur de présence. Les puissances installées valent 4,6 W/m²_{SU} dans les couloirs et 6,1 W/m²_{SU} dans les halls.

La consommation associée à l'éclairage du hall, des escaliers et des couloirs (uniquement l'éclairage, hors veille) vaut **2 114 kWh/an, soit 1,7 kWh/m²_{SU}** ou encore 1,7 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment.

Le tableau de la figure 7.41 donne pour chacun des circuits d'éclairage la durée de fonctionnement annuelle, la consommation qui en découle, mais aussi la durée des temporisations et des cycles les plus longs, ainsi que les surconsommations estimées.

Circulations	Nombre de cycles	Temporisation	Cycle maximum	Durée totale	Puissance installée	Consommation	Surconsommation
		min	h	h	W	kWh/an	kWh/an
Couloir Ouest R+1	3559	3	791,9	2325	252	585,9	444
Couloir Est R+1	3635	3	705,9	1689	252	425,7	229
Couloir Ouest RdC	5465	3	25,0	1485	280	415,8	7
Couloir Est RdC	4020	4	265,0	1059	280	296,4	110
Hall Ouest Rdc	7603	4	3,9	1022	168	171,7	0
Couloir central R+1	3866	3	1,5	569	168	95,6	0
Hall Est Rdc	3101	3	1,3	483	168	81,2	0
Esc ouest palier R+1	3482	4	0,7	280	56	15,7	0
Esc Est palier R+1	2704	2	0,7	271	56	15,2	0
Esc ouest palier rdc	2285	4	0,5	204	56	11,4	0
Hall devant bureau directeur RDC	253	4	1,1	54	6	0,3	0

Figure 7.41 : Fonctionnement des luminaires des circulations

Pour les circulations, les temps totaux de fonctionnement des différentes zones présentent des valeurs anormalement élevées pour la plupart des circuits, puisqu'ils dépassent les 1380 heures d'occupation de l'école pour 3 d'entre eux ou s'en rapprochent sensiblement pour l'un d'entre eux. Ceci paraît totalement anormal, dans la mesure où d'une part les circulations sont éclairées en lumière naturelle par des fenêtres hautes le long du bâtiment, qui certes ont vu leurs surfaces diminuées pour réduire les déperditions thermiques, et d'autres la durée d'occupation des circulations est quand même normalement largement inférieure à celle des classes. On remarque aussi un nombre de cycles nettement plus élevé dans le couloir Ouest RdC, que dans les autres circulations, indiquant vraisemblablement un seuil de détection plus faible.

Les durées des cycles les plus longs vont de 1 à plus de 30 jours pour les quatre plus longs observés, indiquant ainsi un dysfonctionnement au niveau des temporisations d'extinction. Si on fait l'hypothèse que les cycles les plus longs ne peuvent dépasser 10 heures, l'économie possible par une suppression des dysfonctionnements atteint 790 kWh, soit 3,5 % de la consommation totale d'électricité de l'école. Il y a lieu de vérifier le fonctionnement des détecteurs, et notamment de régler les seuils de détections à des valeurs plus faibles.

La consommation des halls et escaliers est nettement plus faible, et les durées des cycles sont plus normales. Les temporisations observées sont de l'ordre de 3 minutes. Elles pourraient être réduites à 30 secondes sans inconvénient.

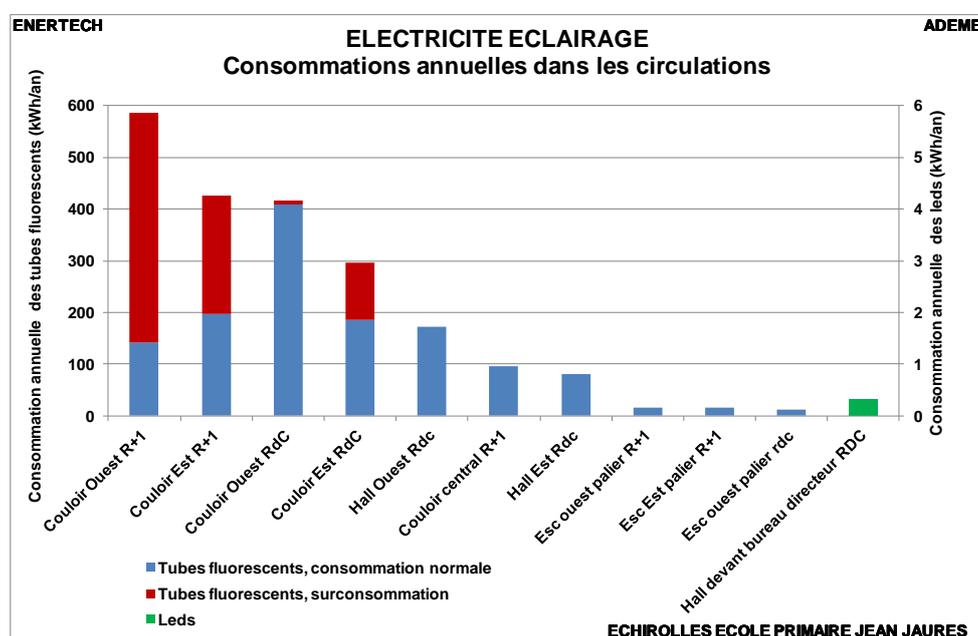


Figure 7.42 : Consommation des luminaires des circulations

7.5.2.3.6 Sanitaires

Nous avons suivi en détails l'éclairage des zones suivantes :

- Les sanitaires Ouest rez-de-chaussée et étage, Est étage assurés par des luminaires comportant 3 leds de 3 W dans les sanitaires, et commandés par des détecteurs de présence
- Les sanitaires extérieurs, éclairés par des tubes fluorescents de 35 W, et équipés des détecteurs de présence.

La consommation d'éclairage des sanitaires (uniquement l'éclairage, hors veille) vaut **137 kWh/an**, soit 0,1 kWh/m²_{SU} ou encore 0,5 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment.

Dans les locaux équipés de détecteurs de présence, nous observons des temporisations à l'extinction de 4 minutes, qui pourraient être utilement réduites à 30 secondes.

Plus de la moitié de la consommation correspondent aux sanitaires extérieurs (56 %), dont nous avons vu précédemment que la commande manuelle conduit de temps à autre à des oublis d'extinction atteignant deux jours. La surconsommation estimée atteint 44 kWh.

Le nombre de cycles très élevé observé pour les lavabos des sanitaires Ouest Rdc laisse penser que le seuil de détection est trop sensible, et pourrait être relevé.

Circulations	Emplacement	Nombre de cycles	Temporisation	Cycle maximum	Durée totale	Puissance installée	Consommation	Surconsommation
			min	h	h	W	kWh/an	kWh/an
WC extérieurs		415	-	46,9	365	210	76,7	44
WC rdc Ouest	lavabo	5381	4	3,5	805	36	29,0	0
WC r+1 Est	lavabo	1340	4	1,9	449	18	8,1	0
WC rdc Ouest	cabine droite	2548	4	0,8	289	27	7,8	0
WC rdc Ouest	cabine gauche	2131	4	1,3	233	18	4,2	0
WC r+1 Ouest	lavabo	1791	4	0,6	225	18	4,0	0
WC r+1 Est	cabine	1327	4	1,8	443	9	4,0	0
WC r+1 Ouest	cabine	1125	4	1,3	341	9	3,1	0

Figure 7.43 : Fonctionnement des luminaires des sanitaires

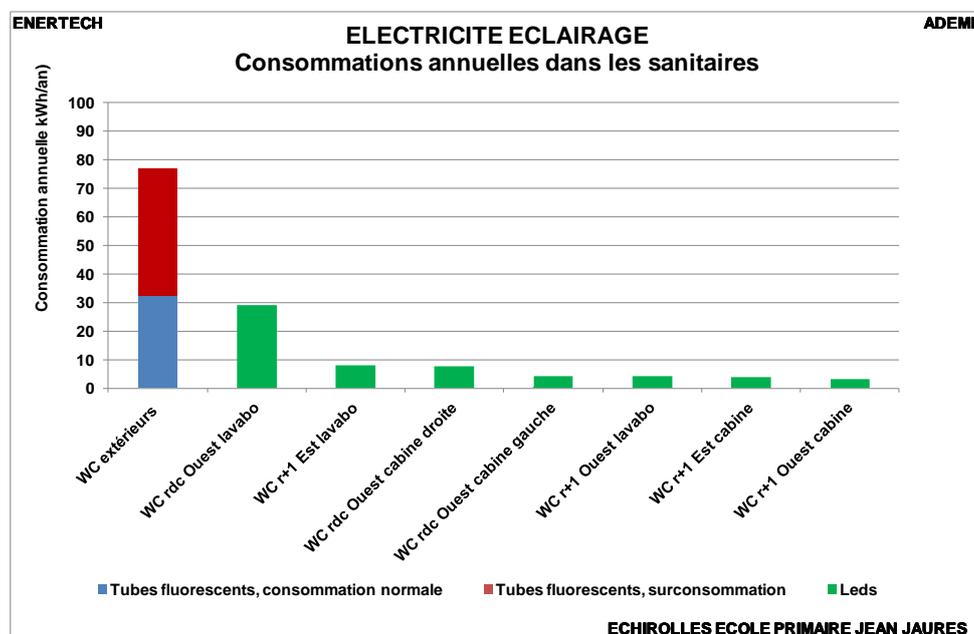


Figure 7.44 : Consommation des luminaires des sanitaires

7.5.3 Ascenseur

La consommation annuelle de l'ascenseur du bâtiment est de 1546 kWh_{él}/an soit 6,2% de la consommation totale du bâtiment et **1,24 kWh_{él}/an/m²_{SU}**. Ces consommations sont très importantes au regard du service rendu.

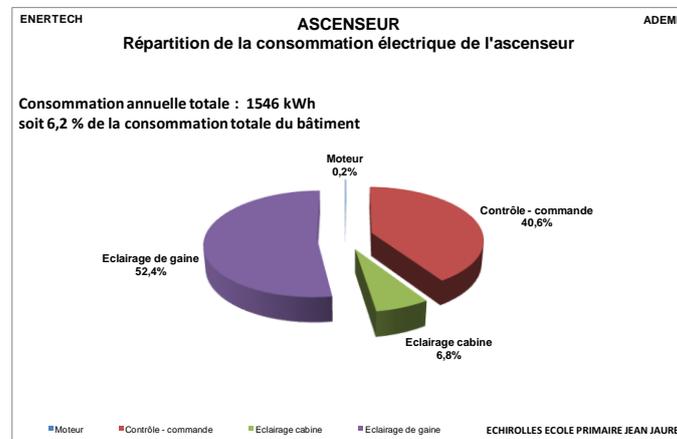


Figure 7.45 : Ascenseur – répartition de la consommation entre les différents éléments

- L'éclairage représente presque 60 % des consommations, pour deux raisons :
 - La cabine est éclairée de manière permanente, certes grâce à 4 spots de 3 leds de 1W. Mais ce fonctionnement continu représente quand même plus de 100 kWh, consommés en quasi-totalité inutilement
 - La gaine est suréquipée en luminaires (2 sports halogènes de 300 W et 4 lampes à incandescence de 60 W) et ne comporte pas d'asservissement de l'éclairage. Des oublis d'extinction sont donc possibles et c'est ce qui c'est produit entre le 23 avril et le 26 juin 2012, conduisant à une consommation inutile de 810 kWh. Il faut signaler que "par chance", un des 2 spots halogènes ne fonctionnait pas et qu'une des ampoules de 60 W a grillé le 10 juin 2012. Sans ces deux dysfonctionnements, la consommation de l'éclairage de la gaine aurait atteint 1296 kWh !!!
- L'ascenseur est très faiblement utilisé. De ce fait la part motorisation est négligeable et représente moins de 3 kWh, soit 0,2 %

Le contrôle commande appelle en permanence une puissance de 71 W. Cette valeur est correcte sans être exceptionnelle, puisque sur certaines opérations, nous avons mesuré des puissances descendant à 50 W. Il subsiste selon nous une marge de progression importante pour ces consommations, qui ont lieu de manière continue tout au long de l'année, l'électronique ayant fait d'énorme progrès.

Un **asservissement** de l'éclairage de la **cabine** à son utilisation réelle et une **interdiction de remise en service normal** de l'ascenseur avec **gaine éclairée** conduirait à une **économie** supérieure à **900 kWh**, soit près de **4 %** de la **consommation totale d'électricité du bâtiment**.

7.5.4 Volets roulants

Les baies de la façade Sud ont été équipées de brise-soleil orientables en aluminium mororisées. Cela représente un total de 56 moteurs.



Figure 7.46 : brise-soleil extérieurs – vues extérieure et intérieure

Les volets sont pilotables par paire, mais ils peuvent également être commandés par niveaux à partir d'une commande centrale. La liaison entre cette commande, située dans le bureau du directeur, et les différents moteurs se fait par un Bus, comportant des blocs d'alimentation et 8 blocs de commande.



Figure 7.47 : Modules d'alimentation et de commande des brise-soleil

Notre mesureur n'a pu être placé que sur un départ électrique commun au Bus et à un transformateur 230 V / 24 V alimentant un ensemble de 7 modules d'interface de communication Modbus. Nous ne connaissons pas exactement la puissance absorbée par ces derniers. Si on considère qu'elle est tout au plus de quelques W, on peut estimer qu'environ 90 % de la consommation électrique, soit 1393 kWh, est utilisée pour l'alimentation des divers blocs d'alimentation et de commande.

Nous n'avons pas mesuré de manière indépendante la consommation effective des moteurs. Nous connaissons par contre la consommation totale des postes suivants :

- Alarme incendie
- Alarme intrusion
- Autocommutateur télécom
- Prises de courants de la partie Est de l'école et des réserves

Sur le chiffre total mesuré (623 kWh), on peut estimer qu'au plus 25 % correspond aux moteurs des brise-soleil, soit environ 150 à 160 kWh. Cette valeur est peut-être même surestimée. Si on adopte une autre approche, en considérant que la puissance des moteurs de chaque brise-soleil est de l'ordre de 200 W au maximum, que leur temps de marche cumulé est de 5 minutes par jour et qu'il sont activés pendant les 138 jours d'occupation de l'école, on arrive à une valeur comparable de 130 kWh.

La consommation totale du poste volets roulants peut-être estimée à environ 1550 kWh, dont 90 % pour le circuit de commande. Si on considère que la consommation du circuit commande n'est utile que pendant les heures d'occupation de l'école, il devrait être possible de couper le circuit de commande pendant plus de 80 % du temps, permettant d'économiser ainsi environ 1 100 kWh, soit 4,5 % de la consommation totale de l'école. A minima, cette coupure peut avoir lieu pendant les vacances.

7.5.5 Etude de la sous station

7.5.5.1 Consommation globale

Les différents usages consommant de l'électricité dans la sous station sont :

- L'échangeur chauffage urbain
- Les pompes des circuits radiateurs pour l'école primaire, l'école maternelle
- Les pompes d'alimentation de la sous-station restaurant
- Le groupe de maintien de pression et la pompe de relevage
- La régulation de chauffage, avec les vannes trois voies, les contacteurs...

La consommation des différentes pompes a été mesurée séparément pour les 3 bâtiments. Nous présentons deux résultats différents pour l'école primaire :

1. Les autres consommations hors pompes sont réparties au prorata des consommations d'énergie thermique de chacun des trois bâtiments.
2. Les autres consommations hors pompes sont affectées intégralement à l'école primaire. Cette hypothèse permet d'estimer ce qu'aurait consommé une sous-station analogue desservant uniquement l'école primaire, avec l'hypothèse pessimiste où l'on suppose que les consommations des autres postes auraient été identiques. On peut penser qu'en réalité dans ce cas, la consommation du poste régulation et armoire électrique aurait été moindre.

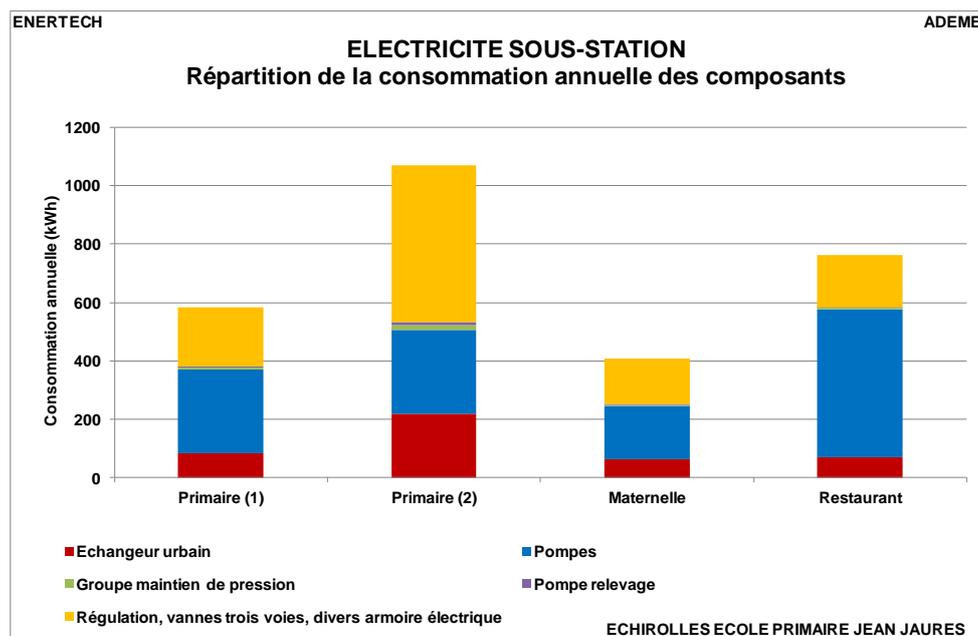


Figure 7.48 : Consommation des divers appareils en sous-station (Primaire (1) et primaire (2) correspondent aux deux hypothèses explicitées ci-dessus)

On arrive ainsi avec la première hypothèse à une consommation pour l'école primaire de 585 kWh, soit $0,47 \text{ kWh}_{el}/\text{an}/\text{m}^2_{SU}$ (2,3 % de la consommation du bâtiment). Avec la deuxième hypothèse, les résultats restent très bons avec une consommation pour l'école primaire de 1069 kWh, soit $0,86 \text{ kWh}_{el}/\text{an}/\text{m}^2_{SU}$ (4,2 % de la consommation du bâtiment).

Ces consommations sont très faibles, mais pas tout à fait comparable à celle observée sur d'autres sous-stations. Par exemple, nous avons mesuré une consommation de $0,9 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2_{Shab}$ pour la sous-station d'un immeuble de logements (Epagny Sogimm), qui comportait également une production centralisée d'eau chaude sanitaire.

Sur d'autres écoles, nous avons observé des consommations surfaciques bien supérieures, avec des valeurs atteignant $3,4 \text{ kWh}_{el}/\text{an}/\text{m}^2_{SU}$ au Perréon et $8 \text{ kWh}_{el}/\text{an}/\text{m}^2_{SU}$ à St Christo en Jarez.

Les figures 7.49 représentent les structures des courbes de charge de la sous station les jours ouvrés et non ouvrés pendant la période de chauffe (les jours ouvrés comprennent les lundi, mardi, jeudi et vendredi hors périodes de vacances).

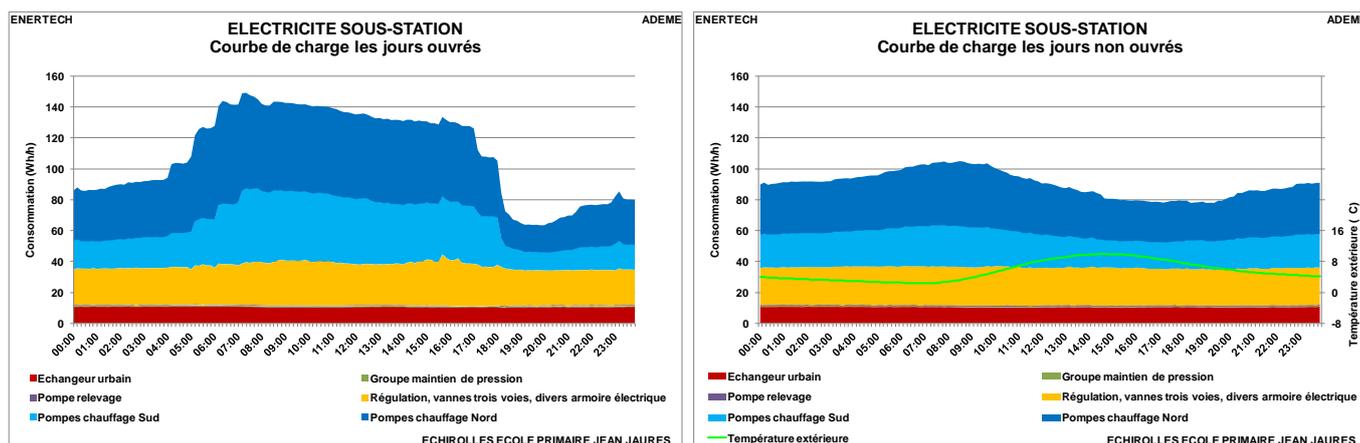


Figure 7.49 : ELECTRICITE SOUS STATION
Structure de la courbe de charge les jours ouvrés (gauche) et non ouvrés (droite)

On voit des différences nettes entre les jours ouvrés et les jours non ouvrés :

- Les profils journaliers de consommations sont très stables pour l'échangeur urbain, et l'armoire électrique et la régulation, et très similaires entre les jours ouvrés et les jours non ouvrés. Cela est assez logique dans la mesure où il s'agit de consommations qui ne dépendent quasiment pas de la charge de chauffage.
- Par contre, les consommations des pompes chauffages sont très différentes entre les jours ouvrés et non ouvrés, montrant bien ainsi l'effet de la programmation du chauffage :
 - pour les jours ouvrés, les pompes augmentent de régime entre 5 h 00 et 8 h 00, et diminuent de nouveau en fin de journée vers 18 h 00. Entre 8 h 00 et 18 h 00, la puissance diminue, traduisant le fait qu'un certain nombre de régulations terminales dans les classes et sur le circuit nord se ferment au fur et à mesure que les températures de consignes sont atteintes dans les différentes classes et dans les couloirs.
 - Pour les jours non ouvrés, la consommation des pompes est beaucoup plus stable, et varie grosso modo de manière inversée par rapport à la température extérieure.

Le graphique de la figure 7.50 présente l'évolution de la consommation journalière au cours de l'année de suivi. L'écart entre les différents mois provient essentiellement des pompes chauffage. La consommation moyenne de la sous station est de 1,6 kWh/jour sur l'année et de 2,3 kWh/jour sur la période de chauffe et la valeur maximale est atteinte en janvier 2013 avec 3,2 kWh.

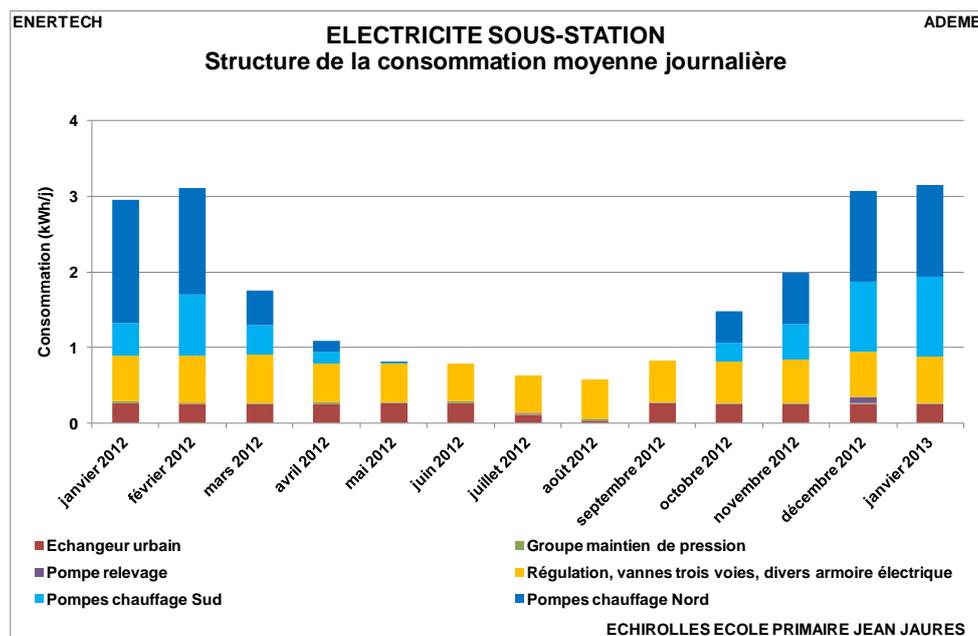


Figure 7.50 : ELECTRICITE SOUS STATION
Structure de la consommation moyenne journalière au cours des mois de suivi

7.5.5.2 Etude des pompes de chauffage

Les pompes chauffage sont de type basse consommation électrique à aimants permanents à commutation électronique (Wilo Stratos D 32/1-8). Elles comportent un régulateur à pression différentielle intégré, et adaptent leur puissance en fonction des pertes de charges du circuit alimenté. Ainsi, quand les régulations terminales des différentes classes se ferment, le débit des pompes diminue et il en est de même pour la vitesse et la puissance. Le débit des pompes et les consommations électriques qui en découlent varient donc à la fois tout au long de la journée, et en fonction des jours d'occupation de l'école. D'après la fiche technique donnée par le constructeur, la puissance absorbée varie entre 9 et 130 W.

La figure 7.51 représente les courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de circulation pendant la période de chauffage. Nous y avons représenté les heures d'occupation de l'école (8 h 00 à 18 h 00 les jours ouvrés) et les heures d'occupation des classes (8 h 30 à 11 h 30 et 13 h 30 à 13 h 30 les jours ouvrés). Nous avons également représenté le fonctionnement de la pompe d'alimentation de la batterie chaude de la centrale de traitement d'air (CTA). On peut faire les commentaires suivants :

- La puissance des pompes est la plupart du temps très inférieure à la puissance maximale annoncée par le constructeur. Ce n'est que pour le circuit Nord qu'elle s'en rapproche, mais uniquement du début de la période de mesure jusqu'au 27 février 2012 : on le constate dans le graphique de droite de la figure 7.52, où il apparaît qu'après cette date, le fonctionnement de la pompe Nord devient similaire à celui de la pompe Sud, peut-être suite à une intervention de maintenance.

- Les modulations de la puissance des pompes apparaissent dans les variations des ordonnées. Pour les deux pompes des réseaux de chauffage, on voit effectivement un seuil minimal aux environs de 10 W.
- L'effet de la programmation du chauffage et de la ventilation (pompe de la CTA) apparait dans les baisses brusques des courbes pour des abscisses qui diffèrent selon les réseaux :
 - L'alimentation de la batterie chaude de la CTA est effectivement coupée en inoccupation
 - Les pompes des réseaux de chauffage fonctionnent à débit réduit en inoccupation et sont même totalement arrêtées pendant plus d'un tiers de la saison de chauffe, lorsque la température extérieure dépasse 8 °C en inoccupation.

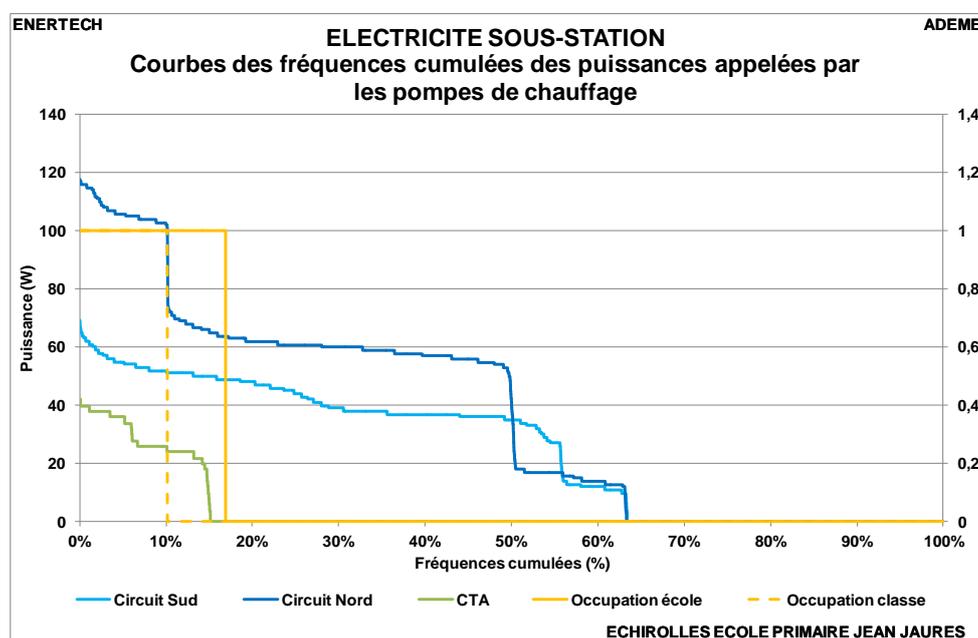


Figure 7.51 : ELECTRICITE SOUS STATION

Courbes de fréquence cumulées des puissances appelées par les pompes de chauffage

La figure 7.52 à gauche représente les puissances appelées pendant une semaine typique, ainsi que la consommation journalière moyenne pendant toute l'année.

On observe :

- des puissances appelées qui diminuent les jours d'occupation (jeudi 8/03 et vendredi 09/03), et quand la température extérieure le permet, une baisse très marquée (lundi 12/03 et mardi 13/03) : c'est le signe que le système réagit correctement et tient compte des apports gratuits liés à l'occupation des locaux. Inversement, les jours de non occupation (samedi 10/03 et dimanche 11/03), les puissances appelées restent stables. Le mercredi 14/03, les besoins de chauffages sont très faibles, car la température extérieure est plus élevée que les autres jours, et les pompes ne fonctionnent que très peu.

- Du fait de ces puissances et durées de fonctionnement décroissantes quand la température extérieure augmente, on observe logiquement une évolution similaire ses consommations journalières, montrant ainsi que les fonctions d'économie d'énergie des pompes fonctionnent effectivement.

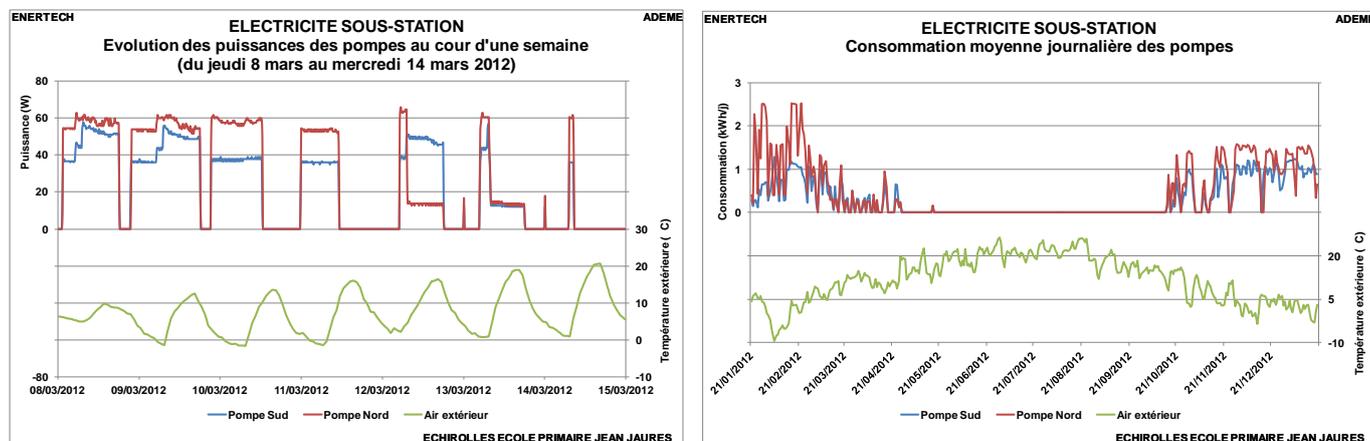


Figure 7.52 : ELECTRICITE SOUS STATION
Puissances appelées par les pompes pendant une semaine typique et consommations moyennes journalière pendant l'année

La consommation totale des pompes des circuits de chauffage vaut 290 kWh_{el}/an, soit 0,23 kWh_{el}/an.m²_{SU}.

Ces valeurs sont très bonnes, à titre de comparaison, on a pu relever des valeurs de 0,7 et 0,6 kWh_{el}/an.m²_{SU} sur des circuits planchers chauffants d'un bâtiment performant (Cité de l'environnement – Saint Priest –69). Sur une école où aucune gestion de l'intermittence n'était pratiquée au niveau des pompes de distribution, on a mesuré une valeur atteignant 7 kWh_{el}/an.m²_{SU}.

7.5.6 Ventilation

La ventilation des classes est réalisée par une centrale double flux dont les moteurs sont équipés de variateurs de vitesse. Par ailleurs, l'extraction d'air dans les sanitaires de l'école et extérieurs est assurée par des ventilateurs.

La consommation annuelle du poste ventilation est de 6 039 kWh_{el}/an soit 4,9 kWh_{el}/an/m² (24% de la consommation du bâtiment...). La consommation des extracteurs sanitaires représente 125 kWh, soit 0,5 % de la consommation totale de l'école.

La figure 7.53 représente la part de consommation en période d'occupation et d'inoccupation pour la CTA et les extracteurs des sanitaires (attention, pour ces derniers, échelle de droite sur le graphique dilatée d'un facteur 10). Nous avons appelé "été" la période hors saison de chauffe, du 27/04/2012 au 14/10/2012, où le chauffage est arrêté et où la CTA peut marcher en mode rafraîchissement nocturne. Il y a donc ces jours "été" occupés.

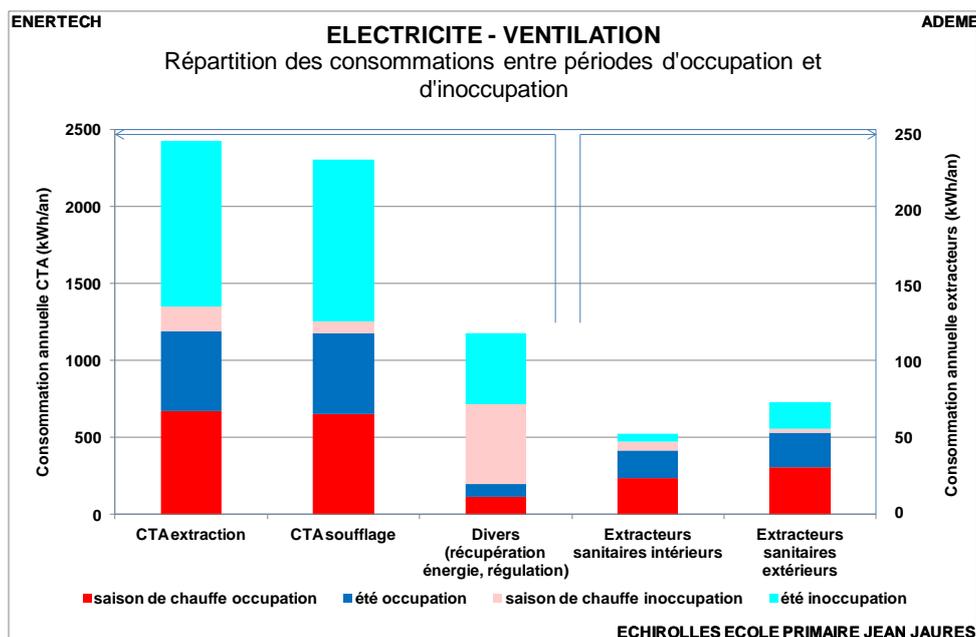


Figure 7.53 : ELECTRICITE – VENTILATION

Répartition des consommations entre périodes d'occupation et d'inoccupation

44 % de la consommation totale a lieu pendant les heures d'occupation (8h à 18h00 les jours ouvrés hors vacances). Pour la CTA, cette part atteint 43,4 %, alors que pour les extracteurs, elle atteint 75,6 %.

Mais ces pourcentages n'ont pas la même signification :

- Pour la CTA, l'essentiel de la consommation en inoccupation est liée à la surventilation nocturne, dont nous avons vu au paragraphe 5.1.2 qu'elle était finalement assez peu efficace.
- Pour les extracteurs sanitaires, il semble que la consommation inutile observée se produit essentiellement pour les sanitaires extérieurs, en été et en inoccupation, et qu'elle provient d'un asservissement inadéquat. Le pilotage des extracteurs paraît identique à celui de la centrale de traitement d'air, et lorsque cette dernière est activée par la GTC, il en est de même pour les extracteurs (figure 7.54). Il faut noter que la consommation de ces deux extracteurs n'a pas été mesurée directement, mais qu'elle a été obtenue par déduction à partir de l'analyse des schémas électriques de l'armoire TGBT et de la l'armoire électrique CTA, ainsi que de la consommation totale du poste ventilation et les consommations des divers circuits instrumentés de manière détaillée. Nous n'avons donc pas de certitude absolue sur ce point, mais une suspicion marquée. Cela dit, la surconsommation suspecte n'est que de l'ordre d'une vingtaine de kWh pour l'année.

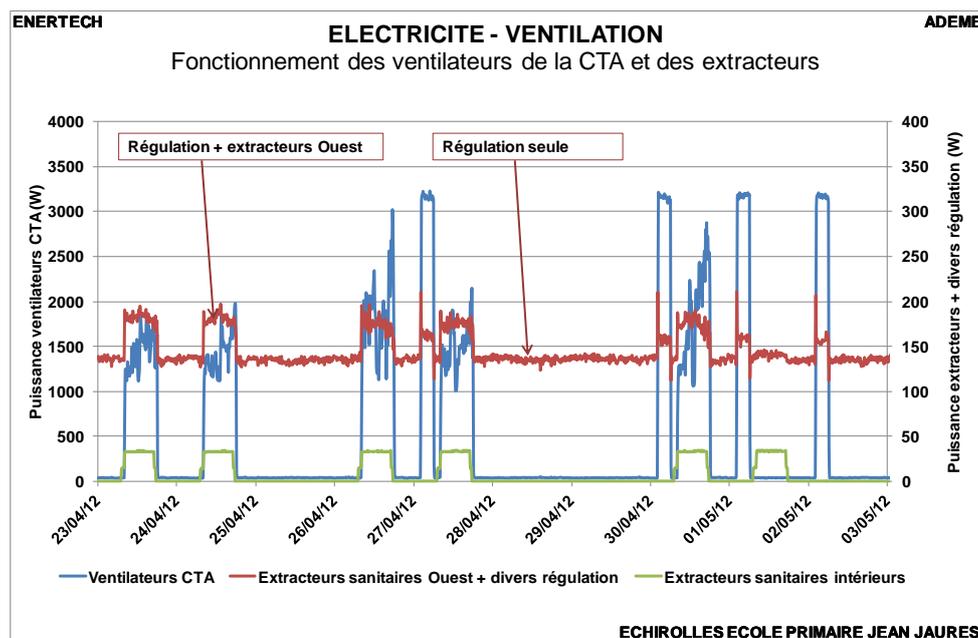


Figure 7.54 : ELECTRICITE – VENTILATION
Fonctionnement des extracteurs sanitaires et des ventilateurs de la CTA

7.5.7 Usages thermiques de l'électricité

7.5.7.1 Les chauffe eau

Le bâtiment est équipé de 3 chauffe-eau électriques, 2 de 15 litres placés dans les faux-plafonds des sanitaires Est et Ouest de l'étage, et un de 75 litres placés dans le faux-plafond des sanitaires Ouest du rez-de-chaussée.

La consommation totale des chauffe-eau est de 1404 kWh_{el}/an soit 1,13 kWh_{el}/an/m²_{SU}, soit 5,6 % de la consommation totale du bâtiment. Là encore, on peut comparer cette valeur à celles mesurées sur 2 écoles : 3,0 kWh_{el}/an/m²_{SU} à St Christo en Jarez, et 3,8 1,13 kWh_{el}/an/m²_{SU} au Perréon.

La figure 7.55 montre les consommations moyennes journalières des trois chauffe-eau tout au long de l'année. Notre mesureur a dysfonctionné du 03/09/2012 au 13/12/2012. Nous avons reconstitué les données manquantes pour obtenir le bilan présenté au tableau 7.57. On observe que les consommations journalières sont généralement plus basses en période de vacances, mais également que les consommations les plus élevées ont également lieu pendant ces périodes, notamment pour chauffe-eau du rez-de-chaussée, peut être plus sollicité par des travaux de nettoyage de l'école.

A partir de l'analyse des consommations pendant la période d'été du 20/07/2012 au 27/08/2012, pendant laquelle il n'y a a priori pas de consommation d'eau chaude, nous pouvons déterminer les consommations d'entretien des trois chauffe-eau, correspondant uniquement à des pertes. Les résultats correspondants sont donnés dans la colonne "Hyp 1" du tableau 7.57.

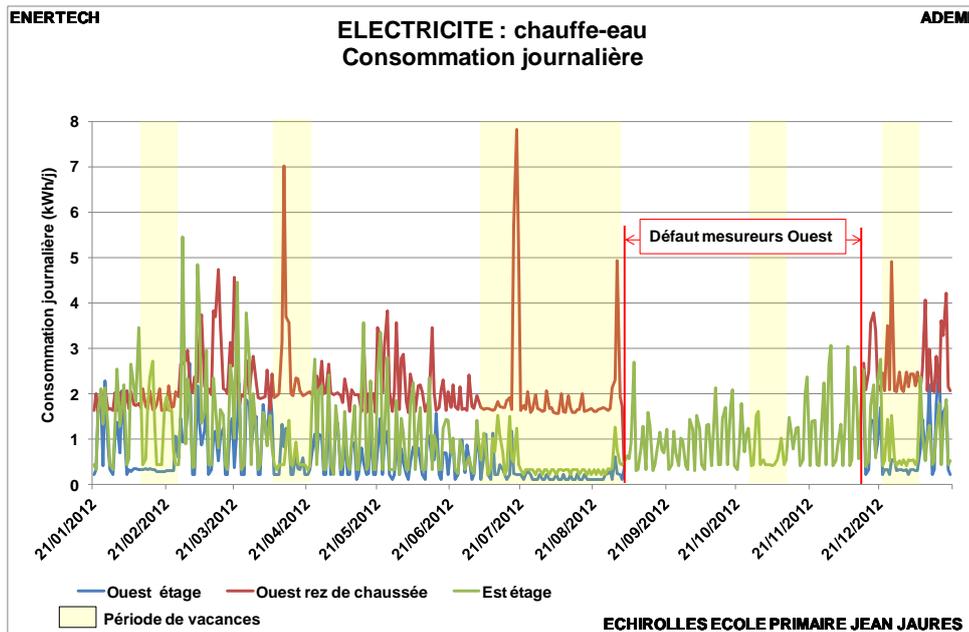


Figure 7.55 : ELECTRICITE – CHAUFFE-EAU
Consommation journalières des trois chauffe-eau

La figure 7.56 représente les courbes de charge les jours d’occupation et d’inoccupation du bâtiment. Les chauffe eau de l’étage (avec faibles volumes de stockage) sont essentiellement utilisés en fin de journée (plage horaire de 15 h 30 à 19 heures), vraisemblablement essentiellement pour le ménage. A partir de l'observation des journées non occupées, en faisant l'hypothèse qu'il n'y a pas de consommation d'eau chaude pendant ces journées, nous pouvons faire une deuxième estimation des consommations d'entretien, qui conduisent aux résultats de la colonne "Hyp 2" du tableau 7.57. Les valeurs obtenues sont des valeurs certainement majorantes des pertes, parce qu'il est possible qu'il y ait quelques consommations utiles pendant ces journées que nous n'avons pas éliminées avec cette analyse.

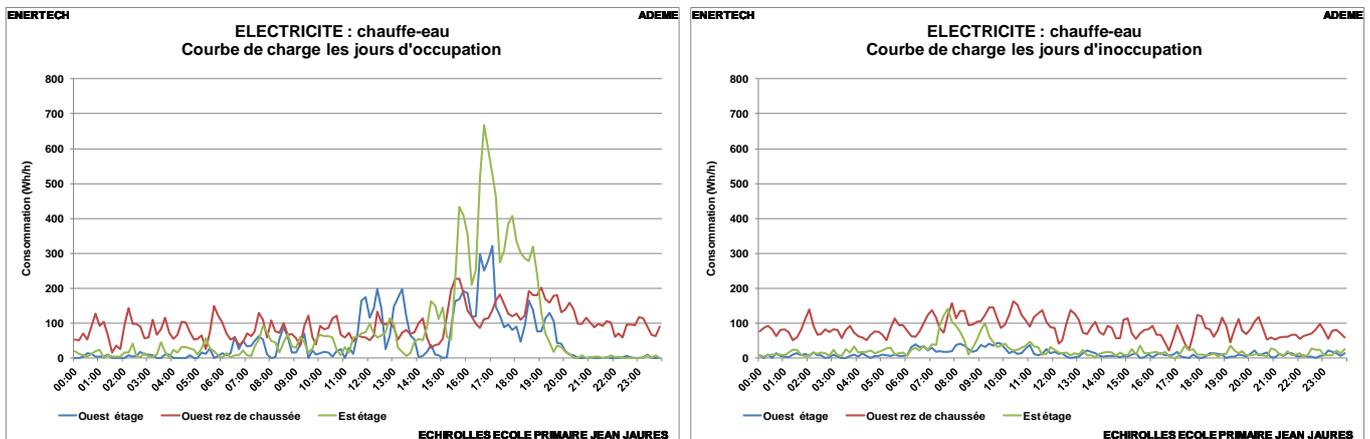


Figure 7.56 : ELECTRICITE - Chauffe eau
Courbe de charge les jours d’occupation (gauche) et d’inoccupation (droite)

Le tableau de la figure 7.57 rassemble les résultats.

	Volume	Consommation annuelle	Proportion en occupation	Consommation d'entretien		Consommation utile		Pertes		Pourcentage utile	
				Hyp 1	Hyp 2	Hyp 1	Hyp 2	Hyp 1	Hyp 2	Hyp 1	Hyp 2
	litres	kWh/an	%	kWh/j		kWh/an		kWh/an		%	
Ouest étage	15	228	56%	0,16	0,30	171	119	57	109	75%	52%
Ouest rez de chaussée	75	805	18%	1,79	1,94	150	94	655	711	19%	12%
Est étage	15	371	59%	0,30	0,56	261	168	110	203	70%	45%
Total		1404				582	382	822	1022	41%	27%

Figure 7.57 : ELECTRICITE – CHAUFFE-EAU
Synthèse des résultats

On observe que :

- Les ballons ne sont jamais arrêtés pendant les vacances scolaires, ou les WE.
- Le chauffe-eau de 75 litres est celui qui fournit le service le plus réduit (énergie utile la plus faible) alors que ses pertes thermiques sont les plus élevées, du fait de sa plus grande taille.
- De ce fait, la proportion de pertes de ce chauffe-eau se situe entre 81 et 88 %, selon les hypothèses faites.
- Inversement, les chauffe-eau de 15 litres ont une proportion de pertes bien plus faible (de 25 % à 48 % pour le chauffe-eau Ouest et de 59 à 73 % pour le chauffe-eau Est).
- Les pertes du chauffe-eau Ouest étage sont nettement plus faibles que son homologue de l'Est, traduisant vraisemblablement une consigne de température nettement plus basse : le tableau de la figure 7.58 compare les constantes de refroidissement données par le fabricant avec les valeurs issues des mesures du tableau 7.57. Nous avons fait ce calcul pour chacun des trois chauffe-eau, et avec les deux hypothèses de consommation d'entretien explicitées ci-dessus. On constate que pour qu'il y ait un recouvrement entre les valeurs calculées et les données constructeur, il faut faire l'hypothèse que la consigne du premier chauffe-eau a été réglée très bas, celle du deuxième très haut, et celle du troisième à une valeur intermédiaire (valeurs notées en **gras rouge**).

	Pertes		Constante de refroidissement							
	Hyp 1	Hyp 2	Calculée à partir des mesures						Plage constructeur	
			Hyp 1	Hyp 2	Hyp 1	Hyp 2	Hyp 1	Hyp 2		
kWh/an		Wh/j/K.l								
Ouest étage	57	109	0,52	0,99	0,26	0,49	0,17	0,33	0,75	0,93
Ouest rez de chaussée	655	711	1,19	1,29	0,60	0,65	0,40	0,43	0,3	0,4
Est étage	110	203	1,00	1,85	0,50	0,93	0,33	0,62	0,75	0,93
Total	822	1022								
Ecart de températures chauffe-eau - ambiante (K)			20		40		60			

Figure 7.58 : ELECTRICITE – CHAUFFE-EAU
Estimation des constantes de refroidissement des chauffe-eau

Le calcul présenté ci-dessus est très approximatif, et ne donne que des ordres de grandeur, mais il permet de dégager des pistes d'économie.

Il en résulte que des économies substantielles sont possibles :

- Les consignes de températures pourraient être réduites sur deux des chauffe-eau (Ouest rez-de-chaussée et Est étage)
- Le chauffe-eau de 75 litres pourrait être remplacé par un chauffe-eau de 15 litres. L'économie possible est de l'ordre de 600 kWh, si la consigne de température est simultanément réduite.
- Les chauffe-eau pourraient être arrêtés en inoccupation. Le temps de réchauffage d'un ballon de 15 litres étant d'une demi-heure, ils pourraient fonctionner de 8 h 00 à 20 h 00, plage à définir avec le service de nettoyage.
- Il est également possible de surisoler les ballons par 5 cm de laine de verre



Figure 7.59 : ELECTRICITE – CHAUFFE-EAU
Exemple de surisolation

7.5.8 Appareils divers en salle des maîtres

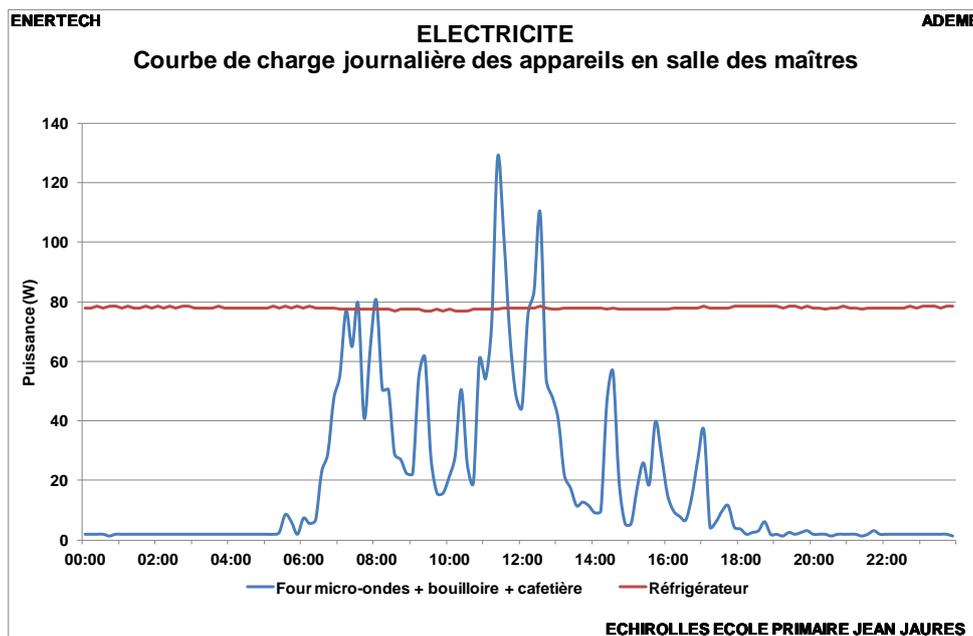
Ce poste comprend l'alimentation électrique :

- Du réfrigérateur dans la salle des maîtres : 674 kWh pour un appareil vieux et semble-t-il peu utilisé. Notons qu'il a fonctionné toute l'année, y compris pendant les vacances... Il y a lieu de le remplacer par un appareil de contenance plus adaptée et de classe A+++. Les appareils les plus performants consomment moins de 100 kWh pour une année. Un tiers de cette consommation peut être économisée en arrêtant le réfrigérateur pendant les vacances. L'économie totale possible est ainsi de l'ordre de 600 kWh, soit 2,4 % de la consommation globale de l'école.



- Une prise-multiple alimentant un four micro-ondes, une bouilloire et une cafetière électriques. L'ensemble a consommé 167 kWh pendant l'année, dont 10 kWh pour les veilles. Le bloc prise a été arrêté complètement pendant 52 % du temps. 91 % des consommations ont lieu pendant les jours d'occupation.

La figure 7.60 montre les profils des puissances appelées par les différents appareils en salle des maîtres. On observe des pics de consommation le matin, à midi et en de journée, ainsi que pendant les récréations. Quelques économies sont sans doute encore possibles par une vigilance accrue, mais somme toute de manière marginale.



**Figure 7.60 : ELECTRICITE – Appareils en salle des maîtres
Courbe de charge journalière**

7.5.9 Synthèse

Le tableau suivant reprend l'ensemble des économies possibles sur le poste électricité, et montre qu'une réduction de 38 % des consommations actuelles est envisageable.

	Economies possibles (kWh)	Commentaires
Eclairage	2800	Asservissement gaine ascenseur, réglage et suppression dysfonctionnements DDP
CTA	1700	Réduction fonctionnement rafraîchissement nocturne
Poste informatique	2500	Arrêt en inoccupation, utilisation d'ordinateurs portables
Divers (alarmes, télécom, sonnerie, volets roulants, prises)	600	Remplacement réfrigérateur, arrêt pendant les vacances
Bus volets roulants	1100	Arrêt bus volets roulants en inoccupation
ECS	600	Remplacement du chauffe-eau de 75 litres, arrêt en inoccupation
Ascenseur	100	Asservissement éclairage cabine
Sous-station		
Total	9400	

Figure 7.61 : ELECTRICITE – Economies possibles

CHAPITRE 8 : REPONSES AU QUESTIONNAIRE

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du questionnaire qui a été envoyé, à l'issue de la première année, aux maîtres. Son but est de recueillir des informations qui peuvent être recoupées avec les mesures. Les questions portent sur :

- Le niveau de satisfaction
- La connaissance des performances du bâtiment et des systèmes installés
- Les comportements, plus particulièrement ceux pouvant avoir un effet direct sur les consommations d'énergie.

Un seul questionnaire nous ayant été retourné par la directrice, il est difficile d'en tirer des conclusions générales.

On peut néanmoins noter que le niveau de satisfaction indiqué correspond à l'item "assez satisfait" pour les postes principaux :

- Le fonctionnement de l'éclairage et de la détection de présence dans le bureau, les circulations, les escaliers, les sanitaires
- La qualité de l'éclairage artificiel dans le bureau
- Le fonctionnement et le confort apporté par la ventilation, même si une impression de gorge sèche est parfois ressentie

Quelques éléments supplémentaires sont à noter :

- Aucune appréciation n'est formulée en matière de confort thermique
- Les protections solaires sont jugées très efficaces, avec une utilisation occasionnelle.
- Une certaine gêne créée par le bruit dans les parties communes et par celui occasionné par les équipements techniques (ventilation ?) est signalée

Enfin, une information orale sur le fonctionnement des équipements a été délivrée et appréciée.

CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES

9.1 Consommation totale

9.1.1 Comparaison entre les résultats de la mesure et le calcul RT (THCex)

Le calcul RT THCex avait conduit à une consommation conventionnelle en énergie primaire (Cep) de 59,6 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} sur 5 usages. Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 1,14 fois plus, soit 68,2 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}. Le dépassement se fait essentiellement sur le poste éclairage (+ 79 %) En revanche, les performances du poste ventilation sont nettement meilleures, puisque la consommation réelle est inférieure de 30 % inférieure à la prévision.

Pour le poste chauffage, on observe un léger dépassement de 11,7 %. Deux raisons expliquent cet écart :

- Une température extérieure légèrement plus basse que la moyenne pendant la saison de chauffe. Les degrés-jours réels dépassent les degrés-jours moyens d'environ 3 %, ce qui augmente la consommation d'une valeur similaire, soit 0,9 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}.
- La puissance de l'échangeur considéré dans le calcul RT (70 kW) a été fixée comme s'il ne desservait que l'école primaire, alors que celui installé en réalité a une puissance de 640 kW, ce qui conduit à des pertes bien plus importantes, et un rendement plus faible que celui du calcul prévisionnel. L'écart entre les pertes annuelles réelles mesurées (4834 kWh) et celles évaluées dans le calcul prévisionnel avec un échangeur de 70 kW (800 à 1100 kWh) atteint une valeur d'environ 3,0 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}.

Le total des 2 écarts précédents vaut 3,9 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} alors qu'on observe un écart de 3,6 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} entre nos mesures et le calcul prévisionnel. La légère surconsommation observée en chauffage est donc bien liée essentiellement à une surpuissance de l'échangeur de chaleur qui n'a pas été remplacé pour être adapté à la nouvelle configuration et aux besoins fortement réduits.

Sans les diverses surconsommations d'électricité du poste éclairage, le dépassement global n'aurait été que de 5 %.

Rappelons cependant que la comparaison n'est qu'indicative. En effet, on ne peut confronter avec rigueur une mesure à une valeur conventionnelle (méthode "RT").

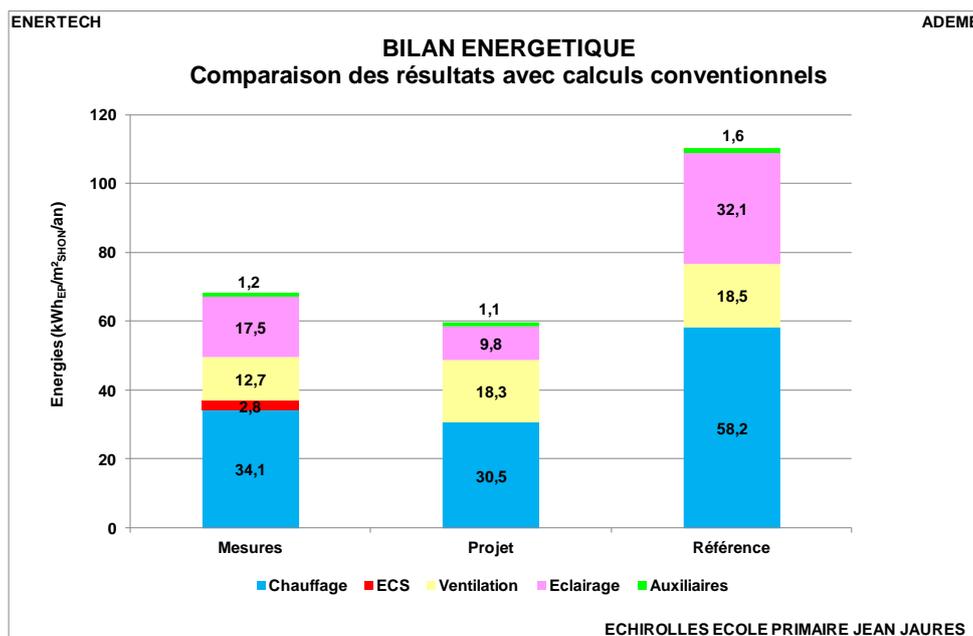


Figure 8.1 : BILAN - Comparaison entre les Cep mesurés et calculés

Pour les deux écoles précitées (Perréon et St Christo en Jarez), les Cep mesurées ont atteint respectivement $79,7 \text{ kWh}_{EP}/\text{an}/\text{m}^2_{SHON}$ et $99,8 \text{ kWh}_{EP}/\text{an}/\text{m}^2_{SHON}$.

9.1.2 Energie primaire

Exprimée en énergie primaire, avec un coefficient de conversion de 2,58 pour l'électricité, la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus, s'élève à $87,6 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2_{Su}/\text{an}$. En prenant un coefficient de conversion de 3,2, la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus, s'élève à $100 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2_{Su}/\text{an}$. Si on ne retient que les usages réglementaires, les valeurs atteignent respectivement $71,6$ et $80,2 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2_{Su}/\text{an}$.

Le chauffage représente moins de 40 % de cette consommation totale, soit une part cependant très supérieure à celle qu'on a observé récemment dans les bâtiments tertiaires performants (de l'ordre de 10 à 15%). L'électricité spécifique représente de 59 % à 64 % de la consommation totale en énergie primaire, selon le coefficient de conversion retenu.

Si la totalité des mesures d'économie d'électricité décrites précédemment étaient mises en œuvre, ces valeurs descendraient respectivement à $67,9$ et $75,6 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2_{Su}/\text{an}$.

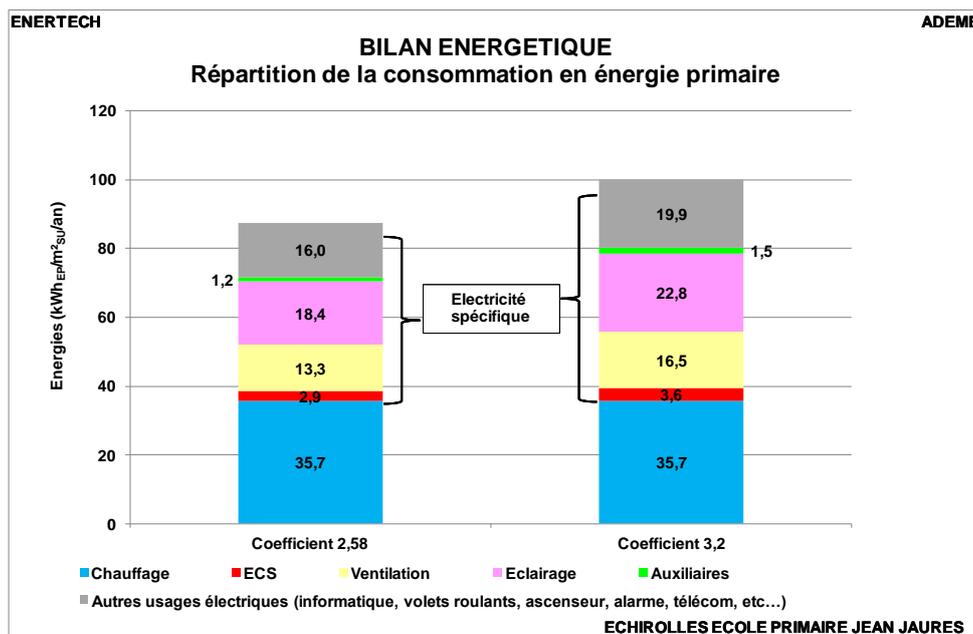


Figure 8.2 : BILAN
Répartition de la consommation du bâtiment en énergie primaire

Pour les deux écoles précitées (Perréon et St Christo en Jarez), chauffées au bois, les consommations totales ont atteint respectivement 133 kWh_{EP}/an/m²_{SU} et 194 kWh_{EP}/an/m²_{SU}, avec des coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale de 1 pour le bois et 2,58 pour l'électricité.

Avec des coefficients de conversion énergie primaire/énergie finale de 0,2 pour le bois et 3,2 pour l'électricité, les valeurs atteignent 75 kWh_{EP}/an/m²_{SU} et 125,5 kWh_{EP}/an/m²_{SU}. La comparaison de ces chiffres avec le résultat de l'école Jean Jaurès doit être faite en gardant en tête le coefficient de conversion en énergie primaire de 0,2 pour le bois qui écrase beaucoup la part chauffage, et atténue ainsi les différences.

9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

Consommation totale d'énergie utile exprimée en énergie primaire	Facteur 3,2 sur l'électricité	Tous usages confondus, y compris chauffage, eau chaude, ventilation, services généraux	80,2	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{shab}/\text{an}$		
	Facteur 2,58 sur l'électricité		71,6	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{shab}/\text{an}$		
	Production totale photovoltaïque (mesure + extrapolation mois manquants)		1,16 + 0,24	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{el}/\text{an}$		
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte	1,08	vol/h		
	Q4	soufflante	0,77	$\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$		
Qualité des ambiances	TauxCO2		1467	ppm		
	Hiver	Température moyenne (occupation / inoccupation)	19,2 / 16,6	°C		
		Humidité relative moy, min, max	26, 44, 60	%		
		Pourcent. du temps où T > 20 °C (occ / inocc)	30 % / 8 %	%		
	Eté	Température moyenne (occupation / inoccupation)	24,8 / 24,5	°C		
		Humidité relative moy, min, max	52, 38, 68	%		
		Heures d'occupation où T > 28°C	10 / 5	h/an		
Zone la plus défavorisée / moyenne des classes						
Ventilation	Renouvellement dans les salles de classe	Soufflage	2,2 à 2,9	Vol/h		
		Extraction	2,3 à 3,3	Vol/h		
	Efficacité de l'échangeur	Conso/ m^3 ventilateur soufflage	82%	%		
	Consommation volumique	Ventilateur soufflage	0,27	$\text{W} / \text{m}^3/\text{h}$		
Ventilateur extraction		0,28	$\text{W} / \text{m}^3/\text{h}$			
Chauffage	Consommation d'énergie	Total	44 484	$\text{kWh}_{ep}/\text{an}$		
		Par m^2_{shab}	35,7	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{su}/\text{an}$		
	Puissance de pointe chauffage (moyenne sur 1 heure) et taux de charge correspondant (%)	P (% puissance installée)	90 (14 % *)	kW		
		Par m^2_{shab}	72	W/m^2_{su}		
	Puissance des déperditions		1420	W/K		
	Loi d'eau		44,9	$\text{W}/\text{m}^2_{shab}$		
	Loi d'eau programmée/réelle	Circuit Nord	80 -25 / 68,8 - 29,0	°C		
Tdépart pour -11°C et + 15°C ext	Circuit Sud	80 -25 / 67,0 - 28,6	jours			
ECS	Consommation d'énergie primaire	Par m^2_{su} coefficient 2,58/3,2	2,9 / 3,6	$\text{kWh}_{ep}/\text{an}/\text{m}^2_{su}$		
Electricité services généraux			$\text{kWh}_{el}/\text{m}^2_{su}/\text{an}$	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{su}/\text{an}$ (coef 2,58)	$\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2_{su}/\text{an}$ (coef 3,2)	%
	Total	20,1	51,8	64,3	100%	
	Eclairage	7,1	18,4	22,8	35%	
	CTA	5,1	13,2	16,4	25%	
	Poste informatique	2,9	7,5	9,3	14%	
	Divers (alarmes, télécom, sonnerie, volets roulants, prises)	1,5	3,8	4,7	7%	
	Bus volets roulants	1,2	3,2	4,0	6%	
	ECS	1,1	2,9	3,6	6%	
	Ascenseur	0,6	1,5	1,9	3%	
	Sous-station	0,5	1,2	1,5	2%	
Extracteurs permanents	0,0	0,1	0,1	0,2%		

(*) : rapporté à la puissance totale de l'échangeur chauffage urbain, qui alimente également l'école maternelle et le restaurant

CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

Ventilation :

- Vérifier le fonctionnement du by-pass et du caisson de mélange
- Modifier la programmation de la surventilation nocturne pour ne l'activer que si les températures intérieures atteignent des températures élevées. La couper quoiqu'il en soit pendant les vacances d'été.
- Modifier la diffusion d'air dans les classes, après avoir validé l'hypothèse faite de mauvaise circulation de l'air insufflé. Dans un premier temps, orienter les déflecteurs des grilles de soufflage vers le bas. Ensuite, après une étude plus approfondie, remplacer les bouches actuelles par des bouches mieux adaptées, ou mieux, modifier l'arrivée d'air pour créer une ventilation par déplacement.

Chauffage :

- Envisager le remplacement de l'échangeur chauffage urbaine par un nouveau de puissance plus adaptée.
- Baisser la température de consigne d'air à la sortie de la batterie de chauffage, en s'assurant cependant que le confort est conservé.
- Vérifier le fonctionnement de l'optimisation. Asservir l'autorisation d'ouverture des vannes de zone dans les salles de classe au fonctionnement de la pompe du réseau Sud.

ECS :

- Réduire les consignes de températures sur deux des chauffe-eau (Ouest rez-de-chaussée et Est étage)
- Remplacer le chauffe-eau de 75 litres par un chauffe-eau de 15 litres et réduire simultanément la température de consigne
- Arrêter les chauffe-eau en inoccupation

Eclairage :

- Régler les temporisations des espaces communs à 30 secondes
- Vérifier les fonctionnements de certains détecteurs de présence, notamment la temporisation à l'arrêt
- Baisser le seuil de détection des détecteurs de présence dans les circulations.
- Asservir l'éclairage de la cabine de l'ascenseur à son utilisation

- Asservir le fonctionnement normal de l'ascenseur à l'arrêt de l'éclairage dans la gaine.
- Vérifier la bonne utilisation de l'éclairage des préaux et des sanitaires extérieurs. Asservir ces derniers à un programme horaire ou un détecteur de présence.
- Asservir l'extinction de l'éclairage des tableaux à un des détecteurs de présence de l'éclairage.

Appareils divers :

- Remplacer le réfrigérateur par un appareil neuf et de capacité plus adaptée
- Arrêter en inoccupation les ordinateurs des salles de classe.
- Activation des veilles des unités centrales et des écrans et réduction des temporisations.
- Remplacer progressivement les ordinateurs actuels par des portables
- Arrêter complètement la photocopieuse en inoccupation
- Arrêter le circuit de commande des volets roulants en inoccupation
- Découpler le fonctionnement des extracteurs sanitaires de celui de la CTA et définir un programme spécifique évitant tout fonctionnement en inoccupation